

转 *AtCBF4* 基因大豆株系的抗旱性评价

王兴宇^{1,2}, 魏 嵘², 王伟威², 薛永国², 唐晓飞², 吴广锡², 王鹏飞², 于志远¹, 刘丽君²

(1. 东北农业大学 生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:干旱胁迫条件下考察转 *AtCBF4* 基因大豆株系的光合特性(净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率、瞬时水分利用率)、生理特性(脯氨酸、丙二醛、可溶性糖)以及产量性状(株高、节数、单株荚数、单株粒数、百粒重)的表现,综合评价7个株系之间的抗旱性差别。结果表明:转 *AtCBF4* 基因大豆叶肉细胞中脯氨酸的含量和可溶性糖含量与受体相比较高,丙二醛含量增幅较小,光合生产能力和产量性状表现优于受体。综合结荚期和鼓粒期表现,所有转基因株系耐旱性均强于非转基因受体,其中 HTCB59-5、HTCB59-2 和 HTCB59-4 具有较强的耐旱能力。

关键词:大豆; *AtCBF4*; 转基因株系; 抗旱性

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2014.03.0365

Drought Resistance Evaluation of *AtCBF4* Transgenic Soybean

WANG Xing-yu^{1,2}, WEI Lai², WANG Wei-wei², XUE Yong-guo², TANG Xiao-fei², WU Guang-xi², WANG Peng-fei², YU Zhi-yuan¹, LIU Li-jun²

(1. College of Life Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Soybean Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: In this paper, we explored the performance of transgenic soybeans in photosynthetic characteristics of soybean (net photosynthetic rate, stomatal conductance, CO_2 concentration intercellular, transpiration rate, instantaneous water use efficiency), physical characteristics (Pro, MDA, soluble sugar) and yield traits (plant height, number of sections, the number of pods per plant, seed number per plant, seed weight) under drought stress. Comprehensive evaluate the difference in drought-tolerance among 7 soybean lines. Compared of transgenic lines and normal lines, the research showed that the contents of soluble sugar (WSS) and free proline (Pro) from transgenic lines were higher than normal ones, while less increment of Malondialdehyde (MDA) appeared. The transgenic lines had little change in photosynthetic characteristics and yield traits from before to under drought resistance. All above showed that compared with the normal, all transgenic soybeans have more adjustment for water deficit in pod stage and pod-filling stage. HTCB59-5, HTCB59-2 and HTCB59-4 have more drought tolerance than others.

Key words: Soybean; *AtCBF4*; Transgenic strains; Drought resistance

近年来,东北地区干旱频繁,年降水量季节分布不均,尤其是在早春时节春旱普遍存在^[1]。大豆是对水分敏感的豆科植物,水分的缺失会导致大豆减产甚至是绝产,因此培育耐旱的大豆品种是实现大豆高产稳产、优质的重要保证。目前,转基因技术已经被广泛用于育种工作当中,与传统的育种方式相比,转基因培育技术具有投资成本低、环境污染小、生长周期短、抗逆能力强等优点。随着分子生物学的不断发展,转基因抗旱育种技术具有广泛的应用前景。因此,利用转录因子增强植物抗逆性的研究将成为改良植物抗逆性的重要途径^[2-4]。

2002年,Volker等^[5]从拟南芥中分离出了 *CBF4* 基因并发现在寒冷条件下不能表达,而在干旱条件下基因表达量出现增强的现象,它与 *CBF1*、*CBF2* 和 *CBF3* 相同,均含有保守的 AP2 区域,能与 CRT/DRE DNA 调控元件特异结合,促进脱水诱导

基因 *COR* 基因的表达,从而提高植物抵抗低温、干旱及高盐的能力^[6-8]。目前国内外对于转 *AtCBF4* 基因的大豆研究很少。因此,对转 *AtCBF4* 基因大豆的耐旱性研究具有重要的意义。

