

研究报告

Research Report

西北旱地农家小麦品种抗旱生理机制探究

杨倩^{1,2,3,4} 袁飞敏^{1,2,3,4} 王海庆^{2,3,4} 陈志国^{2,3,4*} 刘德梅^{2,3,4}

1 中国科学院大学, 北京, 100001; 2 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810008; 3 中国科学院高原适应与进化重点实验室, 西宁, 810008; 4 青海省作物分子育种重点实验室, 西宁, 810008

* 通讯作者, zgchen@nwipb.cas.cn

摘要 为探讨旱地小麦品种萌发期抗旱生理机制, 利用西北地区不同生态区水旱地基因型春小麦品种‘和尚头’、‘宁春4号’和‘高原448’为材料, 采用PEG-6000模拟渗透胁迫法, 对种子萌发期胚芽鞘长度、胚根数目及长度、相对发芽率、相对发芽势、种子萌发和活力指数、出苗率及气孔密度等生理指标进行测定。结果表明: 不同类型品种在干旱胁迫下萌发指数差异显著($p < 0.05$), 旱地品种各萌发指数均优于水地品种, 这与旱地品种生长环境及长期人工选择有关。这对进一步确定西北旱地小麦品种抗旱生理形态指标, 定位相应的抗性基因具有重要意义。

关键词 春小麦, 萌发特性, 气孔密度

Preliminary Study on Physiological Mechanism of Drought Resistance of Wheat Varieties in Northwest Dryland

Yang Qian^{1,2,3,4} Yuan Feimin^{1,2,3,4} Wang Haiqing^{2,3,4} Chen Zhiguo^{2,3,4*} Liu Demei^{2,3,4}

1 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100001; 2 Northwest Institute of Plateau Biology, China Academy of Sciences, Xining, 810008; 3 Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biology, China Academy of Sciences, Xining, 810000; 4 Qinghai Provincial Key Laboratory of Crop Molecular Breeding, Xining, 810008

* Corresponding author, zgchen@nwipb.cas.cn

DOI: 10.13271/j.mpb.016.006105

Abstract In order to explore the physiological mechanism of drought resistance of dryland wheat varieties during the germination stage, the genotype spring wheat cultivars from different ecological areas in northwest China were selected as materials, such as 'Heshangtou', 'Ningchun No.4' and 'Plateau 448'. The method of osmotic stress simulated by PEG-6000 was adopted to measure the germination indexes of the coleoptile length, the number and length of radicle, the relative germination rate, the relative germination potential, the germination and vigor index, the seed emergence rate and stomatal density. The results indicated that the germination indexes of different varieties under the drought stress showed significant difference ($p < 0.05$). The germination indexes of dryland varieties were superior to that of irrigated land varieties, which might be related to the environment of long-term growth and the adaptability of long-term drought resistant. It would be of great significance to determine the physiological and morphological indexes and locate the corresponding resistance genes for drought-tolerant wheat varieties in northwest dryland.

Keywords Spring wheat, Germination characteristics, Stomatal density

全球陆地总面积中约30%是干旱半干旱区(黄建平等, 2013), 水资源短缺、干旱是历史性、世界性难题, 时常造成大范围的灾害(Koleva and Alexandrov, 2008; Mishra and Singh, 2010)。干旱对农业生产

基金项目: 本研究由中国科学院战略性先导科技专项(XDA08030106-2)和青海省科技计划项目(2014-NS-511)共同资助

引用格式: Yang Q., Yuan F.M., Wang H.Q., Chen Z.G., and Liu D.M., 2018, Preliminary study on physiological mechanism of drought resistance of wheat varieties in northwest dryland, *Fenzi Zhiwu Yuzhong (Molecular Plant Breeding)*, 16(18): 6105-6111 (杨倩, 袁飞敏, 王海庆, 陈志国, 刘德梅, 2018, 西北旱地农家小麦品种抗旱生理机制探究, *分子植物育种*, 16(18): 6105-6111)

造成的威胁一直是一个世界性的热点问题,在中国,由干旱引起的减产也是粮食安全面临的重要问题(Hayes et al., 2004; Leilah and Alkhateeb, 2005; Maybank et al., 2010)。

小麦作为中国的主要粮食作物,70%的种植面积分布在干旱及半干旱区域(刘芳军等, 2015)。随着气候不断变暖,区域气温升高,干旱造成大幅度减产(颜亮东等, 2013)。小麦发芽期是对水分胁迫最为敏感的关键时期之一。西北地区旱地小麦生产中,萌发到保苗是重要的栽培管理环节,但这一地区春季十年九旱,时常影响小麦种子萌发与出苗,造成旱地小麦出苗得不到保障,从而减产。

