

水分胁迫对不同小麦品种叶片电阻抗参数的影响

刘晓红^{1,2}, 王国栋¹, 张 钢³

(1 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨凌 712100; 2 延安大学 化学与化工学院, 陕西 延安 716000;

3 河北农业大学 园艺学院, 河北 保定 071001)

[摘 要] 采用盆栽试验,研究了适宜水分(对照)、中度干旱和严重干旱3个水分胁迫下,分属于旱地、灌区和旱肥3种不同抗旱类型的7个小麦品种电阻抗参数(胞内电阻、胞外电阻、弛豫时间和弛豫时间分布系数)的变化规律。结果表明,在中度干旱条件下,除品种河东TX-006、小偃22叶片的胞外电阻略低于对照外,其他品种叶片的胞外电阻均较对照增加;严重干旱条件下,旱地品种的胞外电阻进一步增大,而灌区品种的胞外电阻却低于对照。严重干旱条件下各品种小麦叶片的胞内电阻均高于对照。旱地品种的弛豫时间均高于对照,灌区品种的弛豫时间均低于对照。不同水分胁迫条件下,不同小麦品种叶片弛豫时间分布系数差异较小。4个电阻抗参数在不同品种间均有极显著差异;除胞内电阻外,其他电阻抗参数在不同水分胁迫处理间差异不显著,而在品种和水分胁迫处理的交互效应中差异达显著或极显著水平。

[关键词] 水分胁迫; 小麦叶片; 电阻抗参数

[中图分类号] S512.1+10.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)02-0210-05

The effect of impedance parameters of wheat leaves of different varieties in water stress

LIU Xiao-hong^{1,2}, WANG Guo-dong¹, ZHANG Gang³

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

2 College of Chemistry & Chemical Eng., Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000, China;

3 College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China)

Abstract Electrical impedance parameter rules of wheat leaves were researched, which are attributed to seven varieties from dryland, irrigated area and dry-fertilizer. The wheats planted in pots experienced three water stress conditions: optimal moisture (CK), moderate drought and severe drought. The results showed that extracellular resistance of wheat leaves was higher than CK except for variety Hedong TX-006 and Xiaoyan 22 in moderate drought. In severe drought, extracellular resistance of dryland variety increased farther and that of irrigated area was lower than CK. Intracellular resistance is higher than CK and the rules of relaxation time was the same as extracellular resistance in severe drought. Relaxation time of wheat leaves' behavior showed little difference in water stress. 4 Electrical impedance parameters were provided with best significant difference on variety and cross correlation between variety and treatment. The rest parameters showed no significant differences with different water stress treatments, but significant differences on cross effect existed between variety and water stress treatment except intracellular resistance.

Key words: water stress; wheat leaf; electrical impedance parameter

[收稿日期] 2006-08-04

[基金项目] 国家自然科学基金项目(50579066)

[作者简介] 刘晓红(1972-),女,陕西延安人,副教授,在读博士,主要从事环境生物物理学研究。

[通讯作者] 王国栋(1957-),男,陕西礼泉人,教授,博士生导师,主要从事生物物理学研究。

电阻抗图谱法能反映植物有关膜变化的基本生理信息,在估测植物活力、养分状况和抗寒性等生理研究中得到了应用,尤其在抗寒性的研究中应用最为广泛^[1-3]。

干旱作为一种重要的逆境因子,对植物的生长会产生广泛的影响。由于世界上70%的小麦播种面积分布在干旱和半干旱地区,因此小麦在不同生育阶段经常会遭受到不同程度的水分胁迫,这种胁迫程度通过小麦的各种形态特征、生理参数的变化及产量水平等得到反映。有关水分胁迫下,不同抗旱性小麦品种的形态反应、酶活性和渗透调节等生理生化指标的变化,前人^[4-9]已进行了大量的研究,但尚未见采用电阻抗图谱的方法研究水分胁迫对小麦组织和器官影响的文献报道。本试验对不同水胁迫条件下,不同抗旱类型小麦叶片电阻抗参数的变化进行了研究,旨在为不同小麦品种抗旱程度表征的研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试品种 选用7个小麦品种,其中包括3个旱地品种:西农928、晋麦47和长武134;2个灌区品种:西农889和小偃22;2个旱肥型品种:河东TX-006和邯鄹-6050,试验中分别以A、C、D、B、G、E和F代表上述各品种。