本实验利用实验室所获得的7个转 *AtCBF4* 基因大豆株系为材料,研究其在干旱胁迫下的基因表达、生理生化指标、光合特性以及产量性状的变化,进而揭示转 *AtCBF4* 基因大豆的耐旱特点,从而为 *AtCBF4* 基因大豆耐旱性的进一步研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

以 HTCB59-1、HTCB59-2、HTCB59-3、HTCB59-4、HTCB59-5、HTCB59-6 和 HTCB59-7 共7个转 *AtCBF4* 基因大豆株系以及受体黑农59作为试验材料。以上转基因材料利用农杆菌子叶节转化法获得。

收稿日期:2013-12-01

基金项目:国家转基因重大专项(2012X08004);青年人才计划(2013RFQYJ016);大豆产业技术体系(CARS-04-PS05)。

第一作者简介:王兴宇(1989-),男,在读硕士,主要从事遗传学研究。E-mail: xiaoyudan666@126.com。

通讯作者:刘丽君(1958-),女,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail: nkyssbd@126.com。

1.2 试验方法

1.2.1 样品的处理和保存 在通风良好的大棚内每个材料种植12盆,每盆留苗3株,利用称重法对水分进行控制,保证土壤湿度在17%~18%。分别在结荚期和鼓粒期胁迫处理,控制水分在7%~8%,胁迫处理7~12 d后,取样封冻保存。用于进行生理指标检测、光合特性检测、产量性状检测以及耐旱性综合评价,以非胁迫材料为对照。

1.2.2 目的基因的PCR鉴定 对取样叶片进行DNA的提取,随后进行PCR检测。反应条件为94℃预变性10 min;9℃变性30 s,55℃退火30 s,72℃延伸30 s,循环36个;延伸72℃10 min。所需引物由Invitrogen公司提供。

1.2.3 生理指标检测 脯氨酸测定采用酸性茚三酮显色法,丙二醛和可溶性糖采用TBA显色法^[9]。

1.2.4 光合性状测定 采用便携式光合测定仪LI-6400XT(LI-COR Lincoln, USA)对干旱胁迫处理后的材料进行净光合速率(P_n)、气孔导度(C_d)、细胞间 CO_2 浓度(C_i)以及蒸腾速率(Tr)的测定。

1.2.5 产量性状调查 收获后对株高、节数、单株荚数、单株粒数、百粒重和总重进行测定,每个材料6次重复。

1.2.6 材料间抗性鉴定评价 采用了灰色关联分析法与胁迫系数法^[9]综合评价各个材料的抗旱性。

1.3 数据处理

采用SPSS 17.0软件以及DPS 7.05进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 转基因株系的PCR鉴定

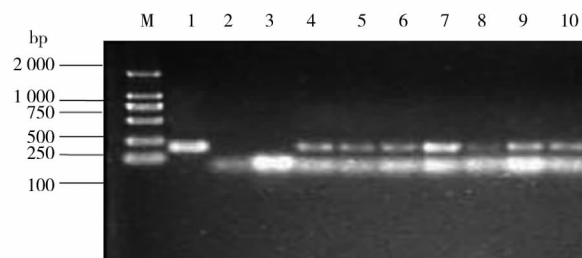
利用nos引物对含有目的基因的大豆株系进行PCR扩增,结果均表现为阳性。

2.2 干旱条件下转*AtCBF4*基因大豆的生理生化特性

如图2所示,转基因株系丙二醛降幅小于对照,其中HTCB59-5增幅最小,对干旱胁迫具有较强的耐性;可溶性糖和脯氨酸均有不同程度的增加,其中可溶性糖HTCB59-4增幅较高,脯氨酸含量在结荚期增幅较高的HTCB59-1和HTCB59-4;鼓粒期增幅较大的是HTCB59-7和HTCB59-5。单从大豆生理生化指标上来看,HTCB59-5和HTCB59-4具有较强的适应干旱环境的能力。

2.3 干旱条件下转*AtCBF4*基因大豆的光合特性

光合指标变化量的大小与植物耐旱性的强弱成正比。如表1所示,干旱胁迫下,大豆叶片中的净



M: DL2000 Marker; 1: 阳性对照 (阳性质粒); 2: 空白对照 (双蒸水); 3: 阴性对照黑农 59; 4~10: 转基因材料。

M: DL2000 Marker; 1: Positive plasmid (positive control); 2: Blank control (distill deionized water); 3: Untransformed plant Heinong 59 (negative control); 4-10: Transgenic lines.