种子从吸收水分膨胀到种胚伸出种皮是种子萌发的完整过程,是一系列有序的生理生化和形态发生过程。种子萌发阶段是植物在自然界建立及种群更新繁衍的关键阶段,同时也是整个生命周期中最脆弱的阶段(Yang et al., 2010; Gorai et al., 2013)。萌发期抗旱性评价,能够在生长早期鉴定出品种的抗旱性,有利于抗旱品种的选择。本研究利用不同浓度的PEG-6000模拟干旱胁迫,以西北地区旱砂田品种‘和尚头’为研究对象,‘宁春4号’和‘高原448’两个本地品种作参照,揭示‘和尚头’抗旱性与种子萌发之间的关系,为这一优良种质资源的利用提供理论依据。

1 结果与分析

1.1 胚芽鞘长度变化

对照处理条件下,3个小麦品种的胚芽鞘长度随发芽时间延长不断增长(图1)。在32 h和40 h时,3个小麦的胚芽鞘长度达到显著差异,‘和尚头’的胚芽鞘长度显著高于‘宁春4号’和‘高原448’($p < 0.05$):在胁迫处理条件下,3个小麦品种胚芽鞘长度均受到抑制,但在24 h、32 h及40 h时,‘和尚头’的胚芽鞘长度仍然显著高于其他两个品种($p < 0.05$),说明胚芽鞘长度与抗旱性有密切关系。

1.2 胚根数变化

对照处理条件下,3个小麦品种的胚根数目随着时间的延长不断增加,其中‘和尚头’增加最为明显,在8 h、16 h、24 h及32 h时胚根数要显著多于‘宁春4号’和‘高原448’($p < 0.05$)。PEG胁迫下,‘和尚头’胚根数目的增加没有对照条件下增加的显著,在整个胁迫过程中依然显著高于其他两个品种($p < 0.05$) (图2)。

1.3 最长胚根长变化

对照处理条件下,3个小麦品种的最长胚根长随

时间的延长不断增长,开始的8 h内显著升高,在随后的几小时内增长没有显著性差异($p < 0.05$),40 h时,‘和尚头’的最长胚根长显著大于其他两个品种($p < 0.05$);在胁迫处理条件下,各品种胚根长度均被抑制,但在16 h、24 h、32 h和48 h时,‘和尚头’的胚根长度仍然显著高于其他两个品种($p < 0.05$) (图3)。

1.4 抗旱萌发指数比较

对发芽相关指标的测定结果显示,在不同浓度胁迫条件下(图4),低浓度(15% PEG-6000)胁迫各品种间相对发芽率和相对发芽势变化不明显,但旱地品种‘和尚头’仍然较高;在高浓度(25% PEG-6000)胁迫下,各品种相对发芽率和相对发芽势均显著下降,尤其是‘高原448’在高浓度胁迫下几乎不发芽,‘宁春4号’的相对发芽率略高于‘和尚头’,但相对发芽势两个品种之间没有显著差异。随着胁迫浓度增大,种子抗旱萌发指数与活力指数呈下降趋势,‘高原448’下降最为显著,相对于其他两个品种,‘和尚头’却表现出较好的抗旱趋势,出苗率显著高于‘宁春4号’和‘高原448’ (图5)。

1.5 气孔密度比较

气孔是植物进行气体交换的孔道和控制蒸腾的主要构造部件,为了进一步了解品种抗旱与气孔之间的关系,我们选取正常生长条件下3~4周的3个小麦叶片来测定气孔密度。结果表明,‘和尚头’上下表皮的气孔密度分别为65个/mm²和29个/mm²,‘高原448’和‘宁春4号’分别为85个/mm²、49个/mm²、95个/mm²和81个/mm² (图6)。不论上表皮还是下表皮,旱地品种‘和尚头’的气孔密度都显著低于‘高原448’和‘宁春4号’,较低的气孔密度会使其在干旱条件下维持低的蒸腾速率和保持高的水分含量,从而抵御干旱。

2 讨论

种子萌发反映其种用价值及对环境的耐受性,萌发的过程受到多种环境信号的影响,如温度、水分、光照和其他因素等(Koger et al., 2009; 王占军等, 2016)。萌发期抗性是一个复杂的多因素性状,前人对于种子萌发期的抗旱性评价主要通过对胚芽鞘、胚根、发芽率、发芽势及活力指数等指标的测定进行比较(Nagel et al., 2014),并且通过主成分分析进一步进行判定。一般认为,根系发达而且深扎,根/冠比大,根生长相对较长较快的作物或品种比较抗旱,更有利于利用土壤水分,特别是土壤深层的水分,并能保持水

