

# 小麦苗期耐旱品种筛选及其生理特性

殷桂香, 张平治, 余茂云

安徽省农业科学院作物研究所, 安徽省农作物品种改良重点实验室, 合肥 230031

**摘要** 以收集及引进的50个小麦品种为材料,通过小麦幼苗干旱胁迫试验筛选耐旱小麦种质,结合旱胁迫相关指标测定,揭示耐旱生理指标与耐旱性能相关性。结果表明,小麦幼苗经干旱处理复水后品种间成活率差异显著,其中川麦42、西农2000和洲元936的成活率均高于65%,其他品种低于42%。进一步分析3个耐旱品种和随机选择的3个干旱敏感型品种在干旱胁迫下4种生理指标的差异表明,耐旱性小麦品种幼苗叶片中 $K^+$ 、可溶性糖及Pro含量均显著高于旱敏感型品种,而MDA含量降低,表明小麦苗期幼苗叶片中 $K^+$ 、可溶性糖、Pro及MDA含量与小麦耐旱性能具有相关性。

**关键词** 小麦;耐旱性;生理指标;成活率;相关性分析

随着全球淡水资源的匮乏和干旱加剧,粮食生产受到严重威胁。干旱是影响植物生长发育最主要的逆境因子,严重影响作物生产,已成为全球粮食产量的一个重要限制因素<sup>[1]</sup>。不同植物对干旱的适应能力存在差异<sup>[2-4]</sup>。小麦属全球第二大粮食作物,选育和推广高耐旱小麦品种对耐旱节水具有重要意义<sup>[2-5]</sup>。

小麦的抗旱性能鉴定工作复杂,寻找一种快速、精准的小麦抗旱性能鉴定方法,对于小麦育种及产量提升都具有重要意义。多年来,研究者在小麦抗旱性能鉴定指标方面做了大量工作。对小麦发育早期耐旱指标研究表明,相比茎长、根长及种子萌发率,种子活力指数是最重要鉴定指标<sup>[6]</sup>。Araghi等<sup>[7]</sup>通过测定小麦冠层温度、气孔阻力、蒸腾面积及水分散失速率与耐旱性关系发现,冠层温度、气孔阻力及水分散失速率是筛选小麦耐旱品种的重要指标。Mardeh等<sup>[8]</sup>研究发现,区分耐旱小麦种质的标准受到环境胁迫强度影响,认为应针对不同的胁迫条件采用合适的筛选标准。然而,在众多鉴定指标中,干旱处理后幼苗成活率是最简单、有效的小麦耐旱种质筛选指标,特别对于批量筛选而言,具有省时省力特性<sup>[9]</sup>。

旱胁迫条件下,植物主要通过调节细胞渗透压阻止细胞脱水从而抵御水分胁迫<sup>[2,10]</sup>。 $K^+$ 是植物主要渗透调节物质之一,具有促进其他物质如脯氨酸(proline, Pro)生成及对酶和蛋白质保护作用等,同时, $K^+$ 在植物生理过程中扮演渗透调节、蛋白质合成和酶激活角色<sup>[11-15]</sup>。可溶性糖主要指易溶于

水的糖类,是植物生长发育及基因表达的重要调节因子,表现为供能及细胞组成成分。研究表明,植物体内的可溶性糖在细胞信号转导过程中起类似激素的作用,参与植物体渗透调节过程,兼具维持植物蛋白质稳定的作用<sup>[16]</sup>。乔亚科等<sup>[17]</sup>研究表明,大豆苗期与耐旱性关系密切相关的生理指标是可溶性糖含量和过氧化氢酶(CAT)( $r=0.95$ ),而开花期与耐旱性关系密切的生理指标为可溶性糖含量和叶绿素含量( $r \geq 0.92$ ),认为可溶性糖是大豆苗期可靠的耐旱性指标。胡梦芸等<sup>[18]</sup>研究发现,外源葡萄糖显著促进水分胁迫下小麦幼苗根系生长,进而促进叶片中可溶性糖和Pro等渗透调节物质积累,减轻水分胁迫造成的伤害。植物器官衰老或在逆境条件下,膜脂易发生过氧化作用,造成植株伤害。丙二醛(malondialdehyde, MDA)是膜脂过氧化的最终分解产物,其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度<sup>[19-21]</sup>。此外,研究发现,在逆境条件下植物体内Pro含量显著增加,这在一定程度上反映了植物的抗逆性能<sup>[22-25]</sup>。