图1 转基因PCR检测

Fig.1 Transgenic soybean plants detected by PCR analysis

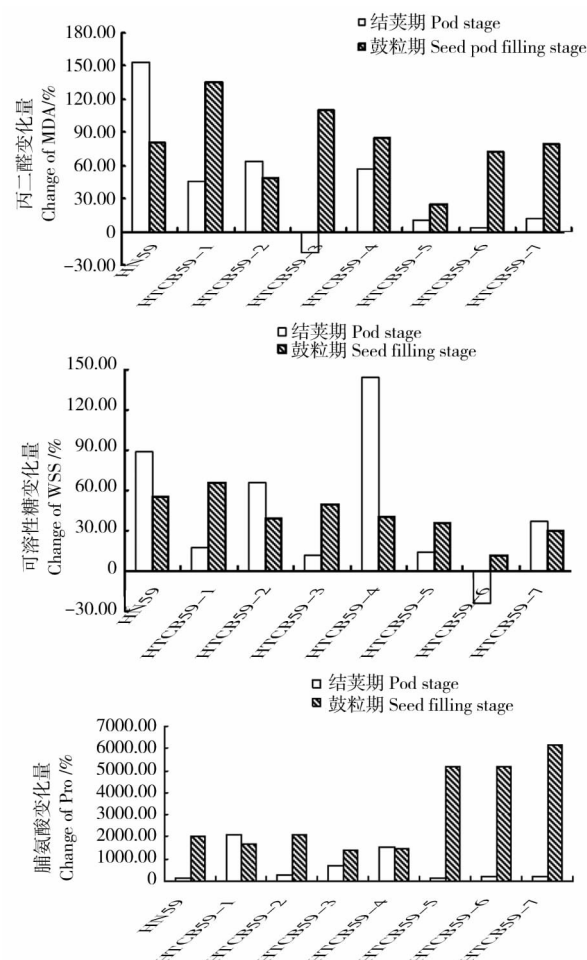


图2 干旱对转基因大豆的生理生化影响

Fig.2 Effects of drought stress on physiological and biochemical characteristics in transgenic soybean

光合速率、气孔导度、细胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率和瞬时水分利用率都有不同程度的降低。结果表明:结荚期干旱对光合作用影响最大的是黑农59受体,影响较小的是HTCB59-4和HTCB59-5;鼓粒期HTCB59-3和HTCB59-5的降幅较低,受干旱胁迫影响较小。

表 1 干旱胁迫对转基因大豆光合特性的影响

Table 1 Effects of drought stress on photosynthetic physiological characters in transgenic soybean(%)

材料 Material	净光合速率 <i>Pn</i>		气孔导度 <i>Cd</i>		细胞间 CO ₂ 浓度 <i>Ci</i>		蒸腾速率 <i>Tr</i>		瞬时水分利用率 <i>Pr/Tr</i>	
	结荚期 Podding	鼓粒期 Seed filling	结荚期 Podding	鼓粒期 Seed filling	结荚期 Podding	鼓粒期 Seed filling	结荚期 Podding	鼓粒期 Seed filling	结荚期 Podding	鼓粒期 Seed filling
HTCB59-1	61.51	53.22	30.18	42.19	33.15	31.94	3.89	60.01	59.38	-17.53
HTCB59-2	54.24	51.13	44.24	22.08	24.34	31.73	10.67	45.68	52.39	9.79
HTCB59-3	62.94	57.14	51.20	21.50	53.39	21.39	31.88	33.78	45.59	35.06
HTCB59-4	44.77	42.47	29.68	36.66	29.86	37.99	26.57	40.17	24.77	3.06
HTCB59-5	47.26	38.00	14.51	43.53	28.30	37.98	17.24	51.28	36.27	-27.25
HTCB59-6	54.33	49.01	48.68	31.28	41.25	32.72	34.52	36.00	30.25	20.32
HTCB59-7	52.90	53.37	30.33	35.04	25.76	37.75	28.77	53.24	33.88	0.27
黑农 59	59.85	52.19	40.12	34.35	42.00	42.98	36.91	50.51	36.37	3.40
Heinong 59										

