

不同水分胁迫下转 *TaEBP* 基因小麦 株系拔节期抗旱性研究

南炳东¹, 陈耀锋¹, 闵东红¹, 张小红², 赵洁岚¹, 薛飞洋¹

(1. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 以两个转 *TaEBP* 基因小麦株系及相应受体对照品种为材料, 采用盆栽控水法研究了水分胁迫对转基因小麦拔节期抗旱相关生理生化指标的影响, 并结合隶属函数法对转基因株系的抗旱性进行了综合评价。结果显示: 随着水分胁迫加剧, 各参试品种(系)的相对含水量、叶绿素含量、光合速率、气孔导度呈下降趋势, 转基因小麦下降幅度较小; 胞间 CO_2 、丙二醛含量、质膜相对透性呈上升趋势, 受体对照品种上升幅度更大; 转基因小麦的脯氨酸含量显著高于对照品种。应用隶属函数法综合评价结果表明, 转 *TaEBP* 基因小麦株系 G221、G258 比其受体对照具有较高的抗旱能力。

关键词: 水分胁迫; *TaEBP*; 转基因小麦; 生理生化指标; 抗旱性

中图分类号: S512.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)04-0023-06

干旱是影响小麦增产最主要的非生物限制因素, 利用关键基因的导入来提高粮食作物的抗逆性成为缓解干旱、低温、盐碱等非生物胁迫的一条重要途径, 而通过转录因子等调控基因的导入来增强植物抗逆性的研究倍受关注, 从改良或增强一个关键的转录因子基因入手使植株抗逆性状获得综合改良, 将成为改良植物抗逆性的重要途径^[1,2]。近年来, 我国关于抗逆转基因小麦方面的研究已取得突破性进展, 获得了一批抗逆性明显提高的转基因小麦株系或优异种质^[2~4]。

TaEBP (*TaERF1*/*TaERF2*) 是中国农业科学院作物科学研究所马有志课题组克隆的 ERF 类抗逆相关转录因子基因, 通过基因枪转化途径将其导入新春 9 号小麦品种, 获得了稳定遗传和表达的转基因株系 G 新春 9 号, 抗逆性鉴定结果表明: *TaEBP* 基因的超表达能够显著提高转基因小麦的抗旱节水性能^[5]。本研究以 G 新春 9 号 (*TaEBP* 基因供体) 与衡观 35、西农 979 (*TaEBP* 受体) 小麦新品种的 BC3F1 转基因小麦株系 08BC (加) G221、08BC (加) G258 及其受体对照为材料, 对其水分临界期(拔节期)的生理生化指标进行分析, 并采用隶属函数法对抗旱特性进行综合性评价, 以期对转基因抗旱节水小麦新品种选育提供方法参考。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

参试材料为转 *TaEBP* 基因小麦株系 08BC (加)

G221 (代号: G221)、08BC (加) G258 (代号: G258) 及相应受体亲本品种西农 979 (XN979)、衡观 35 (HG35)。

试验于 2009 年 10 月至 2010 年 7 月在西北农林科技大学植物所防雨旱棚下进行, 采用盆栽控水法, 盆栽用土取自西北农林科技大学北校西区试验地耕作层, 属于瘠土, 装土前在盆底埋一直径 2.0 cm, 长 40 cm 的垂直塑料管并延伸至盆口, 用于深层供水。土壤风干过筛后, 每千克土施 0.32 g 尿素和 0.25 g 磷酸二胺。每盆装土量换算成烘干后的重量为 17.6 kg, 再根据设计的土壤含水率计算出每盆重量, 作为各处理水平的标准盆重。每盆播种 20 粒, 土壤最大田间持水量时含水量为 24.7% (环刀法测定)。本试验设正常供水 (CK)、中度水分胁迫 (MD)、重度水分胁迫 (SD) 三种水分处理, 土壤含水量分别占最大田间持水量的 75% ~ 80%、55% ~ 60%、45% ~ 50%。整个拔节期进行控水处理, 处理结束后取样进行相关生理生化指标测定。水分处理期间, 采用隔日称重法依控水标准进行补水, 每处理重复三盆。

