

水分胁迫对小麦芽和根中脯氨酸 含量及电导率的影响

张述义¹, 邵嘉鸣¹, 李新风², 刘玲玲³, 刘慧²

(1. 山西省农业科学院旱地农业研究中心, 山西太原 030006; 2. 山西农业大学, 山西太谷 030801;
3. 山西省农业科学院小麦研究所, 山西临汾 041000)

摘要: 采用 19.2% PEG6000 模拟水分胁迫 24 h, 比较了晋麦 47(旱地品种)和舜麦 1718(水地品种)在发芽期芽和根相对电导率、脯氨酸(Pro)含量和丙二醛(MDA)含量等生理指标。结果表明,发芽期水分胁迫 24 h 后,晋麦 47 芽和根的相对电导率比对照分别增加了 22.71%、31.04%,舜麦 1718 只分别比对照增加了 -2.29%、5.3%,晋麦 47 芽和根的细胞膜伤害率明显大于舜麦 1718;且晋麦 47 在芽和根中的丙二醛含量也分别比对照增加 23.26%、72.55%,舜麦 1718 分别比对照增加 15.9%、61.24%,芽和根中的丙二醛含量均低于晋麦 47,如相对电导率所示结果一致,说明膜组织都受到损伤,而舜麦 1718 表现的受损伤程度较轻。同时两个小麦品种的芽和根中脯氨酸含量在水分胁迫下均大幅增加,晋麦 47 分别增加 250.17%、75.31%,舜麦 1718 分别增加 744.72%、503.42%,显著高于晋麦 47,这对于舜麦 1718 在水分胁迫条件下保护细胞具有积极作用。

关键词: 水分胁迫;小麦;相对电导率;丙二醛;脯氨酸

中图分类号: S512.1;Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)03-0150-05

Effects of water stress on proline content and relative conductivity in shoots and roots of different wheat cultivars

ZHANG Shu-yi¹, SHAO Jia-ming¹, LI Xin-feng², LIU Ling-ling³, LIU Hui²

(1. Center of Dryland Agricultural Research, Shanxi Academy of Agricultural Science, Taiyuan, Shanxi 030031, China;
2. Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China;
3. Wheat Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Science, Linfen Shanxi 041000, China)

Abstract: The relative conductivity, proline and malondialdehyde(MDA) contents in shoots and roots at seeds germination period of Jinmai 47 (dryland species) and Shunmai 1718 (water species) were compared under water stress that was caused by using 19.2% PEG6000 for 24 h. The results showed that: after 24 h of water stress, in shoots and roots of wheat, the relative conductivity were increased 22.71 and 31.04 percent respectively in Jinmai 47, and were increased -2.29% and 5.3% respectively in Shunmai; The membrane injury percentage in Jinmai 47 was greater than in Shunmai1718; The same trend was observed for MDA content in shoots and roots, it was increased 23.26% and 72.55% respectively in Jinmai 47, and 15.9% and 61.24% respectively in Shunmai 1718. Although membrane organizations of two wheat cultivars had being injured, Shunmai 1718 had less injury. Proline contents in shoots and roots of two wheat varieties were significantly increased. For example, it was increased 250.17% and 75.31% respectively in Jinmai 47; 744.72% and 503.42% respectively, in Shunmai1718. Shunmai 1718 had higher percentage of proline content increase than Jinmai 47 did. As a result, Shunmai1718 would have better protection effect on cell membrane system under water stress than Jinmai 47 did.

Keywords: water stress; wheat; relative conductivity; malondialdehyde(MDA); proline

收稿日期:2013-01-15

基金项目:山西省科技攻关项目(20100311019-2)