本研究于2014年5—7月在安徽省农业科学院作物研究所旱棚,采用对盆栽1月的小麦幼苗进行人工控水处理,模拟极端旱胁迫方式,筛选耐旱性能差异小麦资源,并在旱胁迫处理不同时间段提取叶片中钾、丙二醛、可溶性糖和游离Pro,进行含量测定,分析小麦耐旱性能与钾、丙二醛、可溶性糖和游离Pro含量的相关性,揭示旱胁迫条件下上述生理指标的变化规律,为其他作物抗旱资源筛选和鉴定提供方法参考和理论依据。

收稿日期:2015-11-05;修回日期:2016-11-02

基金项目:国家自然科学基金项目(31401376);安徽省农业科学院科技创新团队项目(13C0202);安徽省种子工程项目(14D0202)

作者简介:殷桂香,实验师,研究方向为植物遗传转化,电子信箱:guixiangyin@126.com;余茂云(通信作者),助理研究员,研究方向为作物营养代谢与逆境胁迫分子机理鉴定,电子信箱:ahxiaoshe@126.com

引用格式:殷桂香,张平治,余茂云.小麦苗期耐旱品种筛选及其生理特性[J].科技导报,2016,34(22):95-101;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.22.013

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

50 个小麦品种为中国农业科学院作物科学研究所小麦

生物技术课题组及江苏里下河地区农业科学研究所提供(表 1)。

表 1 本研究所用的小麦品种信息

Table 1 Information of wheat that used in this study

序号	小麦基因型	审定/育成年代	序号	小麦基因型	审定/育成年代	序号	小麦基因型	审定/育成年代	序号	小麦基因型	审定/育成年代
1	扬麦 6 号	1984	14	周麦 22	2007	27	中麦 895	2012	40	洲元 936	2007
2	西农 979	1997	15	宁春 47	2008	28	鄂麦 18	2002	41	豫农 9676	2004
3	济麦 22	2006	16	周麦 18	2005	29	新春 9 号	1999	42	偃展 4110	2003
4	宁春 50	2010	17	内麦 836	2008	30	矮抗 58	2005	43	豫麦 47	1997
5	扬麦 158	1993	18	京冬 8 号	1995	31	良星 99	2006	44	小偃 216	2008
6	CB037	—	19	郑麦 9023	2001	32	兰考矮早 8	2003	45	西农 9871	2008
7	轮选 987	2003	20	邯 6172	2002	33	蓝天 092	2010	46	陕农 138	2008
8	郑麦 366	2005	21	石 4185	2001	34	豫农 211	2007	47	山农 19	2007
9	克丰 10	2003	22	小偃 54	2000	35	济麦 21	2004	48	衡观 35	2006
10	克丰 12	2007	23	宁春 4	1981	36	新麦 208	2005	49	邯 00-7095	2001
11	中国春	—	24	新冬 20	1995	37	西农 2000	2006	50	陕麦 150	1999
12	龙麦 30	2004	25	轮选 103	2010	38	绵麦 39	2005			
13	Verry	—	26	川麦 42	2004	39	襄麦 55	2009			

注:—表示没有相关信息。

### 1.2 耐旱性鉴定

旱胁迫处理场地为安徽省农业科学院作物研究所旱棚,采用盆栽幼苗进行旱胁迫处理。旱胁迫处理所用筛盘为 90 cm×60 cm×15 cm 的塑料筛盘。采用随机排列设计,将 50 个小麦品种分成 5 组,每个筛盘种植 10 个小麦品种,每个品种种植 1 列,每列 10 株,设置 3 个重复。挑取均匀一致的小麦种子室温下过夜浸泡,在培养皿中将露白的种子摆放到湿润的双层滤纸上,封口膜密封后放到 4℃冰箱中春化处理 2 周。然后将各个材料种植到筛盘中,出苗后 1 个月内每周浇 1 次水,每次 4 L。分蘖盛期开始水分胁迫处理。旱胁迫 15 d,至全部植株枯黄,土壤绝对含水量 3%~4%时,开始复水,每个筛盘浇 6 L 水,复水 10 d 后统计不同基因型植株存活数,计算存活率。

$$\text{存活率}(\%) = (\text{复水后存活植株数} / \text{水分胁迫前总植株数}) \times 100\%$$

旱胁迫开始后每 2 天取 1 次样,每个基因型随机选择 3 株,剪取适量叶片,放于防潮硫酸纸袋中,置于冰上,用于测定 K<sup>+</sup>、MDA、可溶性糖和游离 Pro 含量。

### 1.3 K<sup>+</sup>含量的测定

参照鲁如坤<sup>[26]</sup>的方法,采用火焰分光光度计测定 K<sup>+</sup>含量。本研究以正常供水条件下的小麦幼苗叶片 K<sup>+</sup>含量为对照,计算处理与对照 K<sup>+</sup>含量比值,结合旱胁迫植株存活率,统计分析得出二者相关性。

