小麦转 *TaEBP* 基因株系抗旱特性分析

杨 梅[1],马有志[2],闵东红[1],陈耀锋[1],
陈学虎[3],张 搏[4],王会强[5]
(1.西北农林科技大学农学院,陕西 杨凌 712100;2.中国农科院作科所,北京 100081)

摘 要:以2个转 *TaEBP* 基因新春9号小麦株系(G9-X1129,G9-X1139)、受体品种新春9号和当地推广品种小偃22为材料,通过PEG-6000人工模拟干旱胁迫处理,调查小麦种子萌发期胚芽鞘、胚根长度和胚根数;采用大田不同水分处理试验,测定转基因小麦不同生育时期的生理生化、形态指标与抗旱指数,以明确其抗旱性。结果表明:(1)在种子萌发期20%(W/V)PEG干旱胁迫条件下,参试材料的胚芽鞘长度、胚根长度和胚根数均比非胁迫时降低,G9-X1129和G9-X1139的降幅较小且均显著高于受体对照新春9号;(2)与受体对照新春9号相比,G9-X1129和G9-X1139具有较高的可溶性蛋白含量和脯氨酸含量;(3)随着干旱胁迫程度的增强参试材料的株高、穗叶距和穗长均有不同程度的降低,但转基因株系株高、穗叶距和穗长降幅显著小于受体对照;(4)G9-X1129和G9-X1139分别比受体对照新春9号增产11.67%和10.19%,其抗旱指数分别为1.18和1.17,两者都属较强抗旱等级,表现出比新春9号更强的抗旱、节水性能;整体上G9-X1129和G9-X1139与小偃22具相对一致的抗旱能力。

关键词:小麦;*TaEBP* 基因;抗旱指标;抗旱性
中图分类号:S603.4 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-7601(2012)02-0062-06

利用具有抗旱节水性能的基因资源改良小麦的抗旱性,对于小麦安全生产具有重要意义。植物干旱胁迫信号传递过程中起作用的转录因子 *DREB* 基因,是近年来植物耐旱基因工程利用的重要基因[1-3],其产物转录因子在干旱胁迫下能超量表达,大大增强了转基因作物的抗旱、抗逆能力。中国农业科学院作物科学研究所马有志课题组用基因枪法将从抗旱农家种质小白麦中分离的 *TaEBP* 基因导入到西北麦区推广小麦品种新春9号,经PCR鉴定和PEG胁迫处理,从中筛选出4个在胁迫下表现优良的转基因株系G9-X1129、G9-X1134、G9-X1136和G9-X1139,本研究以G9-X1129和G9-X1139 T3代株系、受体品种新春9号和当地推广品种小偃22为材料,在PEG模拟干旱胁迫条件下,对转基因株系及对照品种的胚芽鞘长度、胚根数、胚根长度等种子萌发期的抗旱节水相关指标进行了研究,同时,在大田不同水分处理条件下对参试材料主要生育期的可溶性蛋白和脯氨酸含量等抗旱相关生理指标和产量指标进行了测定分析,以鉴定转 *TaEBP* 基因小麦新品系的抗旱性能,为转基因抗旱小麦品种选育和小麦节水高产高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参试材料为两个转 *TaEBP* 基因新春9号小麦株系(G9-X1129和G9-X1139)、受体品种新春9号和当地推广品种小偃22。

1.2 试验方法

1.2.1 室内模拟干旱试验 分别随机选取各参试材料种子百粒,用5%次氯酸钠消毒灭菌8~10 min,无菌水漂洗3次,置培养皿中萌动24 h。后取60粒籽粒饱满,大小均一,无霉烂、无病虫害萌动一致的种子,其中30粒种子加无离子蒸馏水培养作对照,另30粒用20%(W/V)PEG-6000水溶液模拟干旱处理。将种子摆放在有3层滤纸的培养皿里,于人工培养箱20℃恒温条件下暗培养。各培养皿每天补加其相同处理溶液2 ml,7 d后调查各参试株系的胚芽鞘长度、胚根长度、胚根数。