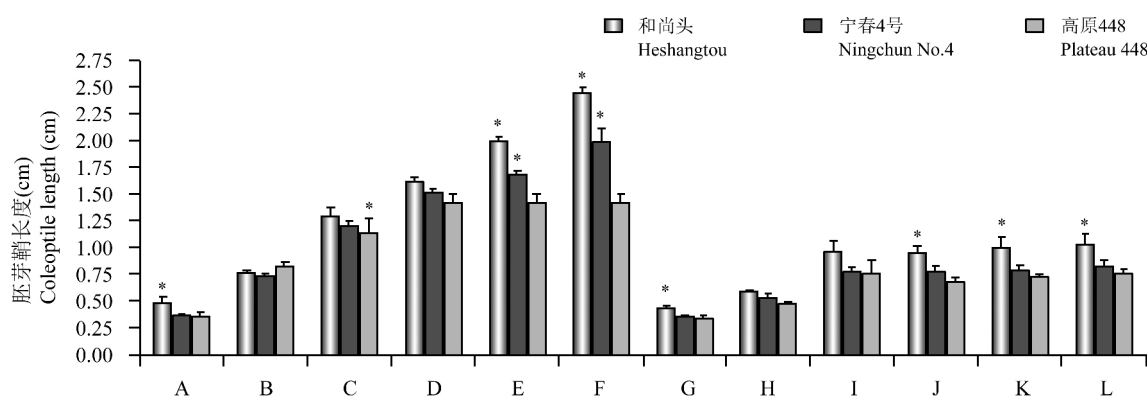


图 1 3 个春小麦品种胚芽鞘长度分析

注: 数值: 均值±标准误差(n=3); *: 在 $p < 0.05$ (Tukey's test) 水平上差异显著; A: 对照 0 h; B: 对照 8 h; C: 对照 16 h; D: 对照 24 h; E: 对照 32 h; F: 对照 40 h; G: 处理 0 h; H: 处理 8 h; I: 处理 16 h; J: 处理 24 h; K: 处理 32 h; L: 处理 48 h

Figure 1 Evaluation of the coleoptile length in three spring wheat varieties

Note: Value: Mean value±SE (n=3); *: Significant differences at level of $p < 0.05$ (Tukey's test); A: Control 0 h; B: Control 8 h; C: Control 16 h; D: Control 24 h; E: Control 32 h; F: Control 40 h; G: Drought 0 h; H: Drought 8 h; I: Drought 16 h; J: Drought 24 h; K: Drought 32 h; L: Drought 48 h

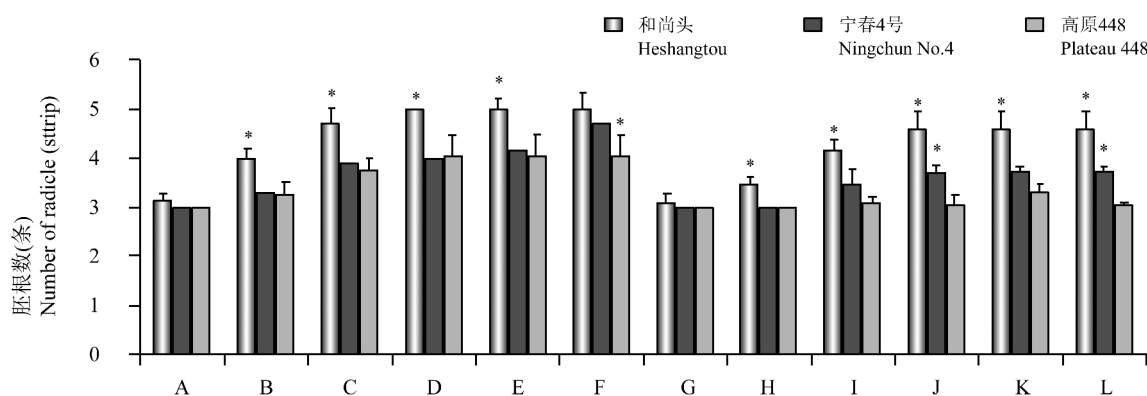


图 2 3 个春小麦品种胚根数分析

注: 数值: 均值±标准误差(n=3); *: 在 $p < 0.05$ (Tukey's test) 水平上差异显著; A: 对照 0 h; B: 对照 8 h; C: 对照 16 h; D: 对照 24 h; E: 对照 32 h; F: 对照 40 h; G: 处理 0 h; H: 处理 8 h; I: 处理 16 h; J: 处理 24 h; K: 处理 32 h; L: 处理 48 h

Figure 2 Evaluation of the number of radicle (strip) in three spring wheat varieties

Note: Value: Mean value±SE (n=3); *: Significant differences at level of $p < 0.05$ (Tukey's test); A: Control 0 h; B: Control 8 h; C: Control 16 h; D: Control 24 h; E: Control 32 h; F: Control 40 h; G: Drought 0 h; H: Drought 8 h; I: Drought 16 h; J: Drought 24 h; K: Drought 32 h; L: Drought 48 h

分平衡(李国瑞等, 2015)。

胚芽鞘是单子叶植物叶片的保护组织, 有保护胚芽中更幼小的叶和生长锥的作用, 同时胚芽鞘还有一个很重要的作用就是顶土, 种子在种植较深的情况下, 依靠胚芽鞘才能顶土出芽。大量研究表明, 干旱胁迫条件下作物胚芽鞘长度与其抗旱性呈正相关关系(Hu et al., 2007; Paynter and Clarke, 2009; 胡颂平等, 2013; Mohan et al., 2013)。关周博等(2009)研究表明, 抗旱性好的小麦品种在干旱胁迫或非胁迫情况下都具有长的胚芽鞘, 表明胚芽鞘与抗旱性高度相关。我们的研究结果也证明, 旱地品种‘和尚头’的