表中数据均为与对比较的降低幅度。

Value in the table are reduction percentage of drought treatment compared with control.

2.4 干旱条件下对转 *AtCBF4* 基因大豆产量的影响

由表 2 可知,经过干旱胁迫后的大豆株系与非胁迫材料相比在株高、节数、单株荚数、单株粒数以

及百粒重上都有不同程度的下降。其中对非转基因受体影响最大,结荚期干旱胁迫影响较小的株系为 HTCB59-3 和 HTCB59-5;鼓粒期降幅较低的为 HTCB59-5。

表 2 干旱胁迫对转基因大豆产量的影响

Table 2 Effects of drought stress on agronomic traits in transgenic soybean

材料 Material	株高 Plant height/cm		节数 Nodes of main stem		单株荚数 Pods per plant		单株粒数 Seeds per pod		百粒重 100-seed weight/g	
	结荚期 Podding	鼓粒期 Seed filling	结荚期 Podding	鼓粒期 Seed filling	结荚期 Podding	鼓粒期 Seed filling	结荚期 Podding	鼓粒期 Seed filling	结荚期 Podding	鼓粒期 Seed filling
HTCB59-1	8.81	31.65	12.31	15.69	17.39	6.93	24.00	-15.65	5.03	44.45
HTCB59-2	36.04	31.31	11.38	13.73	57.75	24.67	56.73	27.30	5.35	36.75
HTCB59-3	14.08	13.84	8.50	16.67	5.31	3.42	19.13	10.77	13.06	23.33
HTCB59-4	29.30	27.52	5.50	7.69	40.32	18.25	58.67	18.39	0.41	26.69
HTCB59-5	22.79	18.30	6.00	7.41	32.38	13.10	41.42	13.65	1.36	14.94
HTCB59-6	45.42	34.61	18.87	15.38	39.29	12.07	45.64	20.75	3.22	32.63
HTCB59-7	40.28	29.37	23.08	9.80	52.59	27.01	56.02	29.45	16.42	25.97
黑农 59	43.52	34.71	21.15	10.85	51.85	46.28	53.66	50.74	9.19	39.71
Heinong 59										

表中数据均为干旱处理与对比较的降低幅度。

Value in the table are reductionpercentage of drought treatment compared with control.

2.5 干旱胁迫下相关性状的胁迫系数与灰色关联分析

胁迫系数反映了作物在逆境条件下各指标的变化程度,同时胁迫系数的大小可以体现作物抗逆性的强弱,在本研究中脯氨酸、可溶性糖、光合指标和产量性状的胁迫系数越大体现植株的耐高温能力越强,而丙二醛则反之。如表 3 和表 4 所示,大部分的转基因株系的胁迫系数小于受体黑农 59。这表明仅就单一条件来看转基因植株对干旱胁迫的

耐性要高于非转基因植株。因为每个抗旱性植株并不是在所有的耐高温指标上都表现突出,用单一指标评价大豆耐旱性具有片面性,应利用多个指标进行综合评价,所以实验选取所有品系在胁迫下的每个指标最优值构建一个以各个参考品系的性状指标构成比较数列 $X_i = (i = 1, 2, 3, \dots)$,通过灰色关联分析进行关联比较,分辨系数为 0.5(表 3 和表 4)。各品系与 X_0 关联度越大表明耐旱性能力越强(X_0 表示从每一个指标中选择一个最优值构建出一