1.2.2 田间小区试验 试验于2010年10月至2011年7月在陕西杨凌国家农业高新技术产业示范区转基因小麦试验田进行,选择肥力条件一致的田块,随机区组设计,小区面积6.67 m^2,10行区,行

收稿日期:2011-07-05
基金项目:国家转基因生物新品种培育重大专项(2009ZX08002008B);陕西省科技攻关项目(2011K02-01)
作者简介:杨 梅(1986—),女,苗族,云南金平人,在读硕士,主要从事小麦遗传育种研究。E-mail:ymdengxue@126.com。
通讯作者:陈耀锋(1956—),男,陕西岐山人,教授,博士生导师,从事农业生物技术研究。E-mail:chenyf3828@126.com。

万方数据

长 2.67 m,行距 0.25 m,株距 0.033 m。试验共设 3 个水分处理(各处理间由约 1.3 m 深的塑料膜隔离):(1) 雨养处理(W0),播种后整个生育期仅自然降水,不予灌水(2010 年 10 月上旬 ~ 2011 年 6 月上旬陕西杨凌的降水量为 293.90 mm,属于中度干旱年份);(2) 灌溉 1 次水处理(W1),在苗期进入越冬前,结合冬季灌溉补水 1 次;(3) 灌溉 2 次水处理(W2),在冬灌 1 次水的基础上,在拔节期再灌溉 1 次水。每次灌水量约 900 m^3/hm^2,每个处理 3 重复。

在参试材料生长发育的拔节期、抽穗期、灌浆期分别取其倒二叶测定生理生化指标。叶片可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝法[4];脯氨酸含量采用磺基水杨酸法[4]。

在整个生长发育过程中,观察与干旱相关的株高、穗长、穗叶距等主要农艺性状。小麦成熟期,抽样调查穗粒数、单株粒重、百粒重,计算理论产量、抗旱指数(DI)[5]。

$$DI = GY_{S.T}^2 GY_{S.W}^{-1} GY_{CK.W}(GY_{CK.T}^2)^{-1}$$

式中,DI 为抗旱指数;$GY_{S.T}$ 为转基因材料干旱处理籽粒产量;$GY_{S.W}$ 为转基因材料灌水处理籽粒产量;$GY_{CK.W}$ 为对照品种灌水处理籽粒产量;$GY_{CK.T}$ 为对照品种干旱处理籽粒产量。

1.3　数据处理和统计分析

采用 Microsoft Excel 2003 处理数据,应用 DPS v7.05 统计软件进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　渗透胁迫处理对转基因小麦种子萌发期胚芽鞘、胚根长度及胚根数的影响

由 PEG 渗透胁迫对转基因小麦种子萌发期形态特性影响结果(表 1)看出,非协迫条件下,转基因小麦与对照材料胚芽鞘长度和胚根数无显著性差异($P > 0.05$),新春 9 号的胚根显著长于转基因植株和小偃 22;PEG 胁迫下,参试材料的胚芽鞘长度都有不同程度的降低,G9 - X1129、G9 - X1139 和新春 9 号分别下降了 8.6%、7.9% 和 21.0%,受体新春 9 号的降幅达到极显著水平($P < 0.01$);转基因小麦胚芽鞘平均长度显著长于新春 9 号($P < 0.05$),而与小偃 22 差异不显著;新春 9 号的胚根长度显著下降了 23.68%($P < 0.05$),转基因植株 G9 - X1129 和 G9 - X1139 的胚根长度仅下降了 6.59% 和 6.22%,小偃 22 与转基因株系间胚根长度差异不显著;G9 - X1129、G9 - X1139 和新春 9 号的胚根数分别比非胁迫时减少 14.65%、13.49% 和 24.22%,且新春 9 号胚根数的减少达显著水平($P < 0.05$);同时 G9 - X1129 和 G9 - X1139 的胚根数在同一胁迫条件下显著多于新春 9 号,这一结果与张玉梅[6]的研究结果基本一致;转基因小麦胚根数与小偃 22 比较差异不显著。