胚芽鞘显著高于水地品种‘宁春4号’和‘高原448’。

胚根是最早感知地下水分的器官, 一般抗旱性强的品种胚根较长、胚根数目也多(Tobe et al., 2005; 张美俊等, 2013; 李国瑞等, 2015)。本研究结果表明, 干旱条件下, ‘和尚头’的胚根数目和长度都优于‘宁春4号’和‘高原448’。同时, 在低胁迫浓度条件下, 3个小麦品种受影响不大, 高浓度胁迫条件下, 3个品种的萌发相关指数均显著降低, 对水分极敏感的品种‘高原448’在25%浓度PEG胁迫下几乎不萌发。

干旱条件下不同作物气孔密度研究表明, 苜蓿较高的气孔密度意味着能更好地适应于水分亏缺条

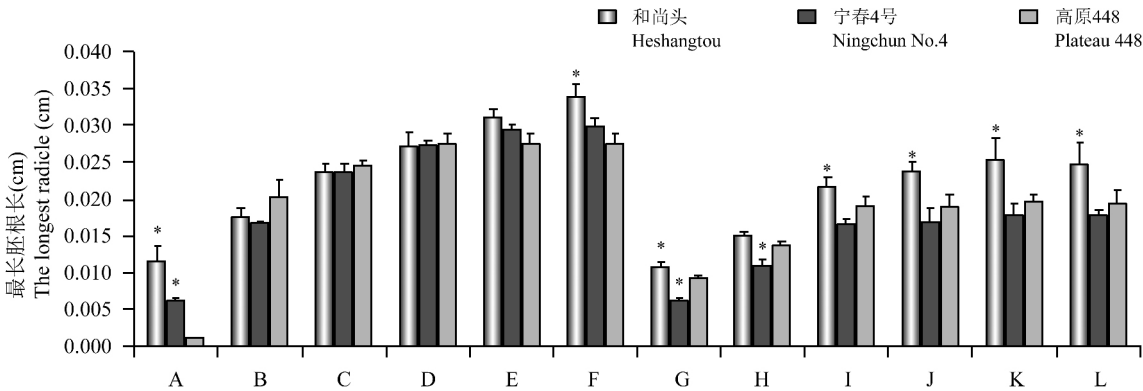


图 3 3 个春小麦品种最长胚根长分析

注: 数值: 均值±标准误差(n=3); *: 在 $p < 0.05$ (Tukey's test) 水平上差别显著; A: 对照 0 h; B: 对照 8 h; C: 对照 16 h; D: 对照 24 h; E: 对照 32 h; F: 对照 40 h; G: 处理 0 h; H: 处理 8 h; I: 处理 16 h; J: 处理 24 h; K: 处理 32 h; L: 处理 48 h

Figure 3 Evaluation of the longest radicle in three spring wheat varieties

Note: Value: Mean value±SE (n=3); *: Significant differences at level of $p < 0.05$ (Tukey's test); A: Control 0 h; B: Control 8 h; C: Control 16 h; D: Control 24 h; E: Control 32 h; F: Control 40 h; G: Drought 0 h; H: Drought 8 h; I: Drought 16 h; J: Drought 24 h; K: Drought 32 h; L: Drought 48 h