作者简介:张述义(1954—),女,河北省秦皇岛人,副研究员,主要研究方向为植物抗逆生理。E-mail: zsy1686@hotmail.com。

在我国小麦是仅次于水稻的第二大粮食作物,旱地小麦在我国北方温带干旱、半干旱地区占有很大比重,十年九旱的气候条件,对小麦各个时期的生长发育都会产生影响,是造成小麦减产和产量不稳定的一个重要因素。因此发展抗旱节水农业,培育和选择抗旱品种是解决干旱地区水资源不足的主要途径^[1]。根据地力需求将小麦品种分为旱地品种和水地品种,20世纪80年代后,由于水地品种产量高,出现了在旱地也种植水地小麦品种的情况,由于不同年份降雨量不均,导致小麦产量不稳,有增产年份也有减产年份,能否利用小麦水地品种的高产性状,在旱地发挥增产稳产作用,需要对高产水地小麦品种抗旱节水的生理基础进行研究。

水分是种子萌发出苗的关键因素,特别是播种期间,降水贫乏对小麦种子正常出苗会造成危害。北方小麦播种期一般恰逢雨季结束,底墒处于不断蒸发状态,对小麦种子正常出苗极为不利。有研究表明:种子萌发出苗阶段,在胚芽鞘长至3~4 cm后,胚芽鞘伸长生长到第一片叶时的抗旱能力最弱^[2],在谷子、高粱等作物上证实了其幼芽伸长阶段对水分最为敏感,并且种苗组织含水率与芽的伸长皆呈紧密正相关^[3]。从种子吸水至出土过程中,随着苗龄的增加,对水分的需求增强,因此对干旱的敏感性增大^[4]。不同作物不同品种间的种子萌发成苗过程,对环境水分反应具有差异性^[5-6],水分胁迫条件下小麦生理生化特性的差异被认为是小麦抗旱性差异的内在原因^[7]。本研究以晋麦47(旱地品种)和舜麦1718(水地品种)为试材,在水分胁迫处理条件下,测定了其种子发芽期芽和根相对电导率、脯氨酸、丙二醛含量以及对水分胁迫的响应,以期为干旱、半干旱地区高产水地小麦品种的旱地栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用舜麦1718(冬性半冬性,水地品种)、晋麦47(冬性半冬性,旱地品种)不同小麦品种为材料。品种分别由山西省农业科学院棉花研究所和山西省农业科学院小麦研究所提供。

1.2 材料培养

温汤浸种小麦种子30 min,之后沥出种子,25℃±1℃清水浸泡24 h后,再将种子沥出,挑选萌动势

一致的种子50粒,摆入培养皿(Φ10 cm)中湿滤纸上,于HPS-250生化培养箱中25℃±1℃遮光继续培养5 d,期间添加溶液(0.1 mM KCl,0.1 mM CaCl₂,0.1 mM MgCl₂,0.5 mM NaCl,0.2 mM Na₂SO₄,0.3 mM MES),保持滤纸浸润,待主根长至5 cm左右,将培养皿内溶液吸净,加入聚乙二醇(PEG6000)0%(对照)、19.2%(处理)溶液进行处理,24 h后开始测试,重复3次。

1.3 试验方法

相对电导率、细胞膜伤害率均以%表示^[8]。

相对电导率 = $(L_1/L_2) \times 100\%$, L_1 为组织杀死前电导率; L_2 为组织杀死后电导率。

细胞膜伤害率 = $\{1 - [(1 - T_1/T_2)/(1 - C_1/C_2)]\}$, 其中 T_1 和 T_2 分别为水分胁迫处理小麦组织杀死前和杀死后外渗液的电导值; C_1 和 C_2 分别为对照的小麦组织杀死前和杀死后外渗液的电导值。

丙二醛含量采用硫代巴比妥酸法测定^[9];游离脯氨酸含量采用磺基水杨酸提取、酸性茚三酮染色法测定^[9]。

应用 Microsoft Excel 2003 软件进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对不同小麦品种芽和根系细胞质膜的影响

表1所示,水分胁迫处理24 h后,晋麦47和舜麦1718芽与根的相对电导率增加,细胞膜透性增大,造成细胞内物质尤其是电解质外渗增多,说明芽和根组织细胞膜结构受到伤害。经 t 测验结果显示,晋麦47处理组芽的相对电导率与对照之间差异达到 $t_{0.01}$ 极显著水准,根的达到 $t_{0.05}$ 显著差异水准;舜麦1718芽与根的电导率在水分胁迫下有所变化,经 t 检验处理和对照没有达到差异显著水准 ($t_{0.05} = 4.303$; $t_{0.01} = 9.925$,下同)。