1.1.2 仪器 阻抗分析仪(HP4284A),由Agilent公司生产。

1.2 方法

试验在西北农林科技大学农业水土工程实验室的玻璃棚下进行,采用盆栽试验,土壤采自该实验地0~20 cm的表层土,质地为黑垆土,pH值为8.06,有机质含量为11.8 g/kg,全氮和全磷含量分别为0.98和1.34 g/kg,速效磷为17.8 g/kg。将土壤粉碎、风干、过筛,装入生长钵内(桶高26.7 cm,上口口径28.4 cm,下口径22.2 cm)。试验采用完全随机设计,以土壤含水量占最大毛管持水量的70%~75%,50%~55%,40%~45%分别作为适宜水分(对照),中度干旱和严重干旱3个水分胁迫处理,每处理3个重复。每桶装土8 kg,一次性将磷酸氢二氮和尿素拌入(每千克干土分别施入0.2 g P₂O₅和0.2 g纯N),每盆播种20粒小麦,待小麦生长到三叶期定苗6株。至拔节后期采用称重法进行水分控制,控水过程中用量杯补水,记录加水量,使各处理稳定在设计的土壤

含水量范围。在小麦孕穗期选择旗叶测定阻抗参数。

1.3 测定项目

首先将Ag/AgCl电极与阻抗分析仪相连,把凝胶分别挤进支撑样品的两个水平玻璃管中,将电极插入玻璃管。把不同处理的小麦叶片避开叶脉,从中部剪成矩形片段(5 mm × 10 mm)作为样品,测定叶片的厚度。将样品放置在2个玻璃管之间,通过电极接触凝胶,再通过凝胶轻轻接触待测样品,在测定过程中保持样品的原初状态不动,以保证测定结果的稳定性。对阻抗分析仪进行开路 and 短路校正。校正后分别测定样品在42个频率下的电阻值和电抗值,测定频率为80 Hz~1 MHz,每处理测定3个叶片。

1.4 数据处理

将上述频率下测定的样品电阻和电抗值分别作为实部和虚部,作出电阻和电抗随频率的变化曲线,即电阻抗图谱。根据样品的电阻抗图谱确定适用的等效电路。植物等效电路的确定一般分为两种类型:集总模型和分布模型,究竟应用哪种模型,取决于电阻抗图谱弧的数量和图谱的偏度^[10]。根据1.2中42个频率下叶片的电阻值和电抗值得到的图谱曲线可以发现,电阻抗图谱是一个单一的弧,并且有1个凹陷中心,因此选择单-DCE模型(属于分布模型)。等效电路参数用T. Repo发展的L EVM v. 6 (Macdonald J R)软件进行拟合,在该模型中阻抗的计算公式为:

$$Z = R + \frac{R_1}{1 + (i\omega\tau)^\psi} \quad (1)$$

式中:Z为阻抗;R, R₁均为电阻; $i = \sqrt{-1}$, 为复数算符; ω 为角速度, $\omega = 2\pi f$, 其中f为频率; τ 为弛豫时间; ψ 为弛豫时间分布系数。

计算不同水分胁迫条件下样品的胞内电阻、胞外电阻。其计算公式如下:

$$R_i = R [1 + (R/R_1)], \quad (2)$$

$$R_e = R + R_1. \quad (3)$$

式中:R_i为胞内电阻, R_e为胞外电阻。根据每一个样品的截面积和长度,将得到的胞外电阻和胞内电阻归一化,得到样品的电阻率。弛豫时间和弛豫时间分布系数不作归一化处理。采用SPSS软件对试验数据进行处理和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同小麦品种和水分胁迫下电阻抗参数的方差分析

由表1可见,4个电阻抗参数在各个品种之间的差异均达极显著水平;不同水分胁迫处理之间,只有

胞内电阻差异达显著水平,说明胞内电阻 R_i 的大小可以反映不同品种和水分胁迫处理的变化。在品种和水分胁迫处理的交互效应中,只有 R_i 差异不显著,其他参数差异均达显著或极显著水平。

表1 不同小麦品种和水分胁迫下电阻抗参数的方差分析结果

Table 1 Variance analysis results of electrical impedance parameters for variety and water stress treatment

处理 Treatment	胞外电阻 Extracellular resistance R_e	胞内电阻 Intracellular resistance R_i	弛豫时间 Relaxation time τ	弛豫时间分布系数 Distribution coefficient of the relaxation time ψ
品种 Variety	***	**	***	***
水分胁迫处理 Water stress treatment	ns	*	ns	ns
品种 × 水分胁迫处理 Variety × water stress treatment	**	ns	**	*

注: ns 表示差异不显著, * 表示差异显著 ($P < 0.05$), ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$), *** 表示差异极显著 ($P < 0.001$), 下表同。

Note: "ns" indicated that the difference is not significant, "*", "**" and "***" indicated respectively that the difference is significant ($P < 0.05$), best significant ($P < 0.01$) and best significant ($P < 0.001$).