1.2 测定指标与方法

叶片相对含水量采用烘干称重法测定, 相对电导率采用 DDS-370A 型电导仪测定^[6]; 叶绿素含量采用丙酮直接提取法, 丙二醛含量采用硫代巴比妥酸法, 脯氨酸含量采用磺基水杨酸法^[7]; 光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 测定采用美国 LI-COR 公司生产的 Li-6400 型光合仪于晴天上午 9:00~11:00 选有代表性的样品进行活体测定。以

收稿日期: 2011-03-07

基金项目: 转基因生物新品种培育科技重大专项 (2009ZX08002-008B); 唐仲英育种基金

作者简介: 南炳东 (1985—), 男, 在读硕士, 主要从事小麦遗传育种研究。E-mail: nanbingdong@163.com。

通讯作者: 闵东红 (1964—), 男, 博士, 副研究员, 硕士研究生导师, 主要从事小麦遗传育种研究。E-mail: mdh2493@126.com。

上各指标重复 3 次,取平均值。

1.3 数据处理与抗旱性评价

数据处理采用 Excel 2003 和 DPS v7.05 版软件进行统计分析。

抗旱性评价采用隶属函数法^[8]。对各测定指标进行转换后求出各抗旱指标在各品种中的具体隶属值:

$$X_{ij} = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

或

$$X_{ij} = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

其中 X 为各品种的某一指标测定值, $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 分别为所有品种中此指标的最大值和最小值。若所用指标与抗旱性呈正相关,用(1)式;反之用(2)式。分别求出中度水分胁迫下各指标性状的隶属函数值 $X_{ij中}$ 和重度水分胁迫下的隶属函数值 $X_{ij重}$,以 $(X_{ij中} + X_{ij重})/2$ 表示 i 品种 j 性状中度干旱和重度干旱条件下隶属函数的平均值,将各指标抗旱隶属值进行累加求得平均数 U_i ,隶属值越大,抗旱性越强。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对转基因小麦相对含水量的影响

叶片相对含水量(RWC)反映水分供应与蒸腾之间的平衡关系,研究表明,RWC 高的小麦品种抗旱性强^[9]。图 1 可以看出随着水分胁迫的加剧,转基因小麦和对照品种叶片 RWC 都出现不同程度的下降趋势,其中对照品种下降幅度较大。正常供水下各品种(系)RWC 没有明显差异,而在重度胁迫下,对照品种比正常供水条件的 RWC 下降了 27.2%(XN979)和 22.3%(HG35),对应基因小麦 RWC 只下降了 12.0%(G221)和 9.3%(G258)。结果表明,在水分胁迫条件下转基因小麦比对照品种保持更高的相对含水量,其差异显著($P<0.05$)。

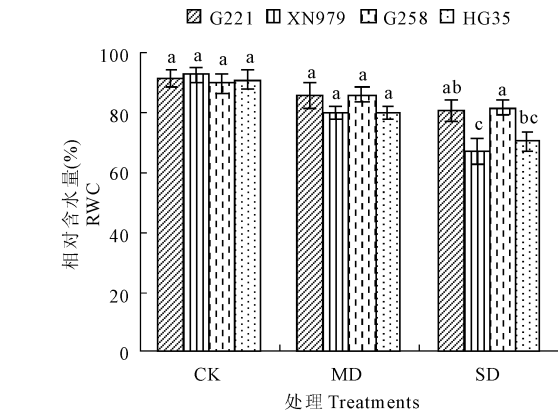


图 1 水分胁迫下转基因小麦相对含水量的变化
Fig.1 The changes of RWC in transgenic wheat under water stress

2.2 水分胁迫对转基因小麦质膜相对透性的影响

植物组织在受到干旱胁迫时细胞膜首先受到损伤,膜透性增大,细胞内含物渗漏,相对电导率可反应出膜受伤害的程度^[10]。随着水分胁迫的加剧,转基因小麦和对照品种的质膜相对透性均呈上升趋势,在正常供水下各品种(系)质膜相对透性没有明显差异,但在重度水分胁迫下,对照品种为正常供水条件下的 2.79(XN979)和 2.60(HG35)倍,对应的转基因小麦仅为非胁迫时的 1.77(G221)和 1.98(G258)倍,对照品种比转基因小麦有更高的质膜相对透性,差异显著($P<0.05$,图 2)。