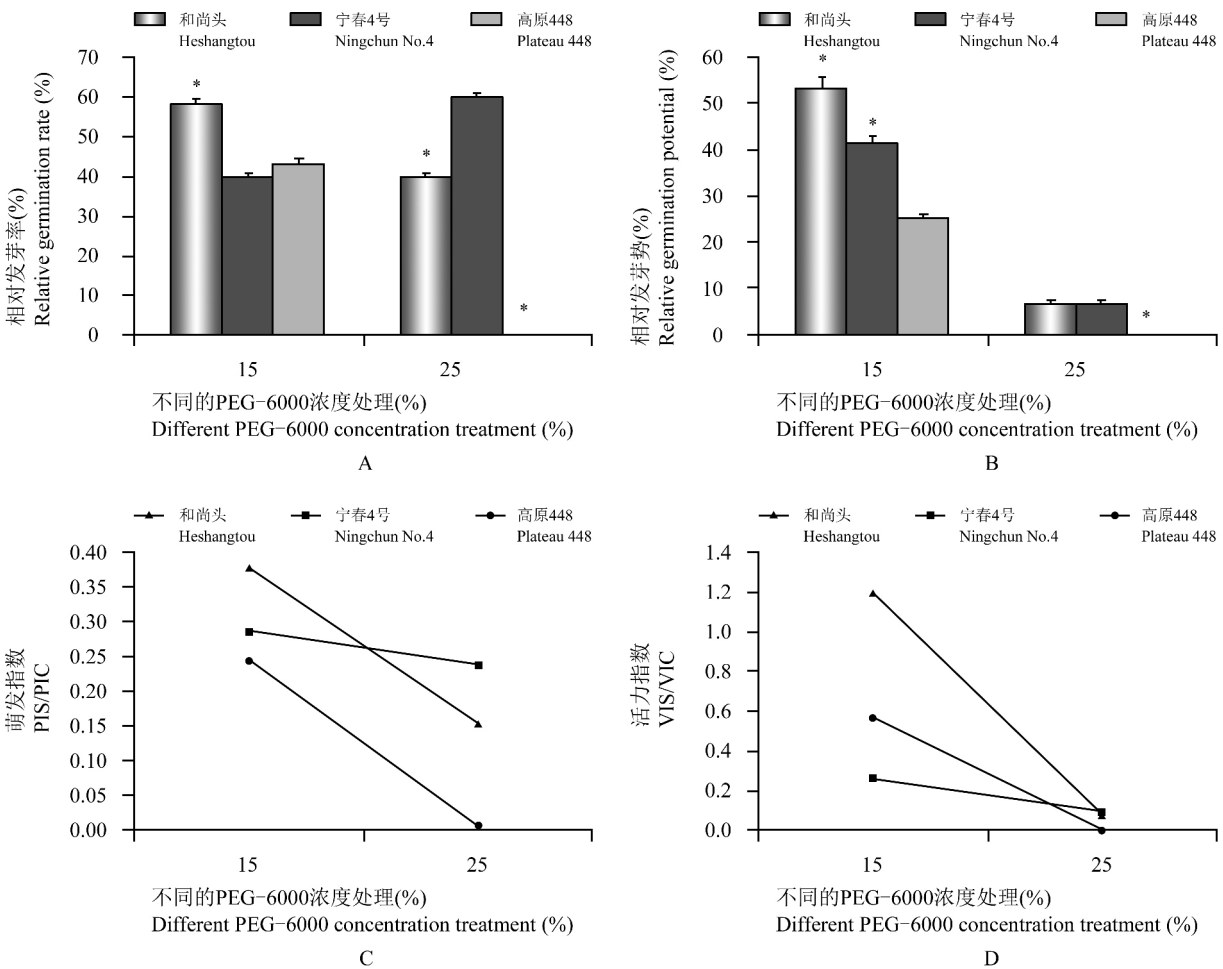


图 4 3 个品种间萌发相关指标分析

注: A: 相对发芽率; B: 相对发芽势; C: 萌发指数; D: 活力指数; 数值: 均值±标准误差(n=3); *: 在 $p < 0.05$ (Tukey's test) 水平上差别显著

Figure 4 Analysis of germination related indexes of three wheat varieties

Note: A: The relative germination rate; B: The relative germination potential; C: The germination index; D: The vigor index; Value: Mean value±SE (n=3); *: Significant differences at level of $p < 0.05$ (Tukey's test)

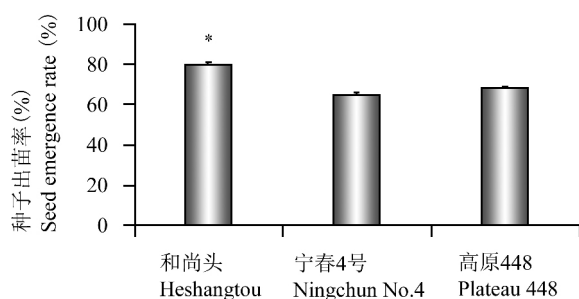


图 5 3 个春小麦品种间出苗率分析

注: 数值: 均值±标准误差(n=3); *: 在 $p < 0.05$ (Tukey's test) 水平上差别显著

Figure 5 Analysis of the emergence rate of three spring wheat varieties

Note: Value: Mean value±SE (n=3); *: Significant differences at level of $p < 0.05$ (Tukey's test)

件(李波和于海龙, 2016), 但 Quan 等(2015)研究表明, 在正常生长条件下, 耐旱苜蓿具有低的气孔密度可以表现出少量水分散失, Liao 等(2005)也提出小麦低的气孔密度在干旱条件下可提高水分利用效率。本研究团队的研究结果表明, 旱地农家品种‘和尚头’气孔密度显著低于现代水地品种‘宁春4号’和‘高原448’, 这可能是‘和尚头’抗旱性高的优势表现(同时该品种叶片表皮被有绒毛)。同时, 也说明我们在现代育种过程中为了追求高产, 有意或无意间将有些优良抗旱性状淘汰了。

通过上述分析, 本研究团队确定了西北旱地小麦长胚芽鞘、多胚根和低气孔密度等是抗旱的重要生理指标, 同时构建了干旱胁迫下的小麦品种转录组数据, 将为进一步挖掘分析‘和尚头’胚芽鞘中控制芽鞘长度的关键基因及功能, 为分子标记或分子模块育种打下基础。

3 材料与方法

3.1 试验材料

来自西北地区的 3 个不同基因型水旱地春小麦品种为材料: ‘和尚头’为甘肃干旱区旱砂田种植的农家品种, 耐瘠薄、耐深播、抗旱性强、顶砂顶土能力强; ‘宁春4号’在宁夏、甘肃、新疆和内蒙古等省(区)进行了大面积种植, 成为西北水地春麦播种面积最大的其中一个品种, 适应范围广(袁汉民等, 2009); ‘高原448’是青海高原麦区水地主栽品种之一, 具有超高产、抗倒伏等优良特性(程大志等, 2005, 麦类作物学报, 25(4): 152)。