个参考指标,用来衡量其他材料)。

通过表 5 可知,结荚期中所有转基因材料的耐旱性均高于黑农 59,其中耐旱性较强的为 HTCB59-2(0.975 7)和 HTCB59-5(0.952 2);鼓粒期中除了

HTCB59-1(0.931 4)外,其余材料耐旱能力均优于对黑农 59,其中耐旱性较强的分别为 HTCB59-7(0.991 6)和 HTCB59-5(0.970 1)。

表 3 转基因大豆(结荚期)耐干旱相关性状的胁迫系数

Table 3 Coefficient of several traits related to drought stress in transgenic soybean(pod stage)

项目 Item	HTCB59-1 (X ₁)	HTCB59-2 (X ₂)	HTCB59-3 (X ₃)	HTCB59-4 (X ₄)	HTCB59-5 (X ₅)	HTCB59-6 (X ₆)	HTCB59-7 (X ₇)	黑农 59 (X ₈)	(X ₀)
株高 Plant height	0.60	0.68	0.65	0.71	0.74	0.73	0.74	0.56	0.91
节数 Nodes of main stem	0.81	0.87	0.85	0.87	0.84	1.00	1.00	0.79	0.95
单株荚数 Pods per plant	0.59	0.70	0.60	0.73	0.59	0.7	0.73	0.48	0.95
单株粒数 Seeds per pod	0.51	0.55	0.45	0.65	0.52	0.59	0.65	0.46	0.81
百粒重 100-seed weight	0.85	0.98	0.97	1.00	0.92	0.97	1.00	0.91	1.00
单株产量 Yield per plant	0.42	0.54	0.44	0.65	0.48	0.58	0.65	0.49	0.72
Pro	1.74	4.89	1.24	1.17	10.60	2.88	10.60	2.90	22.22
MDA	1.31	1.46	1.34	0.97	2.37	3.10	0.97	2.54	1.04
可溶性糖 WSS	1.37	2.52	1.48	1.67	1.05	2.56	2.56	1.89	2.44
Pn	0.48	0.60	0.36	0.45	0.39	0.42	0.60	0.40	0.55
Cd	0.69	0.81	0.65	0.46	0.91	0.46	0.91	0.60	0.85
Ci	0.70	0.84	0.60	0.63	0.90	0.43	0.90	0.58	0.76
Tr	0.95	0.89	0.77	0.72	0.77	0.51	0.95	0.63	0.96

表 4 转基因大豆(鼓粒期)耐干旱相关性状的胁迫系数

Table 4 Coefficient of several traits related to drought stress in transgenic soybean(pod-filling stage)

项目 Item	HTCB59-1 (X ₁)	HTCB59-2 (X ₂)	HTCB59-3 (X ₃)	HTCB59-4 (X ₄)	HTCB59-5 (X ₅)	HTCB59-6 (X ₆)	HTCB59-7 (X ₇)	黑农 59 (X ₈)	(X ₀)
株高 Plant height	0.68	0.69	0.86	0.72	0.82	0.65	0.71	0.65	0.86
节数 Nodes of main stem	0.84	0.86	0.83	0.92	0.93	0.85	0.90	0.89	0.93
单株荚数 Pods per plant	0.93	0.75	0.97	0.82	0.87	0.88	0.73	0.54	0.97
单株粒数 Seeds per pod	1.16	0.73	0.89	0.82	0.86	0.79	0.71	0.49	1.16
百粒重 100-seed weight	0.56	0.63	0.77	0.73	0.85	0.67	0.74	0.60	0.85
单株产量 Yield per plant	0.64	0.46	0.69	0.60	0.73	0.53	0.52	0.30	0.73
Pro	18.08	22.04	15.27	15.75	52.63	52.63	62.84	21.47	62.84
MDA	2.35	1.49	2.09	1.85	1.25	1.72	1.79	1.81	1.25
可溶性糖 WSS	2.97	1.64	1.98	1.67	1.55	1.14	1.42	2.26	1.14
Pn	0.47	0.49	0.43	0.58	0.62	0.51	0.47	0.48	0.62
Cd	0.58	0.78	0.78	0.63	0.56	0.69	0.65	0.66	0.78
Ci	0.68	0.68	0.79	0.62	0.62	0.67	0.62	0.57	0.79
Tr	0.40	0.54	0.66	0.60	0.49	0.64	0.47	0.49	0.66