### 1.4 MDA 含量的测定

参照孙群等<sup>[27]</sup>的方法,采用硫代巴比妥酸法(TBA)法测

定组织中 MDA 含量。本研究以正常供水条件下的小麦幼苗叶片 MDA 含量为对照,计算处理与对照 MDA 含量比值,结合旱胁迫植株存活率,统计分析得出二者相关性。

### 1.5 可溶性糖含量的测定

参照李合生<sup>[28]</sup>的方法,采用蒽酮法测定组织中可溶性糖含量。本研究以正常供水条件下的小麦幼苗叶片可溶性糖含量为对照,计算处理与对照可溶性糖含量比值,结合旱胁迫植株存活率,统计分析得出二者相关性。

### 1.6 游离 Pro 含量的测定

参照邹琦<sup>[29]</sup>的方法,采用甲苯萃取法测定组织中 Pro 含量。本研究以正常供水条件下的小麦幼苗叶片游离 Pro 含量为对照,计算处理与对照游离 Pro 含量比值,结合旱胁迫植株存活率,统计分析得出二者相关性。

### 1.7 数据统计分析

利用 SAS 软件对各数据进行方差分析,SPSS 软件进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同小麦品种耐旱性比较

对 50 个小麦基因型进行旱胁迫处理 15 d(图 1),设置正常供水为对照。复水后 7 d 统计成活率(图 2)。编号为 26、37 和 40 的 3 个基因型(川麦 42、西农 2000 和洲元 936)与其他基因型具有显著差异,为强耐旱品种;而编号为 4、9、10、11、12、15、28、29、31、32、38、39、41、44 和 50 的共 15 个基因型成活率均为 0%,为不耐旱品种。

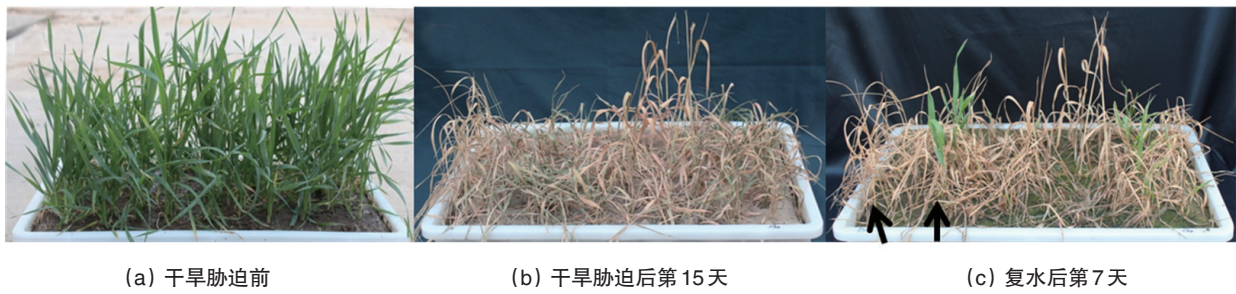
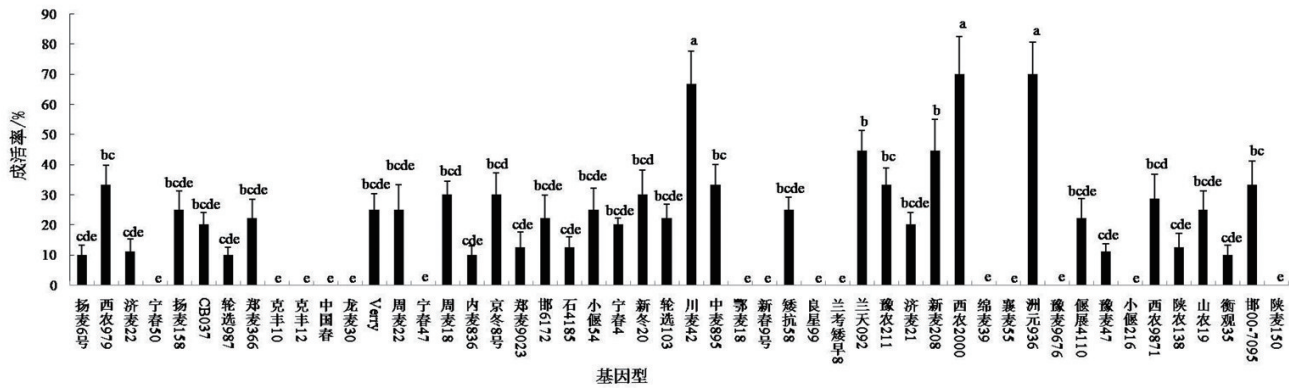