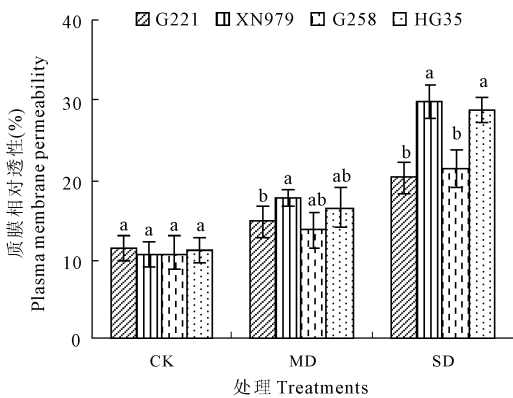


图 2 水分胁迫下转基因小麦质膜相对透性的变化
Fig.2 The changes of plasma membrane relative permeability in transgenic wheat under water stress

2.3 水分胁迫对转基因小麦丙二醛含量的影响

丙二醛(MDA)是膜脂氧化的主要产物之一,它的积累对膜和细胞造成一定的伤害,其含量与细胞膜脂质过氧化程度呈正相关,可以反映植物遭受逆境伤害的程度^[11]。试验结果显示,随着水分胁迫的加剧,转基因小麦和对照品种 MDA 含量均呈上升趋势,对照品种上升幅度更大。正常供水下各品种(系)MDA 含量没有明显差异,重度水分胁迫下对照品种为正常供水的 1.68(XN979)和 1.70(HG35)倍,对应的转基因小麦为 1.36(G221)和 1.37(G258)倍,对照品种比转基因小麦 MDA 含量更高,差异显著($P<0.05$,图 3)。

2.4 水分胁迫对转基因小麦光合特性的影响

2.4.1 水分胁迫对转基因小麦叶绿素含量的影响

图 4 可以看出,随着水分胁迫的加剧,转基因小麦和对照品种叶绿素含量都呈下降趋势,对照品种下降幅度较大。正常供水下各品种(系)叶绿素含量没有明显差异,重度水分胁迫下对照叶绿素含量比正常供水下降了 34.2%(XN979)和 38.5%(HG35),对应的转基因小麦下降了 24.1%(G221)和 27.4%

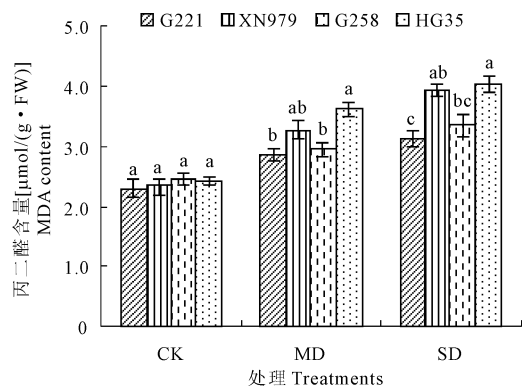


图 3 水分胁迫下转基因小麦丙二醛含量的变化

Fig.3 The changes of MDA content in transgenic wheat under water stress

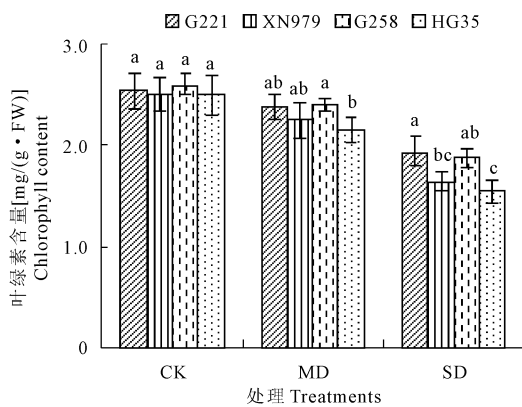


图 4 水分胁迫下转基因小麦叶绿素含量的变化

Fig.4 The changes of chlorophyll content in transgenic wheat under water stress

表 1 水分胁迫下转基因小麦光合速率和蒸腾速率的变化
Table 1 The changes of *Pn* and *Tr* in transgenic wheat under water stress