表 1　PEG 渗透胁迫处理对转基因小麦种子萌发期形态特性的影响

Table 1　Effects of PEG osmotic stress on transgenic wheat seedlings at germination stage

品种(系) Variety	胚芽鞘长度 Coleoptile length(mm)		胚根长度 Radicle length(cm)		胚根数 Radicle number	
	正常 Normal	PEG 胁迫 PEG stress	正常 Normal	PEG 胁迫 PEG stress	正常 Normal	PEG 胁迫 PEG stress
G9 - X1129	44.94 ± 2.35a	41.06 ± 1.30a	6.67 ± 0.84b	6.23 ± 0.15a	4.98 ± 0.54a	4.25 ± 0.15a
G9 - X1139	45.04 ± 2.04a	41.46 ± 1.04a	6.59 ± 0.76b	6.18 ± 0.17a	5.04 ± 0.73a	4.36 ± 0.20a
新春 9 号 Xinchun No.9	42.74 ± 1.49a	33.77 ± 2.14b	7.25 ± 0.63a	5.54 ± 0.36b	4.79 ± 0.10a	3.63 ± 0.17b
小偃 22 Xiaoyan22	45.34 ± 1.65a	40.64 ± 1.36a	6.52 ± 0.64b	6.13 ± 0.15a	5.13 ± 0.84a	4.41 ± 0.14a

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,$P = 0.05$)。

Note: The data represent the mean ± SD; values with different letters in the same column indicate a significant difference at $P = 0.05$ according to LSD test.

2.2　水分胁迫对转基因株系生理生化指标的影响

2.2.1　可溶性蛋白含量　大田不同控水条件下,参试材料拔节期、抽穗期和灌浆期叶片可溶性蛋白含量测定结果(图 1)显示,随着水分胁迫的加剧,参试材料各生育期叶片可溶性蛋白含量呈现出逐渐增加的趋势,特别是在灌浆期趋势更明显,与二水(W2)处理相比,在零水(W0)处理条件下,G9 - X1129 和 G9 - X1139 叶片可溶性蛋白含量分别增加了 2.42 和 2.43 倍。在一水(W1)和二水(W2)处理条件下,随着小麦生育期推进参试材料叶片可溶性蛋白含量表现出先增加后降低的趋势,各参试材料叶片可溶性蛋白含量在抽穗期达到最大值;而在零水(W0)处理条件下,随着生育期推进参试材料叶片可溶性蛋白含量均表现出逐渐增加的变化趋势,且在灌浆期 G9 - X1129 和 G9 - X1139 可溶性蛋白含量达到最大值 47.06 mg/g 和 51.38 mg/g;但无论哪一种水分处理,转基因株系可溶性蛋白含量都高于受体对照新春 9 号,而与小偃 22 差异不显著。

万方数据

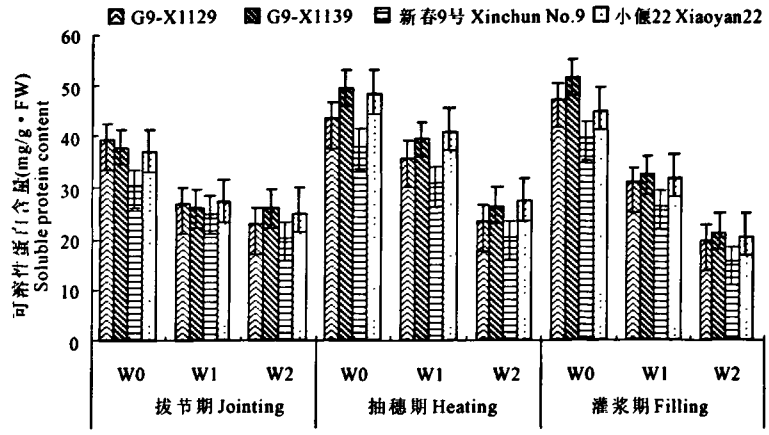

图1 不同水分处理下转基因株系可溶性蛋白含量变化

Fig.1 The change of relative water content of transgenic plants under different water treatment