图1 不同小麦基因型旱胁迫前后及复水后植株生长情况

Fig. 1 Plant growing status of different wheat accessions before and after drought stress treatment and after rewatering



图中字母代表在0.05水平差异显著性

图2 不同小麦基因型耐旱性比较

Fig. 2 Drought tolerance performance of different wheat genotypes

### 2.2 不同耐旱性小麦材料叶片中K<sup>+</sup>含量分析

选取耐旱性好的川麦42(序号26)、西农2000(序号37)和洲元936(序号40)与耐旱性差的克丰10(序号9)、中国春(序号11)和豫麦9676(序号41)进行旱胁迫处理及对照处理,分别测定旱胁迫和对照处理植株叶片中K<sup>+</sup>含量,并计算旱胁迫处理K<sup>+</sup>含量占对照的比例。结果表明:随着旱胁迫时间的

延长,K<sup>+</sup>含量均有不同程度的减少,而川麦42、西农2000和洲元936 K<sup>+</sup>含量减少速度均明显慢于克丰10、中国春和豫麦9676,说明耐旱性好的基因型在受到旱胁迫时K<sup>+</sup>减少速度明显慢于耐旱性差的基因型(图3)。对各基因型K<sup>+</sup>含量占对照的比例与成活率进行相关性分析,相关系数  $r_{K^+} = 0.885$ , K<sup>+</sup>含量与植株成活率具有显著相关性。

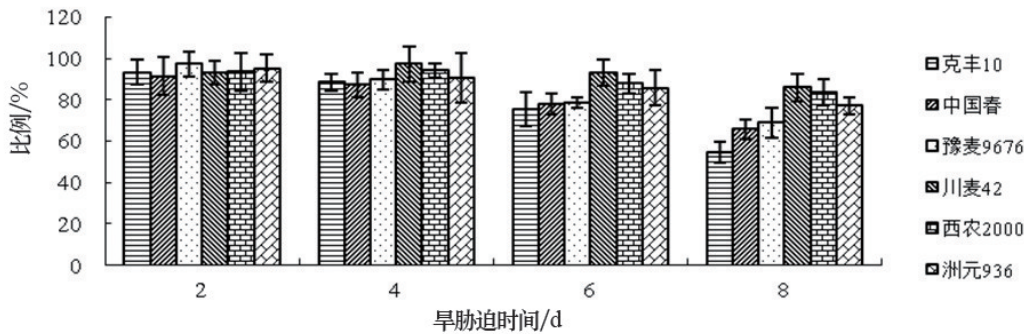


图3 旱胁迫不同时间不同小麦基因型K<sup>+</sup>含量占对照的比例

Fig. 3 K<sup>+</sup> content percentage against control in different wheat genotypes at different drought stress time

### 2.3 不同耐旱性小麦材料叶片中可溶性糖含量分析

对耐旱性能差异小麦材料进行叶片可溶性糖含量测定表明,随着旱胁迫时间的延长,各基因型叶片中可溶性糖含量均有不同程度的增加,但耐旱性好的川麦42、西农2000和

洲元936增加量明显高于耐旱性弱的克丰10、中国春和豫麦9676(图4)。对各基因型可溶性糖含量占对照的比例与成活率进行相关性分析,相关系数  $r_{\text{可溶性糖}} = 0.969$ ,可溶性糖含量与植株成活率具有极显著相关性。说明在旱胁迫时,植株可以

通过增加可溶性糖含量增强耐旱性,且可以从增加量来反应耐旱性的强弱。

#### 2.4 不同耐旱性小麦材料叶片中MDA含量分析

植株MDA含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度。研究表明,随着旱胁迫时间的延长,MDA含量不断增加,但耐旱性好的川麦42、西农2000和洲元936叶片中MDA含量增加量与耐旱性差的克丰10、中国春和豫麦9676相比明显少,说明耐旱性好的基因型在相同旱胁迫时间,受伤害明显小于耐旱性弱的基因型(图5)。对各基因型MDA含量占对照的比例与成活率进行相关性分析,相关系数 $r_{MDA} = -0.944$ ,MDA含

量与植株成活率具有极显著负相关性。

#### 2.5 不同耐旱性小麦材料叶片中游离Pro含量分析

Pro是植物体内主要渗透调节物质之一。通过对不同小麦基因型在旱胁迫处理与对照条件下叶片中游离Pro含量测定,结果表明,随着旱胁迫时间的延长,Pro含量不断增加,且川麦42、西农2000和洲元936叶片中Pro含量增加量明显高于克丰10、中国春和豫麦9676(图6)。对各基因型Pro含量占对照的比例与成活率进行相关性分析,相关系数 $r_{Pro} = 0.875$ ,Pro含量与植株成活率具有显著相关性。说明Pro含量能在一定程度上反应耐旱性的强弱。