品种(系) Varieties (Lines)	光合速率[μmol CO ₂ /(m ² ·s)] Photosynthetic rate			蒸腾速率[mmol H ₂ O/(m ² ·s)] Transpiration rate		
	正常供水 CK	中度胁迫 MD	重度胁迫 SD	正常供水 CK	中度胁迫 MD	重度胁迫 SD
G221	22.8±1.25a	21.2±1.1a	16.7±0.92ab	5.79±0.524a	4.76±0.317b	3.98±0.273bc
XN979	23.2±1.33a	18.7±0.86ab	13.2±0.65c	5.85±0.484a	5.11±0.410ab	4.70±0.345a
G258	23.2±1.75a	21.8±0.98a	18.3±0.91a	5.73±0.612a	4.98±0.387b	3.41±0.267c
HG35	22.1±1.07a	17.3±0.82b	14.7±0.67bc	5.80±0.571a	5.44±0.311a	4.45±0.313ab

注:表中数值为 3 个重复的平均值±标准差;同列数据标有不同字母的表示差异具有显著性(*LSD* 检验, *P*=0.05)。下同。
Note: The data represent the mean ±SD; values with different letters in the same column indicate significant difference at *P*=0.05 according to *LSD* test. They are the same in the following tables.

2.4.4 水分胁迫对转基因小麦气孔导度和胞间 CO₂ 的影响 气孔的开闭能够迅速地调整植物与外界水分和气体交换。表 2 可以看出,随着水分胁迫的加剧,转基因小麦和对照品种气孔导度都不同程度下降,对照品种下降幅度较大。重度水分胁迫下对照品种气孔导度是正常供水的 62.5% (XN979)和 68.1% (HG35),对应的转基因小麦为 74.5% (G221)和 79.3% (G258),转基因小麦比对照品种有较大的

(G258)。转基因小麦与相应的对照品种差异显著 (*P*<0.05)。

2.4.2 水分胁迫对转基因小麦光合速率的影响 光合作用的强弱直接决定着干物质产量,抗旱性较强的品种能维持相对较高的光合速率^[12]。表 1 可以看出,随着水分胁迫的加剧,转基因小麦和对照品种光合速率都不同程度下降。重度水分胁迫下,对照品种光合速率下降明显,只有正常供水条件下的 56.9% (XN979)和 61.5% (HG35),转基因小麦仍能维持较高的光合速率,保持在正常供水的 77.6% (G221)和 78.9% (G258)。转基因小麦比对照品种能保持更高光合速率,差异显著 (*P*<0.05)。

2.4.3 水分胁迫对转基因小麦蒸腾速率的影响 干旱胁迫下植物通过降低蒸腾速率来维持体内水分收支平衡,减少蒸腾是植物在干旱胁迫下缓解体内胁迫程度的一个有效途径。从表 1 可以看出,随着水分胁迫的加剧,转基因小麦和对照品种蒸腾速率都出现不同程度的下降,而转基因小麦下降幅度更大。正常供水下各品种(系) *Tr* 没有明显差异,在重度水分胁迫下,对照品种的 *Tr* 下降了 19.7% (XG979)和 23.3% (HG35),对应的转基因小麦株系则分别下降了 31.3% (G221)和 40.5% (G258),对照品种比转基因小麦具有较高的 *Tr*,差异达到显著水平 (*P*<0.05)。

气孔导度,差异显著 (*P*<0.05)。

从表 2 还可看出,随着水分胁迫的加剧,转基因小麦和对照品种 *Gi* 都呈上升趋势,对照品种上升幅度较大。正常供水下各品种(系) *Gi* 没有明显差异,重度水分胁迫下对照品种 *Gi* 增加了 54.7% (XN979)和 50.3% (HG35),对应的转基因小麦只增加了 31.7% (G221)和 33.7% (G258)。对照品种比转基因小麦有较高的 *Gi*,差异显著 (*P*<0.05)。

表 2 水分胁迫下转基因小麦气孔导度和胞间 CO₂ 的变化

Table 2 The changes of *G_s* and *C_i* in transgenic wheat under water stress

品种(系) Varieties (Lines)	气孔导度 <i>G_s</i> [mol H ₂ O/(m ² ·s)]			胞间 CO ₂ 浓度 <i>C_i</i> (μmol CO ₂ /mol)		
	正常供水 CK	中度胁迫 MD	重度胁迫 SD	正常供水 CK	中度胁迫 MD	重度胁迫 SD
G221	0.521±0.029a	0.472±0.019a	0.388±0.023ab	186±12.1a	229±11.1bc	245±18.9bc
XN979	0.536±0.032a	0.458±0.022ab	0.335±0.018c	192±11.9a	243±12.6a	297±20.1a
G258	0.511±0.024a	0.460±0.018a	0.405±0.029a	190±13.8a	218±13.8c	254±12.5c
HG35	0.504±0.019a	0.427±0.015b	0.343±0.023bc	187±12.8a	239±14.4ab	281±16.8ab