表 5 大豆 AtCBF4 转基因株系的灰色关联度与抗旱能力的评价排序

Table 5 The evaluation order based on grey correlative degree and ability of drought resistance tolerance in transgenic soybean AtCBF4

品系 Sample	HTCB59-1	HTCB59-2	HTCB59-3	HTCB59-4	HTCB59-5	HTCB59-6	HTCB59-7	黑农 59 Heinong 59
关联系数(结荚期) Relational grade(Podding)	0.9259	0.9757	0.9237	0.9359	0.9522	0.9157	0.9202	0.9108
关联序 Order	4	1	5	3	2	7	6	8
关联系数(鼓粒期) Relational grade(Pod-filling)	0.9314	0.9397	0.9365	0.9367	0.9701	0.9689	0.9916	0.9337
关联序 Order	8	4	6	5	2	3	1	7

3 讨 论

大豆抗旱性是一个受多重因素影响的、复杂的数量性状。由于不同的品种抗旱机制不同,不同株系的大豆对某一具体指标的抗旱性强弱表现不一^[10-12]。造成抗旱性差异的原因:一方面可能是由于基因插入的位点不同引起基因表达上的差异,进而对某一单一性状的表现不一;另一方面也可能是由于基因与环境之间互作所导致的。因此,我们使用单一的指标来判断大豆各株系之间抗旱性的强弱是不全面的;同时,我们所测的生理或是形态指标可能有些性质相同或是相互关联,这会对大豆抗旱性评价的结果造成极大影响,因此必须要采用多个指标进行综合性的评价^[13-14]。

我们通过对产量形状的研究发现两个时期的株高下降程度相接近。但在单株荚数上,结荚期干旱组的降幅明显大于鼓粒期,同时单株粒数的降幅也很大,这可能是由于花末期-结荚初期的干旱处理导致部分植株花受到不同程度影响,进而影响了结荚数,进而影响到单株粒数;也可能是由于干旱导致了部分豆荚中出现了空荚。而鼓粒期干旱组的百粒重降幅明显高于结荚期,原因可能是鼓粒期缺水引起瘪粒,进而影响大豆产量。

本研究采用了胁迫系数和灰色关联分析法相结合的方法,尽可能排除由于单一指标以及相互关联指标对大豆抗旱性评价造成的影响。进而能够较为全面的分析结果。结荚期耐旱能力:HTCB59-2 > HTCB59-5 > HTCB59-4 > HTCB59-1 > HTCB59-3 > HTCB59-7 > HTCB59-6 > 黑农 59;鼓粒期耐旱能力 HTCB59-7 > HTCB59-5 > HTCB59-6 > HTCB59-2 > HTCB59-4 > HTCB59-3 > HTCB59-7 > HTCB59-1 > 黑农 59。从以上两个时期我们可以看出所有转基因植株的耐旱能力强于对照黑农 59,其中 HTCB59-5、HTCB59-2 和 HTCB59-4 是耐旱性较好的植株。

参考文献

[1] 李景新. 我国东北半干旱地区水土资源李景新的现状与发展对策[J]. 农机使用与维修, 2012(6): 103-104. (Li J X. Semi-arid region of northeast China's land and water resources situation and development strategy [J]. Farm Machinery Using & Maintenance, 2012(6): 103-104.)

[2] 杜丽璞, 徐慧君, 叶兴国, 等. 小麦转 *TPS* 基因植株的获得及其初步功能鉴定[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(3): 369-373. (Du L P, Xu H J, Ye X G, et al. Transgenic wheat plants with Trehalose-6-phosphate synthase (*TPS*) gene and identification of their function [J]. Journal of Triticeae Crops, 2007, 27(3): 369-373.)