2.2 水分胁迫对不同小麦品种叶片胞外电阻的影响

由图1可见,适宜水分条件下,各品种胞外电阻差异较小,其中品种A和E的胞外电阻略高于其他品种,品种D和F的胞外电阻则略低于其他品种。中度干旱条件下,除品种E和G外,其他品种的胞外电阻均高于对照,其中旱地品种A、C、D的胞外电阻分别比对照高2.47%, 11.31%和19.32%;灌区品种B的胞外电阻比对照高20.34%,品种G的胞外电阻较对照低2.35%;旱肥型品种F的胞外电阻比对照高8.85%,品种E的胞外电阻比对照低10.02%。严重干旱条件下,各品种胞外电阻的差异较大,其中旱地品种A和灌区品种G的胞外电阻均与对照接近,品

种B的胞外电阻比对照低18.72%,旱肥型品种E和F的胞外电阻分别比对照低10.18%和19.52%。严重干旱条件下旱地品种C和D的胞外电阻均高于适宜水分条件下和中等干旱条件。以上结果说明,在中度干旱条件下,除了品种E、G的胞外电阻均略低于对照外,其他品种的胞外电阻均较对照增加;严重干旱条件下,旱地品种的胞外电阻进一步增大,而灌区品种的胞外电阻却低于对照。方差分析结果表明,旱地品种A与灌区品种G和旱肥型F的胞外电阻差异极显著,旱地品种A与灌区品种B之间差异显著。旱地品种A、D之间差异不显著。严重干旱条件下,旱地品种胞外电阻均显著高于灌区品种和旱肥型品种。

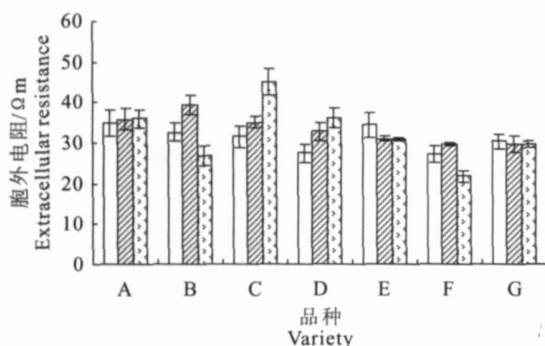


图1 水分胁迫对不同小麦品种叶片胞外电阻的影响
□.适宜水分; ▨.中度干旱; ▤.严重干旱
Fig.1 Effect of extracellular resistance of wheat leaves of different varieties in water stress
□.Optimization moisture; ▨.Moderate drought; ▤.Severe drought

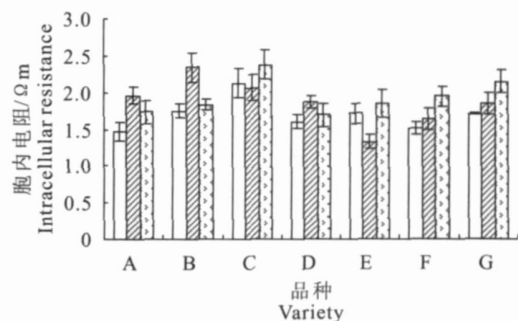


图2 水分胁迫对不同小麦品种叶片胞内电阻的影响
□.适宜水分; ▨.中度干旱; ▤.严重干旱
Fig.2 Effect of intracellular resistance of wheat leaves of different varieties in water stress
□.Optimization moisture; ▨.Moderate drought; ▤.Severe drought