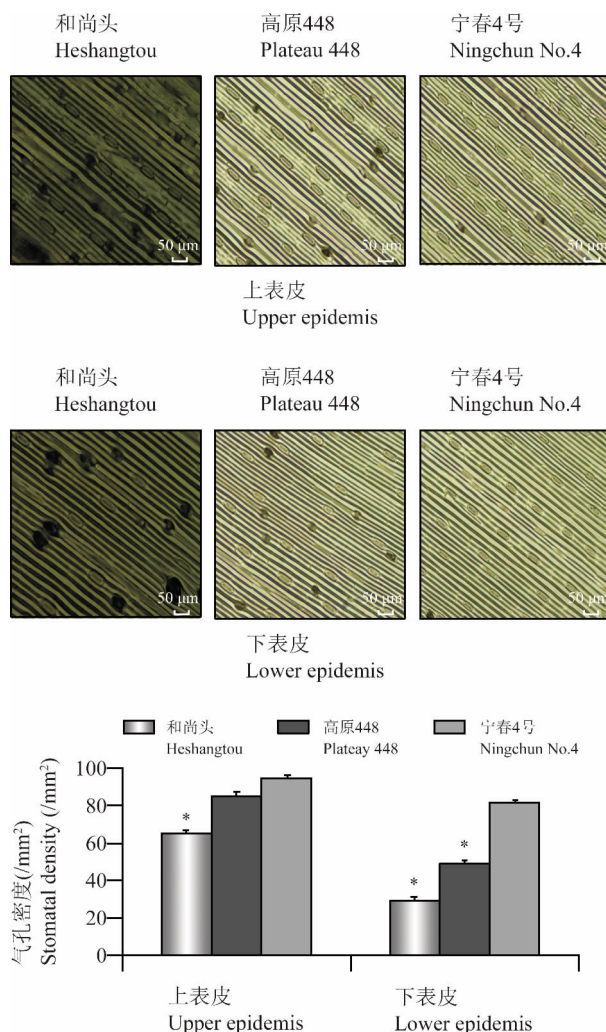


图 6 3 个春小麦品种间气孔密度分析

注: 显微镜下观察 3~4 周左右的叶片上下表皮气孔密度照片, 横线=50 μm , 正常浇水情况下 3 个小麦品种的气孔密度比较; 数值: 均值±标准误差(n=5); *: 在 $p < 0.05$ (Tukey's test) 水平上差别显著

Figure 6 Evaluation of stomatal density in three spring wheat varieties

Note: The upper and lower epidermis of 3~4 week-old leaf were photographed by microscope, line =50 μm , the comparison of stomatal density of well-watered three wheat varieties; Value: mean value±SE (n=5); *: Significant differences at level of $p < 0.05$ (Tukey's test)

3.2 试验设计

选取饱满度一致的同一年份且大小一致的种子, 先将种子在 70%浓度的乙醇浸泡 5 min 后, 然后纯水清洗 6 次, 最后放在吸足水分的滤纸上在 4℃冰箱内过夜以利于打破休眠。

用 20%的 PEG-6000 对种子进行胁迫处理, 以蒸馏水处理为对照(每个重复 60 粒种子, 设 3 次重复),

每天补充溶液时,及时变化培养皿在恒温培养箱中的位置,以利于均匀受光,温度设置为 25℃,光周期为光/暗:16/8 h,人工光照(光照强度: 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$),每隔 8 h 对其胚芽鞘、培根数及最大胚根长进行测定。

利用不同浓度的 PEG-6000 (0, 15%, 25%)对种子进行胁迫处理,研究其萌发特性,实验设计同上,每天记录发芽数并进行统计。

同时取正常生长条件下 3~4 周的 3 个小麦品种叶片测定气孔密度。

3.3 测定项目及方法

胚芽鞘长度约达到种子长度 1/3 时开始测定其长度,每隔 8 h 对其长度进行测量记录,连续测定 40 h;胚根数:种子胚根长度约达到种子长度 1/3 时,每隔 8 h 对其萌发的胚根数目进行统计记录,连续测定 40 h;最长胚根长:小麦为须根系,没有明显的主根,本研究团队在测定胚根数目时同时选取最长的根进行长度测量记录,每隔 8 h 测定,连续测定 40 h;发芽率:芽长达到种子长度一半或者根与种子等长时本研究团队记为发芽,依据《国际种子检验规程》,每隔 24 h 观察种子萌发情况,记录种子萌发数,连续测定 8 d。最后计算第 7 d 发芽率:发芽率=(7 d 内发芽的种子数/供试种子总数) \times 100%,相对发芽率(%)=处理组发芽率/对照组发芽率 \times 100。