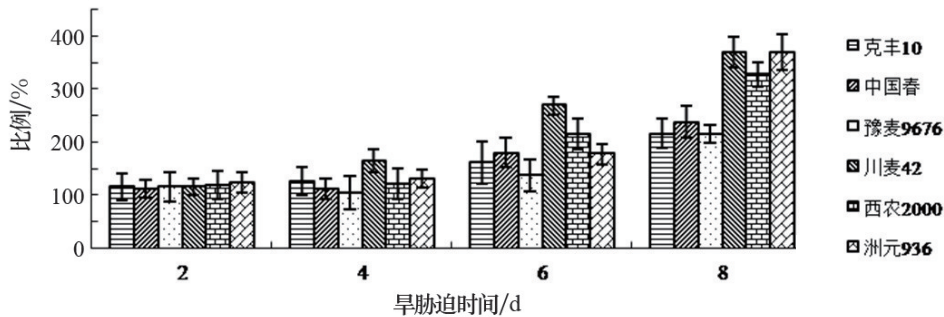


图4 旱胁迫不同时间不同小麦基因型可溶性糖含量占对照的比例

Fig. 4 Soluble sugar content percentage against control in different wheat genotypes at different drought stress

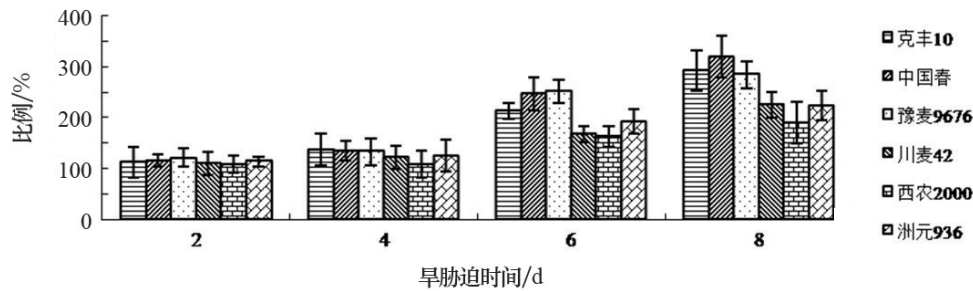


图5 旱胁迫不同时间不同小麦基因型MDA含量占对照的比例

Fig. 5 MDA content percentage against control in different wheat genotypes at different drought stress time

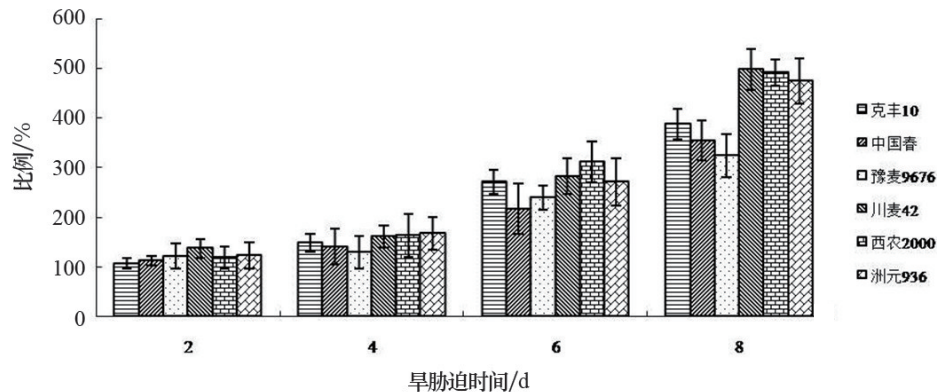


图6 旱胁迫不同时间不同小麦基因型Pro含量占对照的比例

Fig. 6 Free proline content percentage against control in different wheat genotypes at different drought stress time