2.3 水分胁迫对不同小麦品种叶片胞内电阻的影响

由图2可见,适宜水分条件下,各品种的胞内电

阻差异较大,其中品种C的胞内电阻最大,达2.13 Ωm ,灌区品种B、G的胞内电阻略低于品种C,分别为1.75和1.70 Ωm ,其他品种的胞内电阻比较接近。

中度干旱条件下, 旱地品种C 和旱肥型品种E 的胞内电阻分别比对照减小2.91%和22.28%; 其他品种的胞内电阻均有不同程度的增加, 其中灌区品种G 和旱肥型品种F, 分别比对照高8.42%和8.40%, 旱地品种A 和D 分别比对照高33.01%和17.02%, 灌区品种B 比对照高33.83%。严重干旱条件下, 各品种的胞内电阻与对照相比均有不同程度的增加, 但品种之间差异较大, 其中灌区品种G 的胞内电阻增长幅度较大, 比对照高26.35%; 而品种B 的胞内电阻比对照高4.68%; 旱肥型品种F 增长幅度最大, 比对照高28.82%, 品种E 比对照高7.77%; 3个旱地品种A、C 和D 分别比对照高17.86%, 11.57%和5.75%。方差分析结果表明, 胞内电阻在旱地品种C 与灌区品种G 之间有显著性差异, 灌区品种B 与其他品种之间差异不显著。中度干旱处理与严重干旱处理间胞内电阻差异不显著, 但二者与对照之间有显著性差异。

2.4 水分胁迫对不同小麦品种叶片弛豫时间的影响

由图3可见, 适宜水分条件下, 除灌区品种G 和旱地品种D 的弛豫时间(分别为247.98和148.22 μ s)较高外, 其他品种的弛豫时间均比较接近。中度干旱条件下, 旱地品种A 和灌区品种G 的弛豫时间与对照相比变化较大, 其中品种A 的弛豫时间高于对照59.59%, 品种G 低于对照40.41%, 其他品种的弛豫时间与对照差异较小。严重干旱条件下, 灌区品种B 和G 的弛豫时间较对照减小; 旱地品种C 和D

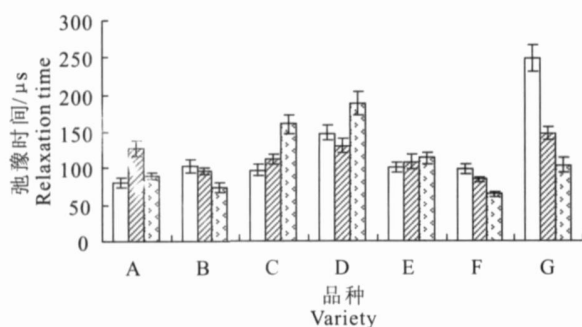


图3 水分胁迫对不同小麦品种叶片弛豫时间的影响

□.适宜水分; ▨.中度干旱; ▩.严重干旱

Fig.3 Effect of relaxation time of wheat leaves of different varieties in water stress

□.Optimization moisture; ▨.Moderate drought; ▩.Severe drought

分析各电阻抗参数的相关性(表2)可知, 在对照和严重干旱条件下, 各个参数间无显著的相关性。中

度干旱条件下, 旱地品种C 和旱肥型品种E 的胞内电阻分别比对照减小2.91%和22.28%, 而旱地品种A 的弛豫时间较对照仅增加12.25%, 低于中度干旱条件下品种A 的弛豫时间; 两个旱肥型品种E 和F 的弛豫时间变化不一致, 其中E 比对照增加了12.36%, F 比对照减小了34.01%。方差分析结果表明, 灌区品种G 弛豫时间与旱地品种A、C 有极显著性差异。以上结果表明, 在严重干旱条件下, 不同抗旱类型小麦品种弛豫时间的变化规律基本一致, 即旱地小麦品种的弛豫时间均高于对照, 灌区小麦品种均低于对照。

2.5 水分胁迫对不同小麦品种叶片弛豫时间分布系数的影响

由图4可见, 不同水分胁迫对不同小麦品种叶片弛豫时间分布系数影响较小。在适宜水分条件下, 各品种的弛豫时间分布系数差异较小, 其中旱地品种D、旱肥型品种E 和F 及灌区品种B 的弛豫时间分布系数均略大于其他品种。中度干旱条件下, 灌区品种B 和G 的弛豫时间分布系数分别低于对照0.17%和1.4%; 旱地品种A 和D 的变化程度较为一致, 分别高于对照0.78%和0.77%; 旱地品种C 比对照低4.2%; 旱肥型品种E 和F 的弛豫时间分布系数变化趋势不同, 前者低于对照7.26%, 后者高于对照3.67%。严重干旱条件下, 除了品种A 和G 外, 其他品种的弛豫时间分布系数均略低于对照。方差分析结果表明, 弛豫时间分布系数在品种B、C 间有极显著性差异。