发芽势(%)=(4 d 内的发芽种子数/供试种子总数) \times 100%、相对发芽势(%)=处理组发芽势/对照组发芽势 \times 100。

种子抗旱萌发指数(Liu et al., 2015):种子抗旱萌发指数=水分胁迫下种子迅速指数(PIS)/对照条件下种子迅速指数(PIC)、迅速指数 $PI = nd_2 (1.00) + nd_4 (0.75) + nd_6 (0.50) + nd_8 (0.25)$; $ndx = X d$ 的种子发芽数目。

种子抗旱活力指数(Liu et al., 2015):种子抗旱活力指数=水分胁迫下种子活力指数(VIS)/对照条件下种子活力指数(VIC);活力指数 $VI = PI \times S_x$; S_x 是第 7 天的平均芽长。

3.4 数据统计与分析

利用 SPASS 18.0 对采集的数据进行方差分析,并进行 Tukey 差异显著性分析。结果用“平均值 \pm 方差”表示。

作者贡献

杨倩是本研究的实验设计者和实验研究的执行

人;杨倩完成数据分析,论文初稿的写作;袁飞敏和刘德梅参与实验设计讨论和试验结果分析。陈志国和王海庆是项目的构思者及负责人,指导实验设计,数据分析,论文写作与修改。全体作者都阅读并同意最终文本。

致谢

本研究由中国科学院战略性先导科技专项(A类)子课题(XDA08030106-2)和青海省科技计划项目(2014-NS-511)共同资助。

参考文献

- Gorai M., Aloui W.E., Yang X., and Neffati M., 2013, Toward understanding the ecological role of mucilage in seed germination of a desert shrub *Henophyton deserti*: interactive effects of temperature, salinity and osmotic stress, *Plant Soil*, 374(1): 727-738
- Guan Z.B., Wang S.Q., Cheng L., Tang N., and Hu Y.G., 2009, Variation of coleoptile length in winter wheat varieties under PEG simulated drought stress and its association with their drought tolerance, *Ganhan Diqu Nongye Yanjiu (Agricultural Research in the Arid Areas)*, 27(4): 125-130 (关周博, 王士强, 陈亮, 唐娜, 胡银岗, 2009, 模拟干旱胁迫下冬小麦胚芽鞘长度变化及与抗旱性的关系研究, *干旱地区农业研究*, 27(4): 125-130)
- Hayes M.J., Wilhelmi O.V., and Knutson C.L., 2004, Reducing drought risk: bridging theory and practice, *Nat. Hazards Rev.*, 5(2): 106-113
- Hu S., Yang H., Zou G., Liu H.Y., Liu G.L., Mei H.W., and Luo L.J., 2007, Relationship between coleoptile length and drought resistance and their QTL mapping in rice, *Rice Sci.*, 14(1): 13-20
- Hu S.P., Yang H., Zou G.H., Liu H.Y., Liu G.L., Mei H.W., Cai R., Li M.S., and Luo L.J., 2013, The impact of drought on grain output in Qinghai Province and how to assess, *Bingchuan Dongtu (Journal of Glaciology and Geocryology)*, 35(3): 687-691 (胡颂平, 杨华, 邹桂花, 刘鸿艳, 刘国兰, 梅捍卫, 蔡润, 李名寿, 罗利军, 2013, 青海省气象干旱对粮食产量的影响及其评估方法研究, *冰川冻土*, 35(3): 687-691)
- Huang J.P., Ji M.X., Liu Y.Z., Zhang L., and Gong D.Y., 2013, An overview of arid and semi-arid climate change, *Qihou Bianhua Yanjiu Jinzhan (Progressus Inquisitiones De Mutatione Climatis)*, 9(1): 9-14 (黄建平, 季明霞, 刘玉芝, 张镭, 龚道溢, 2013, 干旱半干旱区气候变化研究综述, *气候变化研究进展*, 9(1): 9-14)
- Koger C.H., Reddy K.N., and Poston D.H., 2009, Factors affect-