从细胞质膜伤害率分析可知,水分胁迫后,晋麦47芽和根的膜伤害率分别达到17.55%、26.95%;舜麦1718分别为-3.04%、6.69%,两个小麦品种根系膜伤害率均高于芽,水分胁迫对根系膜损伤程度影响较大。两个小麦品种之间的细胞质膜伤害率比较, t 检验结果差异达极显著水准,舜麦1718的芽和根细胞膜伤害率明显小于晋麦47(图1)。

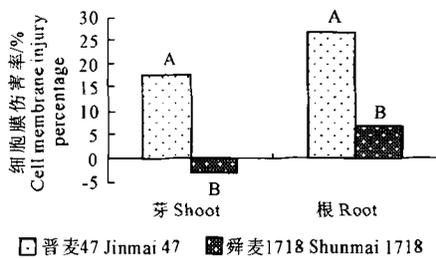
表 1 水分胁迫对不同小麦品种芽和根相对电导率的影响

Table 1 The influence of water stress on relative conductivity in shoots and roots of different wheat cultivars

项目 Item	相对电导率 Relative conductivity/%			
	芽 Shoot		根 Root	
	晋麦 47 Jinmai 47	舜麦 1718 Shunmai 1718	晋麦 47 Jinmai 47	舜麦 1718 Shunmai 1718
对照 Control(PEG 0%)	43.60	57.08	46.47	55.81
处理 Treatment (PEG 19.2%)	53.50	55.78	60.9	58.76
<i>t</i> 值 <i>t</i> value	12.189**	3.337	6.654*	1.251
标准误差 S_d	0.81	0.39	2.17	2.36

注: * 表示在 5% 水平上差异显著, ** 表示在 1% 水平上差异显著。下同。

Note: * indicates significant differences at 5% level, ** indicates significant differences at 1% level. Hereinafter the same.



注: 小写字母表示在 5% 水平上差异显著, 大写字母表示在 1% 水平上差异显著。下同。

Note: Small letters indicate significant differences at 5% level, capital letters indicate significant differences at 1% level. Hereinafter the same.

图 1 水分胁迫下不同小麦品种芽和根的细胞膜伤害率

Fig. 1 The cell membrane injury percentage in shoots and roots of different wheat cultivars under the water stress

2.2 水分胁迫对不同小麦品种芽和根中丙二醛含量的影响

植物在干旱条件下遭受伤害, 体内活性氧代谢加强, 产生过氧化物自由基引发膜脂过氧化作用, 丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的最终分解产物, MDA 产生以后, 可与蛋白质、核酸反应, 使其丧失功能, 还可使纤维素分子间的桥键松弛, 或抑制蛋白质的合成。小麦发芽期进行水分胁迫处理 24 h 后, 晋麦 47 和舜麦 1718 芽与根的丙二醛含量均有所增加, 经 *t* 检验均达到 $t_{0.05}$ 差异显著水准 ($t_{0.05} = 3.182$; $t_{0.01} = 5.841$), 见表 2。

表 2 水分胁迫对不同小麦品种芽和根内丙二醛含量的影响

Table 2 The influence of water stress on MDA content in shoots and roots of different wheat cultivars

项目 Item	丙二醛含量 MDA content/ $(\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1})$			
	芽 Shoot		根 Root	
	晋麦 47 Jinmai 47	舜麦 1718 Shunmai 1718	晋麦 47 Jinmai 47	舜麦 1718 Shunmai 1718
对照 Control(PEG 0%)	11.116	14.032	4.624	3.468
处理 Treatment(PEG 19.2%)	13.702	16.263	7.978	5.591
<i>t</i> 值 <i>t</i> value	5.306*	3.48*	3.914*	3.377*
标准误差 S_d	1.11	0.64	0.86	0.63

在水分胁迫下, 发芽期芽和根中的丙二醛含量比对照增加的百分率, 晋麦 47 分别为 23.26%、72.55%, 舜麦 1718 分别为 15.9%、61.24%。经 *t* 检验两个小麦品种之间丙二醛含量增加百分率差异不显著(图 2)。