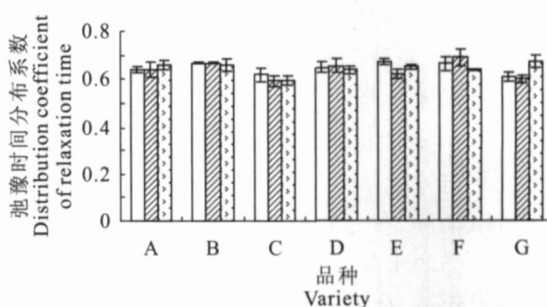


图4 水分胁迫对不同小麦品种叶片弛豫时间分布系数的影响

□.适宜水分; ▨.中度干旱; ▩.严重干旱

Fig.4 Effect of distribution coefficient of relaxation time of wheat leaves of different varieties in water stress

□.Optimization moisture; ▨.Moderate drought; ▩.Severe drought

度干旱条件下, 胞外电阻与胞内电阻间有显著的相关性。

表2 不同水分胁迫下各电阻抗参数间的相关性

Table 2 Correlation between four impedance parameters in different water stresses

水分处理 Water stress	参数 Parameters	R_e	R_i	τ	ψ
适宜水分 Optimization moisture	R_e	1			
	R_i	0.127	1		
	τ	-0.333	-0.001	1	
	ψ	0.38	-0.377	-0.581	1
中度干旱 Moderate drought	R_e	1			
	R_i	0.811*	1		
	τ	-0.166	0.044	1	
	ψ	0.107	0.041	-0.619	1
严重干旱 Severe drought	R_e	1			
	R_i	0.367	1		
	τ	0.751	0.132	1	
	ψ	-0.619	-0.543	-0.539	1

注: * 表示相关性达显著水平。
Note: * stand for the correlation is significant

3 结 论

本试验结果表明,在严重干旱条件下,旱地品种的胞外电阻均高于对照,而灌区品种均低于对照;各品种小麦叶片的胞内电阻均高于对照,弛豫时间的变化与胞外电阻相似,即旱地品种均高于对照,灌区品种均低于对照。不同水分胁迫条件下,各品种叶片弛豫时间分布系数差异较少,无明显的规律性。胞外电阻、胞内电阻、弛豫时间和弛豫时间分布系数4个电阻抗参数,在不同品种间均具有极显著差异;除胞内电阻外,其他电阻抗参数在不同水分胁迫处理间均无显著差异,而在品种和水分胁迫处理的交互效应中有显著或极显著差异。本研究中,严重干旱条件下不同品种小麦叶片的胞内电阻均增加,这可能是由于水分胁迫导致原生质脱水,膜透性增加,内容物外渗。可以推测,在受到水分胁迫时,首先是胞外失去部分或全部的水分,当胁迫程度增大时,胞外开始向胞内夺取水分,使不同品种小麦的胞外电阻下降,但在受到严重水分胁迫时,胞内水分会大量丢失。因此,胞内电阻相应增大。以上推论是否合理,还需要进一步的试验验证。

致谢: 谢惠民和王明歧两位教授提供了小麦品种,张富仓教授提供了试验场地,在此一并致谢。

[参考文献]

[1] Macdonald J R. Impedance Spectroscopy[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1987: 346

[2] Glerum C, Krenciglowa E M. The dependency of electrical impedance of woody stems on various frequencies and tissues [J]. Can J Bot, 1979, 48: 2187-2192

[3] Coleman W K. Electrical impedance and freezing injury in apple shoots[J]. J Horti Sci, 1989, 64: 249-257

[4] 王俊儒, 龚月桦, 翟丙年, 等. 生育后期干旱对冬小麦产量和生理特性的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36(6): 908-911

[5] 武玉叶, 李德全, 赵世杰, 等. 土壤水分胁迫下小麦叶片渗透调节与光合作用[J]. 作物学报, 1999, 25(6): 752-758

[6] Zhang M, Willison J H M. Electrical impedance analysis in plant tissues: impedance measurement in leaves[J]. J Exp Bot, 1993, 44: 1369-1375

[7] Glerum C. Electrical impedance techniques in physiological studies[J]. N Z J For Sci, 1980, 10: 196-207

[8] Pukacki P. Influence of freezing damage on impedance parameters in Magnolia shoots [J]. Arboretum Kornickie Rocznik, 1982, 27: 219-233

[9] Zhang G, Rypp A, Repo T. The electrical impedance spectroscopy of Scots pine needles during cold acclimation[J]. Physiol Plant, 2002, 115: 385-392

[10] Repo T, Zhang G, Rypp A, et al. The relation between growth cessation and frost hardening in Scots pines of different origins[J]. Trees, 2000, 14: 456-464