2.2.2 脯氨酸含量 在大田不同控水条件下，转基因株系拔节期、抽穗期和灌浆期叶片脯氨酸含量测定结果(图2)显示，随着灌水次数的减少，参试材料脯氨酸含量呈上升趋势，不同发育时期叶片脯氨酸含量表现出零水(W0)处理时含量最高，二水(W2)水处理时含量最低的变化趋势。但无论哪一种水分处理，转基因株系脯氨酸含量都普遍高于受体对照新春9号，与小偃22差异不显著。在同一水分处理条件下，在水分临界期的三个发育阶段中，随着小麦发育进程的延续，转基因株系与对照品种叶片脯氨酸含量均迅速上升，转基因株系G9-X1129和G9-X1139叶片脯氨酸含量始终保持较高含量水平，均高于受体对照新春9号，在灌浆期增加到相对最高水平，且三种水分处理条件下，转基因株系叶片脯氨酸含量与受体对照新春9号的差异均达极显著水平。

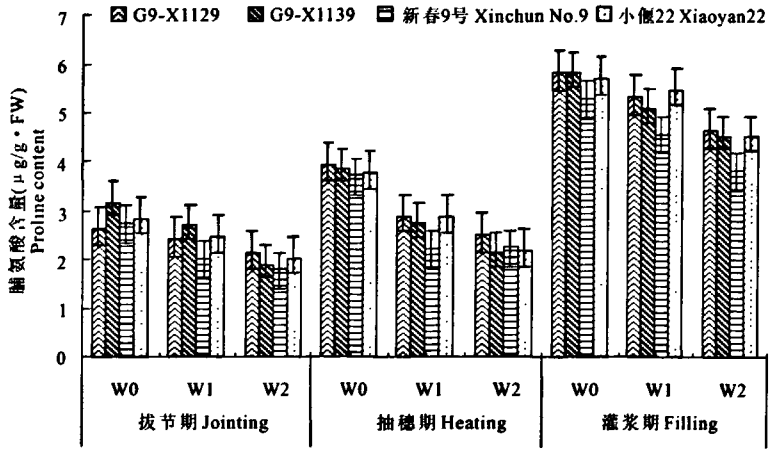

图2 不同水分处理下转基因株系脯氨酸含量变化

Fig.2 The change of proline content of transgenic plants under different water condition

2.3 水分胁迫对转基因株系农艺性状的影响

不同水分处理下参试材料与抗旱相关的农艺性状的变化情况(表2)显示，随着干旱胁迫的增强参试材料的株高、穗叶距和穗长均呈现不同程度降低趋势；与二水(W2)处理相比，G9-X1129、G9-X1139和新春9号株高在零水(W0)处理下分别降低了10.89%、10.90%和16.95%，穗叶距分别降低了12.54%、13.20%和27.71%，穗长分别降低了4.83%、6.06%和13.29%，无论是株高、穗叶距或穗长，新春9号的降低幅度与转基因株系相比均达到显著水平；小偃22的株高、穗叶距和穗长随水分胁迫的加剧也有不同程度的下降，但下降幅度与转基因株系相比，差异不显著。

万方数据

表 2　不同水分处理下转基因株系的农艺性状变化

Table 2　The change of agronomic traits of transgenic plants under different water treatments