2.3 水分胁迫对小麦品种芽和根脯氨酸含量的影响

在水分胁迫条件下, 不同品种小麦发芽期的芽和根内诱发膜脂过氧化反应, 丙二醛含量增加伤害细胞膜, 而植物体内脯氨酸具有清除活性氧的作用, 小麦发芽期芽和根中的脯氨酸含量, 在水分胁迫 24 h 后, 如表 3 所示, 舜麦 1718 芽与根和晋麦 47 的芽与对照相比大幅增加, 达到 $t_{0.01}$ 差异极显著水准;

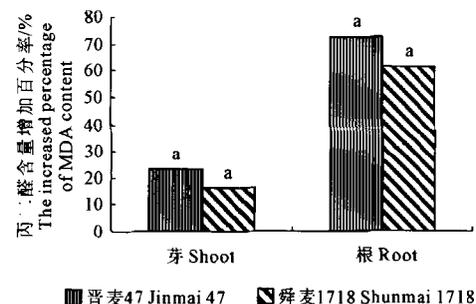


图 2 水分胁迫下不同小麦品种芽和根内丙二醛含量的增加百分率

Fig. 2 The increased percentages of MDA content in shoots and roots of different wheat cultivars under the water stress

晋麦 47 根中脯氨酸含量增加,差异不显著 ($t_{0.05} = 3.182; t_{0.01} = 5.841$)。脯氨酸含量的增加有利于提

表 3 水分胁迫对不同小麦品种芽和根内脯氨酸含量的影响

Table 3 The influence of water stress on proline content in shoots and roots of different wheat cultivars

项目 Item	脯氨酸含量 Proline content/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			
	芽 Shoot		根 Root	
	晋麦 47 Jinmai 47	舜麦 1718 Shunmai 1718	晋麦 47 Jinmai 47	舜麦 1718 Shunmai 1718
对照 Control(PEG 0%)	64.708	19.424	48.901	20.585
处理 Treatment(PEG 19.2%)	226.586	164.076	85.728	124.212
<i>t</i> 值 <i>t</i> value	11.645**	16.232**	2.426	13.131**
标准误差 S_d	13.90	8.91	15.18	7.89

水分胁迫下舜麦 1718 发芽期芽和根中的脯氨酸含量比对照增加的百分率分别达到 744.72%、503.42%,晋麦 47 分别为 250.17%、75.31%,*t* 检验达到差异极显著水准。舜麦 1718 芽和根中的脯氨酸含量增加百分率显著高于晋麦 47,见图 3。

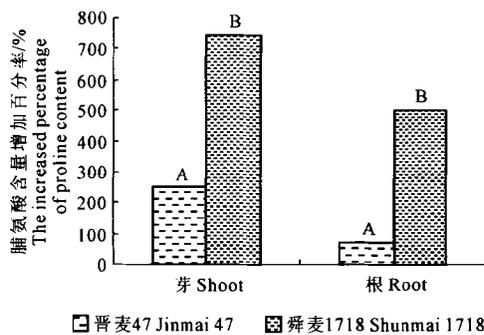


图 3 水分胁迫下不同小麦品种芽和根内脯氨酸含量增加百分率

Fig.3 The increased percentages of proline content in shoots and roots of different wheat cultivars under the water stress

2.4 水分胁迫对不同小麦品种发芽期芽和根中电导率与脯氨酸含量变化的相关性

小麦发芽期水分胁迫处理 24 h 后,晋麦 47 和舜麦 1718 芽和根电导率增加,细胞膜伤害率结果表明,质膜受到损伤,受损程度与丙二醛含量增加有正相关性 ($R^2 = 0.5222$),与脯氨酸积累呈负相关 ($R^2 = -0.9971$)。

3 讨论

1) 植物在水分胁迫下细胞质膜会受到损伤,表现为质膜透性增大,细胞内部分电解质外渗。所以植物组织外渗液电导率的变化可以反映胁迫条件下植物质膜受损伤的程度^[10-11]。种子发芽生长是对水分要求最敏感的时期,不同品种的种子在发芽期对水分胁迫的忍耐性也不一样^[3]。晋麦 47 号是一个抗旱节水、高产稳产、适应性广泛、品质优良的旱地小麦品种,舜麦 1718 是高产优良水地小麦品