### 3 讨论

小麦耐旱种质筛选一直是小麦抗逆育种的热点<sup>[30-33]</sup>。李德全等<sup>[11]</sup>利用耐旱性不同的小麦品种,研究渗透调节物质种类及其影响时发现,早胁迫过程导致Pro、K<sup>+</sup>、可溶性糖和其他游离氨基酸等含量依次递增。本研究在对耐旱性能差异品种早胁迫过程中K<sup>+</sup>含量测定时发现,K<sup>+</sup>含量并不是伴随早胁迫延续而增多,而是耐旱性强的品种K<sup>+</sup>含量变化较小,这从另一方面也反映出K<sup>+</sup>对于小麦早胁迫的耐受性有正调控作用。侯采霞等<sup>[34]</sup>在菠菜早胁迫过程甜菜碱积累的研究发现,K<sup>+</sup>可能参与甜菜碱合成、甜菜碱脱氢酶(BADH)活性调节及促进Pro累积。尽管本研究并未发现在早胁迫条件下,K<sup>+</sup>含量变化呈上升趋势,但Pro含量与早胁迫呈正相关,进一步说明K<sup>+</sup>含量与早胁迫性能具有相关性。钮福祥等<sup>[35]</sup>在研究甘薯耐旱品种生理指标时发现,虽然早胁迫导致MDA含量显著增加,但耐旱性强的品种叶片MDA的增加幅度显著低于不耐旱品种,这与本研究的结果一致,表明单子叶植物小麦与双子叶甘薯在MDA这个早胁迫指标上具有一致性。此外,当棉花植株过表达GbMYB5转录因子后,转基因植株体内MDA含量显著低于对照,耐旱性增强<sup>[36]</sup>。拟南芥过表达小麦的TaUBA植株体内MDA含量较野生型多,进一步分析发现TaUBA具有弱化植株早胁迫耐受性<sup>[37]</sup>。对大豆及甘薯早胁迫条件下植株体内的可溶性糖含量变化研究发现,叶片中可溶性糖含量皆与植株耐旱性能关系密切<sup>[17, 38]</sup>。综上所述,Pro、可溶性糖和MDA可以作为耐旱指标是不容置疑的,K<sup>+</sup>含量变化与植物耐旱性能也相关,但变化趋势因物种而异。王燕平等<sup>[39]</sup>在对大豆结荚期耐旱性研究时,建议采用多指标结合主成分分析与模糊聚类对早胁迫性能进行综合评价。本研究同时分析4个指标与小麦早胁迫性能之间的相关性,具有较好的理论依据。

### 4 结论

通过对50个小麦基因型进行早胁迫处理,筛选得到3个高耐旱小麦品种。该方法具有简便、快速、高效、可重复性好等特点,适用于从大量资源中筛选出耐旱种质。此外,通过对耐旱性相关生理指标测定和统计分析,得出小麦苗期耐旱性与生理指标K<sup>+</sup>、可溶性糖及Pro含量呈正相关关系,与MDA含量呈负相关关系,本结论可为其他作物耐旱种质生理鉴定提供借鉴。

#### 参考文献(References)

- [1] Wang X, Vignjevic M, Jiang D, et al. Improved tolerance to drought stress after anthesis due to priming before anthesis in wheat (*Triticum aestivum* L.) var. Vinjett[J]. Journal of Experimental Botany, 2014, 10: 1-16.
- [2] 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): 1-14.
- [3] 王士强, 胡银, 余奎军, 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.

Wang Shiqiang, Hu Yingang, She Kuijun, et al. Gray relational grade analysis of agronomical and physi-biochemical traits related to drought tolerance in wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(11): 2452-2459.

- [4] 邵宏波, 梁宗锁, 邵明安, 等. 小麦抗旱生理生化和分子生物学研究进展与趋势[J]. 草业学报, 2006, 15(3): 5-17.  
Shao Hongbo, Liang Zongsuo, Shao Mingan, et al. Progress and trends in the study of anti-drought physiology and biochemistry, and molecular biology of *Triticum aestivum*[J]. Acta Pratacul Turae Sinica, 2006, 15(3): 5-17.
- [5] 殷桂香, 王瑾, 徐惠君, 等. 几个小麦基因型苗期抗旱性鉴定及相关生理指标分析[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(2): 319-323.  
Yin Guixian, Wang Jin, Xu Huijun, et al. Drought tolerance test and related seedling stage of physiological indexes analysis at several wheat genotypes[J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(2): 319-323.
- [6] Dhanda S S, Sethi G S, Behl R K. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2004, 190(1): 6-12.
- [7] Araghi G S, Assad M T. Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat[J]. Euphytica, 1998, 103(3): 293-299.
- [8] Mardeh A S S, Ahmadi A, Poustini K, et al. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions[J]. Field Crops Research, 2006, 98(2): 222-229.
- [9] Winter S R, Musick J T, Porter K B. Evaluation of screening techniques for breeding drought-resistant winter wheat[J]. Crop Science, 1988, 28(3): 512-516.
- [10] 杜金友, 陈晓阳, 李伟, 等. 干旱胁迫诱导下植物基因的表达与调控[J]. 生物技术通报, 2004(2): 10-14.  
Du Jinyou, Chen Xiaoyang, Li Wei, et al. Expression and regulation of genes induced by drought stress in plant[J]. Biotechnology Bulletin, 2004(2): 10-14.
- [11] 李德全, 邹琦, 程炳篙. 土壤干旱下不同抗旱性小麦品种的渗透调节和渗透调节物质[J]. 植物生理学报, 1992, 18(1): 37-44.  
Li Dequan, Zou Qi, Cheng Bingsong. Osmotic adjustment and osmotic of wheat cultivars with different drought resistance under soil drought[J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1992, 18(1): 37-44.
- [12] Peng Yanhui, Zhu Yafang, Mao Yongqiang, et al. Alkali grass resists salt stress through high [K<sup>+</sup>] and an endodermis barrier to Na<sup>+</sup>[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(398): 939-949.
- [13] Francisco R, Martin S, Walter G, et al. Genetic selection of mutations in the high affinity K<sup>+</sup> transporter HKT1 that define functions of a loop site for reduced Na<sup>+</sup> permeability and increased Na<sup>+</sup> tolerance[J]. Journal of Biological Chemistry, 1999, 274(11): 6839-6847.
- [14] Venema K, Belder A, Marín-Manzano M C, et al. A novel intracellular K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporter related to Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporters is important for K<sup>+</sup> ion homeostasis in plants[J]. Journal of Biological Chemistry, 2003, 278(25): 22453-22459.
- [15] Rus A M, Estañ M T, Gisbert C, et al. Expressing the yeast HAL1 gene in tomato increases fruit yield and enhances K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> selectivity under salt stress[J]. Plant, Cell & Environment, 2001, 24(8): 875-880.
- [16] Maraghni M, Gorai M, Neffati M, et al. Differential responses to drought stress in leaves and roots of wild jujube, *Ziziphus lotus*[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2014, 36(4): 945-953.
- [17] 乔亚科, 杨晓倩, 乔潇, 等. 大豆基于形态及生理指标的抗旱性评价