处理 Treatments	品种(系) Variety	株高(cm) Plant height	穗叶距(cm) Space of spike leaf	穗长(cm) Spike length
W0(零水)	G9 - X1129	77.53 ± 0.63	13.48 ± 1.23	15.11 ± 0.74
	G9 - X1139	78.00 ± 0.45	13.63 ± 0.81	14.53 ± 0.65
	新春 9 号 Xinchun No.9	92.70 ± 0.42	15.30 ± 0.34	14.45 ± 0.72
	小偃 22 Xiaoyan 22	68.40 ± 2.46	6.97 ± 0.76	8.75 ± 0.34
W1(一水)	G9 - X1129	80.83 ± 0.63	14.27 ± 0.57	15.46 ± 0.31
	G9 - X1139	82.00 ± 1.62	14.65 ± 1.28	14.96 ± 0.45
	新春 9 号 Xinchun No.9	100.40 ± 1.91	17.82 ± 1.33	15.11 ± 0.36
	小偃 22 Xiaoyan 22	72.90 ± 0.74	7.40 ± 1.18	9.70 ± 0.38
W2(二水)	G9 - X1129	85.97 ± 1.83	15.17 ± 0.84	15.84 ± 0.53
	G9 - X1139	86.50 ± 1.91	15.43 ± 0.76	15.41 ± 0.55
	新春 9 号 Xinchun No.9	108.4 ± 0.85	19.54 ± 0.81	16.37 ± 0.62
	小偃 22 Xiaoyan 22	76.90 ± 0.96	8.02 ± 1.19	9.57 ± 0.57

2.4　水分胁迫对转基因株系产量性状和抗旱指数的影响

从表 3 可以看出,随着灌溉次数的减少,参试材料穗粒数均表现出不同程度降低的趋势,在零水(W0)处理下,G9 - X1129、G9 - X1139 和新春 9 号比在二水(W2)处理下分别降低了 17.16%、16.67% 和 26.63%,新春 9 号的降幅达到显著水平,且在相同水分条件下转基因株系穗粒数均比新春 9 号高;在单株粒重和百粒重方面,参试材料都显示一水(W1)处理下最高,二水(W2)处理下最低的现象,但无论在哪种水分处理下,受体对照新春 9 号单株粒重与百粒重都相对低于转基因株系,在零水(W0)处理下与转基因株系差异达显著水平;在相同水分处理下,小偃 22 单株粒重与转基因株系间差异不显著,而百粒重却存在不同程度的差异,在一水(W1) 和二水(W2)处理下,G9 - X1139 的百粒重显著高于其它参试材料。另外,转基因株系单产与新春 9 号在各种水分处理下都存在显著的差异〔一水(W1)处理下 G9 - X1139 例外〕,平均 G9 - X1129 和 G9 - X1139 分别比受体对照新春 9 号增产 11.67% 和 10.19%,从抗旱指数上看,G9 - X1129 的抗旱指数为 1.18,G9 - X1139 抗旱指数为 1.17,两者都属于较强抗旱等级的品种类型(GB/T 2112722007)。