- ing seed germination, seedling emergence, and survival of texasweed (*Capersonia palustris*), *Weed Sci.*, 52(6): 989-995
- Koleva E.M., and Alexandrov V., 2008, Drought in the Bulgarian low regions during the 20th century, *Theor. Appl. Climatol.*, 92(1): 113-120
- Leilah A.A., and Alkhateeb S.A., 2005, Statistical analysis of wheat yield under drought conditions, *J. Arid Environ.*, 61(3): 483-496
- Li B., and Yu H.L., 2016, Comparison of leaf surface micro-configuration of 12 different *Medicago sativa* varieties, *Dianzi Xianwei Xuebao (Journal of Chinese Electron Microscopy Societ)*, 35(2): 156-162 (李波, 于海龙, 2016, 12 种苜蓿叶片表面微形态结构的比较, *电子显微学报*, 35(2): 156-162)
- Li G.R., Li C.S., Wu C., Tang Y.L., and Fan G.Q., 2015, The analysis of drought resistance in different wheat varieties during germination in southwest area of China, *Ganhan Diqu Nongye Yanjiu (Agricultural Research in the Arid Areas)*, 33(4): 212-219 (李国瑞, 李朝苏, 吴春, 汤永禄, 樊高琼, 2015, 西南地区小麦品种萌发期抗旱性分析, *干旱地区农业研究*, 33(4): 212-219)
- Liao J.X., Chang J., and Wang G.X., 2005, Stomatal density and gas exchange in six wheat cultivars, *Cereal Res. Commun.*, 33(4): 719-726
- Liu F.J., Wang X.G., Gui A.S., Yang J., Bai S.S., Ma Y.L., Zhang X.K., and Chen D.S., 2015, Composition of *TaNrx-B1* and *TaFer-A1* genes and association with relative germination rate of Ningxia wheat, *Mailei Zuowu Xuebao (Journal of Triticeae Crops)*, 35(11): 1506-1511 (刘芳军, 王宪国, 桂安胜, 杨杰, 白升升, 马械灵, 张晓科, 陈东升, 2015, 宁夏小麦 *TaNrx-B1* 和 *TaFer-A1* 基因组成及其与相对发芽率的关系, *麦类作物学报*, 35(11): 1506-1511)
- Liu M., Li M., Liu K., and Sui N., 2015, Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of different maize varieties, *J. Agr. Sci.*, 7(5): 231
- Maybank J., Bonsai B., Jones K., Lawford R., O'brien E.G., Ripley E.A., and Wheaton E., 2010, Drought as a natural disaster, *Atmos. Ocean*, 33(2): 195-222
- Mishra A.K., and Singh V.P., 2010, A review on drought concepts, *J. Hydrol.*, 391(1): 202-216
- Mohan A., Schillinger W.F., and Gill K.S., 2013, Wheat seedling emergence from deep planting depths and its relationship with coleoptile length, *PLoS One*, 8(9): e73314
- Nagel M., Navakode S., Scheibal V., Baum M., Nachit M., Röder M.S., and Börner A., 2014, The genetic basis of durum wheat germination and seedling growth under osmotic stress, *Biol. Plantarum*, 58(4): 681-688
- Paynter B., and Clarke G.P., 2009, Coleoptile length of barley (*Hordeum vulgare*), *Genet. Resour. Crop Ev.*, 57(3): 395-403
- Quan W., Liu X., Wang H., and Chan Z., 2015, Comparative physiological and transcriptional analyses of two contrasting drought tolerant alfalfa varieties, *Front. Plant Sci.*, 6: 1256
- Tobe K., Zhang L., and Omasa K., 2005, Seed germination and seedling emergence of three annuals growing on desert sand dunes in China, *Ann. Bot.*, 95(4): 649-659
- Wang Z.J., Wang J., Jiao X.Y., Chen Y.S., Xu Z.D., Ou Z.L., Wu X., and He Z.A., 2016, Effects of salt stress and exogenous calcium on seed germination of *Rhus chinensis*, *Jiyinzuxue Yu Yingyong Shengwuxue (Genomics and Applied Biology)*, 36(3): 706-714 (王占军, 王静, 焦小雨, 陈延松, 徐忠东, 欧祖兰, 吴席, 何子昂, 2016, 盐胁迫及外源钙处理对盐肤木种子萌发的影响, *基因组学与应用生物学*, 36(3): 706-714)
- Yan L.D., Li L., and Li H.M., 2013, The impact of drought on grain out put in Qinghai province and how to assess, *Bingchuan Dongtu (Journal of Glaciology and Geocryology)*, 35(3): 687-691 (颜亮东, 李林, 李红梅, 2013, 青海省气象干旱对粮食产量的影响及其评估方法研究, *冰川冻土*, 35(3): 687-691)
- Yang Y., Liu Q., Wang G.X., Wang X.D., and Guo J.Y., 2010, Germination, osmotic adjustment, and antioxidant enzyme activities of gibberellin-pretreated *Picea asperata* seeds under water stress, *New Forest.*, 39(2): 231-243
- Yuan H.M., Qiu Z.X., Chen D.S., Yuan H.Y., Wang X.L., Zhang F.G., Zhao G.Z., and Tang Z., 2009, Study and utilization of wheat germplasm "Ningchun 4", *Mailei Zuowu Xuebao (Journal of Triticeae Crops)*, 29(1): 160-165 (袁汉民, 裘志新, 陈东升, 袁海燕, 王晓亮, 张富国, 赵桂珍, 汤忠, 2009, 小麦种质资源宁春 4 号的研究和利用, *麦类作物学报*, 29(1): 160-165)
- Zhang M.J., Yang W.D., Qiao Z.J., Feng M.C., Wang G., Duan Y., and Chen L., 2013, Resistance evaluation and response of 16 millet varieties at germination stage to drought stress, *Caodi Xuebao (Acta Agrestia Sinica)*, 21(2): 302-307 (张美俊, 杨武德, 乔治军, 冯美臣, 王冠, 段云, 陈凌, 2013, 不同糜子品种萌发期对干旱胁迫的响应及抗旱性评价, *草地学报*, 21(2): 302-307)