- 及相关性分析[J]. 大豆科学, 2014, 33(5): 667-673.
- Qiao Yake, Yang Xiaoqian, Qiao Xiao, et al. The correlation of drought-resistance evaluation between agronomic traits and physiological indexes of wild and cultivated soybean[J]. Soybean Science, 2014, 33(5): 667-673.
- [18] 胡梦芸, 李辉, 张颖君, 等. 水分胁迫下葡萄糖对小麦幼苗光合作用和相关生理特性的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(4): 724-732.
- Hu Mengyun, Li Hui, Zhang Yingjun, et al. Photosynthesis and related physiological characteristics affected by exogenous glucose in wheat seedlings under aater stress[J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(4): 724-732.
- [19] Thi P, Hà T. Physiological responses of rice seedlings under drought stress[J]. Journal of Science Development, 2014, 12(5): 635-640.
- [20] 张明生, 谈锋, 张启堂. 快速鉴定甘薯品种抗旱性的生理指标及方法的筛选[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 260-265.
- Zhang Mingsheng, Tan Feng, Zhang Qitang, et al. Physiological indices for rapid identification of sweet potato drought resistance and selection of methods[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(3): 260-265.
- [21] Karatas I, Öztürk L, Demir Y, et al. Alterations in antioxidant enzyme activities and proline content in pea leaves under long-term drought stress[J]. Toxicology and Industrial Health, 2014, 30(8): 693-700.
- [22] 王辉, 曹立勇, 郭玉华, 等. 水稻生理特性与抗旱性的相关分析及QTL定位[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(5): 477-484.
- Wang Hui, Cao Liyong, Guo Yuhua, et al. Correlation Analysis and QTL mapping of some physiological traits related to drought resistance in rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2008, 22(5): 477-484.
- [23] 程建峰, 潘晓云, 刘宜柏, 等. 快速鉴定稻种资源抗旱性的生理指标筛选及其遗传背景[J]. 西南农业学报, 2005, 18(5): 529-533.
- Cheng Jiangfeng, Pan Xiaoyun, Liu Yibai, et al. Physiological index of rapid identification for drought resistance of rice germplasm and their genetic backgrounds[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2005, 18(5): 529-533.
- [24] 宋新颖, 张玉梅, 张洪生, 等. 干旱胁迫对不同冬小麦品种幼苗期生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(12): 6-11.
- Song Xinying, Zhang Yumei, Zhang Hongsheng, et al. Effect of drought stress on physiological characteristics in different winter wheat seedlings. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(12): 6-11.
- [25] 赵红梅, 郭程瑾, 段巍巍, 等. 小麦品种抗旱性评价指标研究[J]. 植物遗传资源学报, 2007, 8(1): 76-81.
- Zhao Hongmei, Guo Chengjin, Duan Weiwei, et al. Studies on evaluation indices for drought resistance capacity in wheat varieties[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2007, 8(1): 76-81.
- [26] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 302-311.
- Lu Rukun. Soil Agricultural chemical analysis[M]. Beijing: Agricultural Science and Technology Press, 2000: 302-311.
- [27] 孙群, 胡景江, 曹翠玲, 等. 植物生理学研究技术[M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2004: 126-131, 136-137.
- Sun Qun, Hu Jingjiang, Cao Cuiling, et al. Research technology of plant physiology[M]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University of Science and Technology Press, 2004: 126-131, 136-137.
- [28] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 195-197.
- Li Hesheng. Plant physiological and biochemical experiment principle and technology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 195-197.
- [29] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 161-162.
- Zou Qi. Plant physiology experiment guidance[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 161-162.
- [30] Blum A, Ebercon A. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat[J]. Crop Science, 1981, 21(1): 43-47.
- [31] Talebi R, Fayaz F, Naji A M. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.)[J]. General and Applied Plant Physiology, 2009, 35(1/2): 64-74.
- [32] Bowne J B, Erwin T A, Juttner J, et al. Drought responses of leaf tissues from wheat cultivars of differing drought tolerance at the metabolite level[J]. Molecular Plant, 2012, 5(2): 418-429.
- [33] Ashraf S, Shahzad A, Karamat F, et al. Quantitative trait loci (QTLs) analysis of drought tolerance at germination stage in a wheat population derived from synthetic hexaploid and opata[J]. Journal of Animal and Plant Sciences, 2015, 25(2): 539-545.
- [34] 侯采霞, 汤章城. 钾离子对盐诱导菠菜甜菜碱积累的影响[J]. 植物生理学报, 1998, 24(2): 131-135.
- Hou Caixia, Tang Zhangchen. Influence of K<sup>+</sup> to the accumulation of glycinebetaine of spinach under NaCl stress[J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1998, 24(2): 131-135.
- [35] 钮福祥, 华希新, 郭小丁, 等. 甘薯品种抗旱性生理指标及其综合评价初探[J]. 作物学报, 1996, 22(4): 392-398.
- Niu Fuxiang, Hua Xixin, Guo Xiaoding, et al. Studies on several physiological indexes of the drought resistance of sweet potato and its comprehensive evaluation[J]. Acta Agronomica Sinica, 1996, 22(4): 392-398.
- [36] Chen T, Li W, Hu X, et al. A cotton MYB transcription factor, *Gb-MYB5*, is positively involved in plant adaptive response to drought stress[J]. Plant and Cell Physiology, 2015, 56(5): 917-929.
- [37] Li X, Zhang S, Ma J. TaUBA, a UBA domain-containing protein in wheat (*Triticum aestivum* L.), is a negative regulator of salt and drought stress response in transgenic *Arabidopsis*[J]. Plant Cell Reports, 2015, 34(5): 755-766.
- [38] 张明生, 彭忠华, 谢波, 等. 甘薯离体叶片失水速率及渗透调节物质与品种抗旱性的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1): 152-156.
- Zhang Mingsheng, Peng Zhonghua, Xie Bo, et al. Relationship between water loss rate of cutting leaves and osmotic regulators under water stress and drought resistance in sweet potato[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(1): 152-156.
- [39] 王燕平, 任海祥, 孙晓环, 等. 不同基因型大豆花期抗旱性综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(1): 37-44.
- Wang Yanping, Ren Haixiang, Sun Xiaohuan, et al. Comprehensive evaluation on drought resistance of different soybean cultivars at flowering-podding stage[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(1): 37-44.