表 3　不同水分处理下转基因株系的产量性状变化

Table 3　Yield traits of transgenic plants under different water treatments

处理 Treatments	品种(系) Variety	穗粒数 Grain number per spike	单株粒重(g) Grain weight per plant	百粒重(g) Weight per 100 grain	$667m^2$ 产量(kg) Yield per $667m^2$
W0(零水)	G9 - X1129	53.20 ± 2.43a	12.21 ± 0.41a	4.15 ± 0.13ab	286.23 ± 14.76b
	G9 - X1139	53.20 ± 4.12a	12.29 ± 0.32a	4.17 ± 0.18ab	283.04 ± 6.44b
	新春 9 号 Xinchun No.9	49.01 ± 3.05a	10.28 ± 0.31b	3.85 ± 0.16b	250.83 ± 12.46c
	小偃 22 Xiaoyan22	53.47 ± 3.03a	12.16 ± 0.24a	4.26 ± 0.19a	327.31 ± 11.57a
W1(一水)	G9 - X1129	58.33 ± 3.42a	12.81 ± 0.52a	4.21 ± 0.21 b	369.33 ± 10.17b
	G9 - X1139	57.73 ± 4.24a	12.50 ± 0.43a	4.63 ± 0.09 a	334.37 ± 6.50 c
	新春 9 号 Xinchun No.9	56.00 ± 2.91a	11.07 ± 0.32a	4.28 ± 0.08b	318.29 ± 8.28c
	小偃 22 Xiaoyan 22	58.53 ± 4.55a	12.95 ± 0.35a	4.43 ± 0.12ab	417.51 ± 22.45a
W2(二水)	G9 - X1129	62.33 ± 2.74a	10.16 ± 0.32a	3.73 ± 0.16ab	306.12 ± 3.58b
	G9 - X1139	62.07 ± 2.52a	11.40 ± 0.44a	3.97 ± 0.11a	331.55 ± 2.21a
	新春 9 号 Xinchun No.9	62.06 ± 3.21a	9.95 ± 0.42ab	3.68 ± 0.08b	292.44 ± 6.59c
	小偃 22 Xiaoyan 22	64.73 ± 4.14a	11.35 ± 0.21a	3.79 ± 0.28ab	341.90 ± 10.51a

注:表中数值为 3 个重复的平均值 ± 标准差;同列中同一水分处理的数据标有不同字母的表示差异具有显著性(LSD 检验,$P = 0.05$)。

Note: The data represent the mean ± SD; values with different letters of the same water treatments in the same column indicate a significant difference at $P = 0.05$ according to LSD test.

万方数据

3 结论与讨论

植物在遭受到干旱、低温、盐碱等逆境胁迫时，体内会发生一系列的生理生化变化以适应胁迫环境。小麦种子萌发期干旱胁迫条件下，种子的胚芽鞘长度、胚根长度和胚根数等常常作为衡量种子早期抗旱性重要的形态指标[7-8]。本试验研究表明，在室内人工模拟干旱胁迫条件下，转基因植株 G9-X1129 和 G9-X1139 在种子萌发期具有比新春9号更长的胚芽鞘和胚根长度，较多的胚根数目和明显的生长势，这与王玮等[9]的研究结果一致，说明 *TaEBP* 基因的表达能够提高转基因小麦种子萌发期对干旱胁迫的抗性；于同泉等[10]研究显示胁迫强度或时间达到一定阀值时可溶性蛋白质明显增加，且抗旱性强的品种在较高胁迫强度下可溶性蛋白质含量相对较高，干旱胁迫下会使一些逆境蛋白的浓度增加，或者会诱导合成一些新的逆境蛋白[10-13]，本试验结果表明，随着水分胁迫的加强，小麦叶片中可溶性蛋白含量不断增加，且转基因株系 G9-X1129 和 G9-X1139 可溶性蛋白质含量相对高于受体对照新春9号，说明随着干旱胁迫的持续和转基因株系生育进程的推进，转基因株系除了产生常规的具有特异性作用的一些调节代谢酶外，其所含外源基因 *TaEBP* 得到了充分的表达，进而引发了一些干旱相关功能基因的表达而产生一些新的胁迫蛋白，以抵御生长发育后期的干旱胁迫[14]；脯氨酸是植物在逆境胁迫条件下主动积累的重要渗透调节物质，可以通过渗透调节能力降低渗透势缓解干旱胁迫对植物带来的伤害，在干旱胁迫下脯氨酸的积累是植株为维持正常生长迅速做出抵抗干旱的反应，抗旱性强的品种脯氨酸含量较高[15]，本试验结果显示，随着胁迫程度的加强和生长发育的进行，各材料脯氨酸含量都有上升的趋势，转基因株系在胁迫下脯氨酸含量积累明显更多，说明转基因小麦比对照品种有更强的渗透调解能力，从而缓解干旱胁迫的伤害，这与王贺正等[16]研究结果一致。