2.5 水分胁迫对转基因小麦脯氨酸含量的影响

脯氨酸作为主要的渗透调节物质,一定程度上能够反映植物对不良逆境条件的响应与忍耐能力^[13]。本试验结果表明,随着水分胁迫的加剧,转基因小麦和对照品种脯氨酸含量均呈上升趋势,转基因小麦上升幅度较大。重度水分胁迫下对照品种为正常供水的 1.81(XN979)和 2.16(HG35)倍,对应的转基因小麦达到 3.49(G221)和 3.02(G258)倍。转基因小麦比对照品种能够积累更多的脯氨酸,差异显著($P<0.05$,图 5)。

2.6 转基因小麦抗旱性的综合评价

对本试验条件下测定的叶片相对含水量、叶绿素含量等指标进行隶属函数法抗旱性综合评价,结果表明:转基因小麦 G221 和 G258 平均隶属函数值(0.79、0.76),明显大于相应对照品种 XN979 和

HG35(0.29、0.38),说明在拔节期转基因小麦比对照品种有较强的抗旱能力(表 3)。

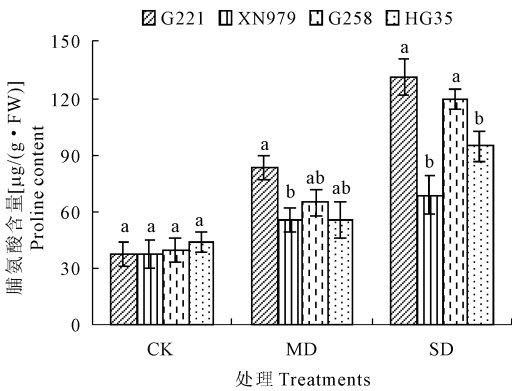


图 5 水分胁迫下转基因小麦脯氨酸含量的变化

Fig.5 The changes of proline content in transgenic wheat under water stress

表 3 不同品种(系)的抗旱指标隶属值及抗旱性综合评价

品种(系) Varieties (Lines)	相对含水量 RWC	叶绿素 Chl	质膜透性 MRP	丙二醛 MDA	光合速率 <i>P_n</i>	蒸腾速率 <i>T_r</i>	气孔导度 <i>G_s</i>	胞间 CO ₂ <i>C_i</i>	脯氨酸 Pro	平均隶属值 <i>U_i</i>
G221	0.70	1.00	0.97	0.79	0.87	0.23	0.84	0.75	1.00	0.79
XN979	0.00	0.52	0.29	0.38	0.08	0.72	0.00	0.22	0.41	0.29
G258	1.00	0.75	0.84	1.00	0.84	0.22	0.86	0.77	0.56	0.76
HG35	0.24	0.00	0.32	0.48	0.22	0.91	0.72	0.38	0.12	0.38

3 讨 论

植物的抗旱性与植株的水分状况密切相关,本研究结果显示:水分胁迫下转基因小麦在拔节期具有较高的相对含水量,说明转基因小麦在干旱胁迫时,叶片仍有较高的持水能力,这与贾俊香等^[14]的研究结果一致;干旱胁迫导致 MDA 含量和质膜相对透性增加,质膜过氧化作用增强,这一变化特点已在小麦、水稻等作物中得到了证明^[15,16]。研究发现:水分胁迫下各品种(系)MDA 含量及质膜相对透性都有所增加,且对照品种增加程度更高,说明干旱胁迫

导致对照品种细胞膜的过氧化程度更大,抗旱性相对较弱,这与贾根良等^[11]关于糜子的抗旱研究结果相似;小麦在生育时期遭受干旱胁迫会导致光合器官功能受阻或完全丧失,最终导致产量下降^[17~19]。对中度、重度水分胁迫下转基因小麦的光合特性指标变化比较表明,干旱胁迫下参试材料的叶绿素含量和光合速率、蒸腾速率、气孔导度均出现不同程度的下降趋势与胞间二氧化碳浓度升高趋势,但转基因株系的叶绿素含量、光合速率、气孔导度始终保持较高水平,其胞间 CO₂ 浓度升幅小于对照。说明转基因株系具有较好的应对土壤水分干旱胁迫能力;