种^[12-15]。在水分胁迫 24 h 后,舜麦 1718 芽和根相对电导率和对照相比变化差异不显著,晋麦 47 芽和根的相对电导率显著增加。通过两个品种细胞膜伤害率比较,在水分胁迫 24 h 后,晋麦芽和根部的伤害率均高于舜麦 1718。说明舜麦 1718 的芽和根部膜受损伤程度小于晋麦 47。

2) 由于水分胁迫处理破坏了植物细胞内自由基产生和清除的平衡,自由基的增多会引发膜中不饱和脂肪酸过氧化作用,膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)增加,MDA 能与酶蛋白发生链式反应聚合,使膜系统变性,造成膜脂流动性降低,影响膜结合酶的功能,引起膜伤害^[16-17],MDA 含量的增加显示了膜脂质过氧化程度。试验结果中,舜麦 1718 芽和根在水分胁迫 24 h 后,与对照比较,丙二醛含量增加百分率低于晋麦 47,丙二醛累积速率低,说明舜麦 1718 膜的过氧化代谢产物积累相对少,膜脂过氧化程度低,对膜损伤程度较小。两个小麦品种芽与根中丙二醛含量的变化趋势与相对电导率变化及细胞膜伤害率程度有一定相关性。

3) 脯氨酸作为渗透调节物质,在水分胁迫条件下的积累是植物体内一种抗逆调节适应反应。蒋花等研究,抗旱性弱的大麦幼苗叶片中脯氨酸含量急剧增加^[18]。万里强等研究,抗旱性强的黑麦品种叶片脯氨酸含量显著增加^[19]。彭云玲在玉米耐旱自交系与早敏感自交系苗期干旱胁迫试验中,得到耐旱自交系中的脯氨酸含量高于早敏感自交系^[20]。本试验中,舜麦 1718 和晋麦 47 在同样水分胁迫条件下,芽和根中的脯氨酸含量都在增加,舜麦 1718 对水分胁迫反应敏感地表现在芽和根内脯氨酸大量迅速累积,显著高于晋麦 47,膜损伤程度较晋麦 47 轻,说明舜麦 1718 具有较强的自身渗透调节能力,脯氨酸的积累有利于保护膜组织。水分胁迫下,不同小麦品种间脯氨酸的含量的变化和品种本身的遗传有关,这种差别可能是不同小麦品种在蛋白质或

氨基酸的构成之间存在差异,或由于蛋白质水解或合成受促进、抑制的程度不同,表现出合成脯氨酸的潜力有所不同^[21]。

植物对逆境的适应和抵御属数量性状,水分胁迫诱导植物多种抗逆基因表达,继而产生多种抗逆相关代谢途径和产物,在本试验中,脯氨酸的大量积累和细胞膜伤害率之间呈负相关,说明脯氨酸是植物适应水分胁迫的一个最重要的渗透调节物质。脯氨酸是植物蛋白质的组分之一,其水溶性可达 $162.3 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (25℃),除了起到调节细胞质的渗透势之外,还在稳定生物大分子结构、清除活性氧,降低细胞酸性、解除氨毒、保护膜组织等方面起重要作用^[21-22]。舜麦 1718 芽和根中脯氨酸迅速累积,并对膜质起到保护作用,由此可知水地小麦品种舜麦 1718 应对水分胁迫,在迅速大量积累脯氨酸的潜力以及在脯氨酸的功能发挥方面和晋麦 47 相比具有明显优势。

参 考 文 献:

- [1] 张正斌,崔玉亭,陈兆波,等.旱地农业研究中“三大观念”的转变[J].中国农业科技导报,2003,6(4):42-47.
- [2] Mckersie B D, Stinson R H. Effect of dehydration on leakage and membrane structure in *Lotus corniculatus* L. seeds[J]. Plant Physiology, 1980, 66: 316-320.
- [3] 山 仑,郭礼坤.逆境成苗生态生理研究 I.春播谷类作物成苗期间的抗旱性及其需水条件[J].作物学报,1984,(4):257-262.
- [4] 徐 萌,山 仑.春小麦种子萌发和成苗过程中水分需求的量化研究[J].植物生理学通讯,1991,27(4):275-277.
- [5] 苏 佩,山 仑.高粱种子萌发成苗过程中水分需求的量化研究[J].应用与环境生物学报,1996,2(2):119-122.
- [6] 苏 佩,山 仑.玉米种子萌发成苗不同阶段需水阈值的研究[J].西北植物学报,1996,26(1):34-37.
- [7] 金善宝.中国小麦学[M].北京:中国农业出版社,1996:754-758.
- [8] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2008:208-209.
- [9] 中国科学院上海植物生理研究所.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999:303-306.
- [10] 邱全胜,李 林,梁厚果.水分胁迫对小麦根细胞质膜氧化还原系统的影响[J].植物生理学报,1994,20:145-151.
- [11] 张林刚,邓西平.小麦抗旱性生理生化研究进展[J].干旱地区农业研究,2000,18(3):87-92.
- [12] 孙来虎,李秀绒,柴永峰,等.晋麦 47 号产量结构特点与高产栽培技术[J].耕作与栽培,2003,(5):48-49.
- [13] 董孟雄,李秀绒,柴永峰,等.旱地小麦新品种—晋麦 47 号[J].麦类作物学报,2001,21(1):98.
- [14] 张运校,樊立强,刘彦军,等.国审优质小麦新品种舜麦 1718 高产栽培技术[J].种子科技,2012,(3):28-29.
- [15] 潘幸来,史引红,王永杰,等.舜麦 1718 小麦新品种选育报告[J].小麦研究,2007,28(4):26-36.
- [16] 陈少裕.膜脂过氧化与植物逆境胁迫[J].植物通报,1989,6(4):211-217.
- [17] 王宝山.生物自由基与植物膜伤害[J].植物生理学通讯,1988,(2):12-16.
- [18] 蒋 花,王占红,张小燕.PEG 渗透胁迫下 3 份大麦材料幼苗叶片抗旱生理特性分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):100-105.
- [19] 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.
- [20] 彭云玲,王 涛,李 燕,等.干旱胁迫对玉米耐旱自交系与早敏感自交系苗期生理特性的影响[J].草业科学,2012,29(9):1401-1406.
- [21] 汤章城.逆境条件下植物脯氨酸的累积及其可能的意义[J].植物生理学通讯,1984,(1):15-21.
- [22] 汤章城,王育启,吴亚华,等.不同抗旱品种高粱苗中脯氨酸累积的差异[J].植物生理学报,1986,12(2):154-162.
- [17] 张玉屏,朱德峰,林贤青,等.不同灌溉方式对水稻需水量和生长的影响[J].灌溉排水学报,2007,26(2):83-85.
- [18] 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,2006,31(11):1485-1489.
- [19] 严明建,黄文章,胡景涛,等.应用隶属函数法鉴定水稻的抗旱性[J].杂交水稻,2009,(5):76-79.
- [20] 符冠富,陶龙兴,宋 建,等.花期干旱胁迫对籼稻近等基因系育性的影响[J].中国水稻科学,2011,25(6):611-618.
- [21] 赵丽英,邓西平,山 仑.水分亏缺下作物补偿效应类型及机制研究概述[J].应用生态学报,2004,15(3):523-526.
- [22] 马 均,马文波,田彦华,等.重穗型水稻植株抗倒伏能力的研究[J].作物学报,2004,30(2):143-148.
- [23] 蒋开锋,郑家奎,赵甘霖.杂交水稻产量性状稳定性及其相关性研究[J].中国水稻科学,2001,15(1):67-69.
- [24] 邵艳军,山 仑.植物耐旱机制研究进展[J].中国生态农业学报,2006,14(4):16-20.
- [25] 滕 胜,钱 前.水稻苗期耐旱性基因位点及其互作的分析[J].遗传学报,2002,29(3):235-240.

(上接第 47 页)