农艺性状的变化是植物遭受干旱等逆境胁迫后，外部形态的体现，一定程度上能直观地表现出植物对不利环境的适应能力。株高作为衡量小麦生长发育的一项基本形态指标，对株高测定显示，干旱胁迫导致供试材料株高下降，降幅虽有不同，但转基因株系降幅较小，说明转基因小麦对干旱胁迫反应较迟钝，具有较好的抗旱逆境适应性[17]，这与刘桂茹等[18]研究结果相同。对供试品种的穗叶距等农艺性状研究表明，干旱胁迫与正常供水相比会导致各品种的穗叶距、穗长、穗粒数、单株粒重降低，并且在胁迫下转基因株系保持较低的降幅，说明转基因小麦受到的水分胁迫影响较小，耐胁迫性强，王士强等[19]研究结果表明穗叶距、穗长、穗粒数、千粒重、株高与小麦的抗旱指数关联度较大，许海霞等[20]研究也表明株高、穗粒数、穗长、千粒重受到干旱胁迫影响较小的品种耐旱性强，这一结果与本试验的研究结果相似。

对比分析证明，转基因株系 G9-X1129 和 G9-X1139 具有较好的耐水分胁迫特性，具有优于受体对照的抗旱性能，能更好地抵抗土壤水分胁迫；转基因株系与本地（陕西）推广品种小偃22具有相对一致的抵抗水分胁迫能力，能达到同一水平的抗旱强度。笔者推测，转基因株系与受体对照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。

由于小麦的抗旱性是基因型、表型性状、生理生化性状与环境因子等多个因素共同作用的结果[21-23]，需要对小麦各个生长发育时期对水分胁迫的抗性特点以及小麦生长发育阶段的众多抗旱相关指标进行综合抗旱性评价，才有可能获得准确的关于作物抗旱节水性能的准确而有效的评价结果[24]。本研究只是对 G9-X1129 和 G9-X1139 种子萌发期和拔节、抽穗、灌浆期的部分抗旱相关指标进行了测定，是对 G9-X1129 和 G9-X1139 抗旱节水特性的初步研究，而与抗旱相关的其他指标有待进一步探讨，以便更全面地评价转基因小麦的抗旱节水性能，揭示 G9-X1129 和 G9-X1139 抗旱水分生理特点。

参考文献：

[1] 高世庆，徐惠君，程宪国，等.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.

[2] 郝晓燕，陈 明，徐惠君，等.*GH-DREB* 基因转化小麦及转基因植株后代的抗旱生理指标鉴定[J].西南农业学报，2005，18(5)：616-620.

[3] 张亚洲，陈 芬，徐庆国.转录因子 *DREB* 在植物抗逆中的应用[J].作物研究，2009，23(5)：290-292.

[4] 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.

[5] 黄天会.小麦抗旱性鉴定评价指标比较研究[D].陕西杨凌：西北农林科技大学，2006.

[6] 张玉梅.控水条件下小麦不同抗旱性鉴定指标的研究[D].山东莱阳：莱阳农学院，2006.

[7] Rebetzke G J, Richards R A, Fettell N A. Genotypic increases in coleoptile length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep sown wheat[J]. Field Crops Research, 2007, 100: 10-23.

万方数据

[8] Rebetzke G J, Bruce S E, Kirkegaard J A. Longer coleoptiles improve emergence through crop residues to increase seedling numbers and biomass in wheat(*Triticum aestivum* L.)[J]. Plant and Soil, 2005, 272:87-100.

[9] WANG W, ZOU Q. Studies on coleoptile length as criterion of appraising drought resistance in wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 1997,23(4):459-467.

[10] 于同泉,柴丽娜,刘宗萍.水分胁迫下小麦幼苗可溶性蛋白质的表现与小麦抗旱蛋白之初探[J].北京农学院学报,1995,10(1):26-31.

[11] 戴　明,邓西平,杨淑慎,等.水分胁迫对不同基因型小麦幼芽蛋白质表达和某些生理特性的影响[J].应用生态学报,2009,20(9):2149-2156.