对水分胁迫下各品种(系)脯氨酸含量测定结果显示,转基因小麦脯氨酸含量积累更多,说明转基因小麦有更强的渗透调节能力,这与王贺正等^[16]研究结果相似。

利用隶属函数法进行抗旱性综合评价,既考虑各指标的相互关系,又考虑其重要性,能消除单个指标的片面性,可以较准确地评价各材料的抗旱性。转基因小麦 G221、G258 具有优于各自受体对照的抗旱性能,是由于转基因株系是以各自受体对照为轮回亲本的连续回交三代(BC3F1),按照回交育种规律,G221、G258 除了携带的外源基因 *TaEBP* 不同于受体对照外,其余 93.75% 的遗传背景与对照相同,由此推测,出现抗旱性差异的主要原因在于转基因株系抗旱相关基因 *TaEBP* 干旱诱导表达,更为确切的证据有待于对该外源基因沉默表达的进一步研究。

拔节期、孕穗期、抽穗期、开花期和灌浆期是小麦生长发育的水分临界期,其中小麦孕穗期对水分亏缺最为敏感,但由于小麦水分亏缺临界期与有限供水的最佳时期的错位特点^[20],使得拔节期灌水对产量增加的幅度最高,有限灌水的正效应强度以拔节期最大^[21]。基于这些原因,虽然本研究只是对转 *TaEBP* 基因小麦拔节期水分胁迫下抗旱相关的生理生化指标变化特点的研究,但该结果对评价小麦的抗旱性仍具重要的参考价值。

参 考 文 献:

[1] 刘 强,赵南明,Yamaguchi-shinozaki K,等. *DREB* 转录因子在提高植物抗逆性中的作用[J].科学通报,2000,45(1):10—16.

[2] Xu Zhao-shi, Ni Zhi-yong, Liu Li, et al. Characterization of the *TaAIDF* a gene encoding a CRT/DRE-binding factor responsive to drought, high-salt, and cold stress in wheat[J]. Mol Genet Genomics, 2008,280(6):497—508.

[3] Xu Zhao-shi, Ni Zhi-yong, Li Zhi-yong, et al. Isolation and functional characterization of *HvDREB1*—a gene encoding a dehydration-responsive element binding protein in *Hordeum vulgare*[J]. J Plant Res, 2009,122(1):121—130.

[4] Wang J W, Yang F P, Chen X Q, et al. Induced expression of *DREB* transcriptional factor and study on its physiological effects of drought tolerance in transgenic wheat[J]. Acta Genetica Sinica, 2006,33(5):468—476.

[5] Xu Zhao-shi, Xia Lan-qin, Chen Ming, et al. Isolation and molecular characterization of the *Triticum aestivum* L. ethylene-responsive factor 1 (*TaERF1*) that increases multiple stress tolerance[J]. Plant Mol Biol, 2007,65(6):719—732.

[6] 郝再彬,苍 晶.植物生理实验[M].哈尔滨:哈尔滨工业出版社,2004:101—110.

[7] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:142—151.

[8] 任庆成,陈秀华,张生杰,等.不同烤烟品种抗旱生理特征比较研究[J].西北植物学报,2009,29(10):2019—2025.

[9] Schonfeld M A, Johnson R C, Carver B F, et al. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators[J]. Crop Science,1988,28(3):526—531.

[10] 王启明,徐心诚,马原松,等.干旱胁迫下大豆开花期的生理生化变化与抗旱性的关系[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):95—102.

[11] 贾根良,代惠萍,冯佰利,等.PEG 模拟干旱胁迫对糜子幼苗生理特性的影响[J].西北植物学报,2008,28(10):2073—2079.

[12] 李永华,王 玮,马千全,等.干旱胁迫下抗旱高产小麦新品系旱丰 9073 的渗透调节与光合特性[J].作物学报,2003,29(3):759—764.

[13] 万里强,李向林,石永红,等.PEG 胁迫下 4 个黑麦草品种生理生化指标响应与比较研究[J].草业学报,2010,19(1):83—88.

[14] 贾俊香,洪坚平,谢英荷,等.转基因玉米苗期抗旱性生理生化指标与复水过程的研究[J].贵州农业科学,2005,33(3):21—23.