## Correlation analysis of four physiological indices with drought-tolerance during wheat seedlings stage

YIN Guixiang, ZHANG Pingzhi, SHE Maoyun

Provincial Key Facility for Crop Quality Improvement; Crop Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China

**Abstract** To reveal the relationship between the drought-related physiological indices and the drought-tolerant performance, 50 wheat landrace and elite accessions in total from inland and abroad are used for screening the drought-tolerant wheat germplasm during the seedling stage followed by a statistical analysis for the drought tolerant potential and the four physiological indices including the leaf potassium ( $K^+$ ), the soluble sugar, the malondialdehyde (MDA), and the proline (Pro) content. The screening result shows that the seedling survival differs dramatically after desiccation. Among them, Chuanmai 42, Xinong 2000, and Zhouyuan 936 show a high survival rate of over 65%, with the rest lower than 42%. The 4 physiological indices are determined for the above three high drought-tolerance wheat accessions and three low drought-tolerance ones (Kefeng10, Chinese Spring and Yumai 9676) selected at random. Correlation analysis shows a positive relationship between the drought resistance and the leaf  $K^+$ , the soluble sugar, and the Pro levels while negative in terms of the MDA content, which implies a high correlation between the four selected physiological indices and the drought-tolerant performance.

**Keywords** wheat; drought resistance; physiological indices; survival rate; correlation analysis

(责任编辑 王媛媛)