[12] Xu M J, Liu G R, Yang X J, et al. The study of drought induced protein of winter wheat cultivars[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2002,25(4):11-15.

[13] Xu M J, Liu G R, Yang X J, et al. The influence of water stress to protein metabolism of winter wheat cultivars with different drought resistance ability[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2002, 20(3):85-92.

[14] 俞嘉宁.小麦耐旱、耐盐相关基因的克隆、分析与功能研究[D].陕西杨陵:西北农林科技大学,2003.

[15] Vendruscolo E C G, Schuster I, Pileggi M, et al. Stress - induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat[J]. Journal of Plant Physiology, 2007,164(10):1367-1376.

[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] LIU P, CAIH J, WANG J. Effects of soil water stress on growth development, dry matter partition and yield constitution of winter wheat effects of soil water stress on growth development[J]. Research of Agriculture Modernization, 2010,31(3):330-333.

[18] 刘桂茹,张荣芝,卢建祥,等.小麦品种抗旱性鉴定指标与产量性状关系的探讨[J].河北农业大学学报,1995,18(1):10-14.

[19] 王士强,胡银岗,佘奎军,等.小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析[J].中国农业科学,2007,40(11):2452-2459.

[20] 许海霞,李　伟,程西永,等.干旱胁迫对小麦农艺性状的影响[J].中国农学通报,2008,24(3):125-129.

[21] 郑桂萍,李金峰,钱永德,等.农作物综合抗旱性指标的评价分析[J].中国农学通报,2005,21(10):109-121.

[22] Wang W, Vinocur B, Altman A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance[J]. Planta, 2003,218:1-14.

[23] Fan T L, Balta M, Rudd J, et al. Canopy temperature depression as a potential seletion criterion for drought resistance in wheat[J]. Agricultural Sciences in China, 2005,4(10):793-800.

[24] 王贺正,马　均,李旭毅,等.水稻开花期抗旱性鉴定指标的筛选[J].作物学报,2005,31(11):1485-1489.

Analysis of drought resistance of transgenic wheat with *TaEREB*2 gene under PEG and different irrigation treatments

YANG Mei[1], MA You-zhi[2], MIN Dong-hong[1], CHEN Yao-feng[1], CHEN Xue-hu[3], ZHANG Bo[4], WANG Hui-qiang[5]

(1. *College of Agronomy, Northwest A & F University, Shaanxi* 712100, *China*;
2. *Institute of Crop Science, CAAS, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: Using two transgenic lines G9 - X1129 and G9 - X1139 with *TaEREB* gene, receptor parent Xinchun No.9 and local contrast varieties Xiaoyan 22 as materials, we investigated their coleoptile length, radicle length and radicle number of wheat seedlings under drought stress simulated with PEG osmotic solution, and analyzed their physio-biochemical, morphological and drought resistance index under different water treatments at field case. The results showed that compared with normal, their coleoptile length, radicle length and radicle numbers were reduced under drought stress simulated with 20% concentration of PEG-6000 osmotic solution, but the declining range of the receptor parent was greater than that of the transgenic lines; The soluble protein, proline content of G9 - X1129 and G9 - X1139 were observably higher than that of Xinchun No.9; With the increase of drought stress, the height, space of spike leaf, spike length of materials had different extent of decrease, but the declining range of the transgenic lines was lower than that of the receptor parent. The yield of G9 - X1129 and G9 - X1139 exceeded the receptor control by 11.67% and 10.19% respectively, and the drought resistance index was 1.18 and 1.17, which belongs to a strong drought-resistant level. It is suggested that the performance of drought resistance and water saving of the transgenic lines G9 - X1129 and G9 - X1139 were higher than Xinchun No.9, and the same as Xiaoyan 22.

Keywords: wheat (*Triticum aestivum* L.); *TaEREB* gene; drought index; drought resistance

万方数据