[15] 王 瑾,刘桂茹,杨学举,等.PEG 胁迫下不同抗旱性小麦品种幼苗形态及主要理化特性的比较[J].河北农业大学学报,2005,28(5):6—10.

[16] 王贺正,马 均,李旭毅,等.水稻开花期一些生理生化特性与品种抗旱性的关系[J].中国农业科学,2007,40(2):399—404.

[17] Lu C M, Zhang J H. Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in wheat plants[J]. Aust J Plant Physiol, 1998,25(8):883—892.

[18] Inoue T, Inanaga S, Sugimoto Y, et al. Contribution of pre-anthesis assimilates and current photosynthesis to grain yield, and their relationships to drought resistance in wheat cultivars grown under different soil moisture[J]. Photosynetica, 2004,42(1):99—104.

[19] Wardlaw I F. Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment[J]. Ann Bot, 2002,90(4):469—476.

[20] 张岁岐,山 仑.有限供水对春小麦产量及水分利用效率的影响[J].华北农业学报,1990,5(5):69—75.

[21] 山 仑,邓西平,苏 佩,等.挖掘作物抗旱节水潜力——作物对多变低水环境的适应与调节[J].中国农业科技导报,2000,(2):66—70.

Drought resistance of transgenic wheat with *TaEBP* gene under different water stress during jointing stage

NAN Bing-dong¹, CHEN Yao-feng¹, MIN Dong-hong¹, ZHANG Xiao-hong², ZHAO Jie-tan¹, XUE Fei-yang¹

(1. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Life Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Using two transgenic wheat strains with *TaEBP* gene and corresponding recurrent parent as materials, a pot experiment was conducted under different water stress to compare drought-resistance of different varieties by studying the effect of physiological and biochemical indexes on drought resistance of transgenic wheat during jointing stage, and then to make a comprehensive evaluation of drought-resistance with subordination function method. The results showed that with the increase of water stress, leaf relative water content, chlorophyll content, photosynthetic rate and stomatal conductance showed downtrend, and the transgenic wheat declined more slowly; while intercellular CO₂, MDA content, plasma membrane permeability showed uptrend, but the corresponding contrast rose more steeply. The proline content of transgenic wheat was significantly higher than contrast varieties. Based on the comprehensive evaluation we found that transgenic wheat strains G221 and G258 with *TaEBP* gene have higher drought-resistant capability than the corresponding contrast ones XN979 and HG35.

Keywords: water stress; *TaEBP*; transgenic wheat; physiological and biochemical indexes; drought-resistance

(上接第 22 页)

Effects of water-saving irrigation on some photosynthetic functions and water use efficiency in wheat

LI Sheng-dong, WANG Fa-hong, SI Ji-sheng, KONG Ling-an, ZHANG Bin, FENG Bo

(Crop Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: A field experiment for effects of water stress on photosynthetic functions was conducted in Jinan, Shandong, China (36°42'N, 117°04'E) for wheat growing seasons during 2007~2009. There were four irrigation treatments, no irrigation (W₀), one irrigation at jointing stage (W₁), two irrigations at jointing and anthesis stage (W₂), three irrigations at over-wintering, jointing and anthesis (W₃). Each irrigation supplied water of 60 mm. The results showed that, during the period of grain filling (7 d after anthesis), the photosynthetic indexes of flag leaf including the maximum photochemical efficiency (F_v/F_m), the actual photochemical efficiency of photosystem II (Φ_{PSII}) and the photochemical quenching coefficient (q_P) were obviously higher with adding irrigation and net photosynthetic rates were significantly increased. There were linear relationship between leaf stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration and transpiration rate. There were significant changes in the maximal efficiency of PS II photochemistry and apparent damages in PS II reaction centre, its oxidising and acceptor sides, or its antennae system for W₀. This was shown by the decrease in the efficiency of excitation energy capture by open PS II reaction centers and the quantum yield of PS II electron transport and a significant decrease in non-photochemical quenching. However, got the highest WUE in four treatments, while the dry matter accumulation and grain yield in W₃ were higher than those in other treatments. Photosynthetic rate, transpiration rate and water use efficiency were significantly correlated.

Keywords: wheat; photosynthetic rate; transpiration rate; water use efficiency