[3] 王晓飞, 程宪国, 王迎波, 等. Floral-dip 法大豆 *GmDREB* 转录因子转拟南芥研究[J]. 生物技术通报, 2008(5): 103-107. (Wang X F, Cheng X G, Wang Y B, et al. Study on transgenic *Arabidopsis* with a soybean transcription factor gene *GmDREB* by Floral-dip method [J]. Biotechnology Bulletin, 2008(5): 103-107.)

[4] 高世庆, 徐慧君. 转大豆 *GmDREB* 基因增强小麦的耐旱及耐盐性[J]. 科学通报, 2005, 50(23): 2617-2625. (Gao S Q, Xu H J. Soybean *GmDREB* gene transfer enhanced drought and salt tolerance of wheat [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(23): 2617-2625.)

[5] Volker H, Daniel C, Jose L R, et al. Transcription factor CBF4 is a regulator of drought adaptation in *Arabidopsis* [J]. Plant Physiology, 2002, 130: 639-648.

[6] 林茂, 同海霞, 睦顺照, 等. 植物 CBF 转录因子及其在基因工程中的应用[J]. 广西农业科学, 2008, 39(1): 21-25. (Lin M, Yan H X, Sui S Z, et al. CBF transcription factors of plant and its application in genetic engineering [J]. Guangxi Agricultural Sciences, 2008, 39(1): 21-25.)

[7] Jaglo-Ottosen K R, Gilmour S J, Zarka D J G, et al. *Arabidopsis* CBF1 over-expression induces *COR* genes and enhances freezing tolerance [J]. Science, 1998, 280: 104-106.)

[8] 张晗, 信月芝, 郭惠明, 等. CBF 转录因子及其在植物抗冷反应中的作用. [J]. 核农学报, 2006, 20(5): 406-409. (Zhang H, Xin Y Z, Guo H M, et al. CBF transcriptional factors and its roles in plant freezing tolerance [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2006, 20(5): 406-409.)

[9] 吴广锡, 刘丽君, 杨德光, 等. 转 *GmHsFA1* 基因大豆的耐热性评价[J]. 大豆科学, 2012, 31(3): 341-346. (Wu G X, Liu L J, Yang D G, et al. Heat resistance evaluation of *GmHsFA1* [J]. Soybean Science, 2012, 31(3): 341-346.)

[10] 王树宇, 付连舜, 刘威. 野生大豆资源抗旱性鉴定与应用分析[J]. 中国农业, 2013(6): 55-57. (Wang S Y, Fu L S, Liu W, et al. Drought resistance identification and application analysis in wild soybean [J]. Chinese Agriculture, 2013(6): 55-57.)

[11] 张海燕, 焦碧婵, 李贵全. 大豆抗旱性鉴定指标评价的研究[J]. 大豆科学, 2005, 24(3): 183-188. (Zhang H Y, Jiao B C, Li G Q. Study on selecting targets in drought-resistant breeding of soybean [J]. Soybean Science, 2005, 24(3): 183-188.)

[12] 孔照胜, 武云帅, 岳爱琴, 等. 不同大豆品种抗旱性生理指标综合分析[J]. 华北农学报, 2000, 16(3): 40-45. (Kong Z S, Wu Y S, Yue A Q, et al. Comprehensive analysis of physiological indexes for drought resistance in different soybean varieties [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2000, 16(3): 40-45.)

[13] 程建峰, 潘晓峰, 刘宜柏, 等. 水稻抗旱性鉴定的形态指标[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 3117-3125. (Cheng J F, Pan X Y, Liu Y B, et al. Morphological indexes of drought resistance identification in rice [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 3117-3125.)

[14] 景蕊莲. 作物抗旱研究的现状与思考[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 79-85. (Jing R L. Present situation and approach of study on crop drought resistance [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1999, 17(2): 79-85.)