植物学通报 2001，18（2）：221～225
*Chinese Bulletin of Botany*

# 土壤缓慢脱水对开花期小麦根系及叶片渗透调节及渗透调节物质的影响①

[1]王 玮 [1]李春香 [1]李德全② [2]张中兰

[1]（山东农业大学植物科学系 山东泰安 271018）

[2]（烟台农业学校 山东烟台 264000）

**摘要** 以抗旱性不同的小麦品种为材料，在小麦的水分临界期开花期进行缓慢脱水处理，分别在脱水的不同阶段取样测定叶片及根系的渗透调节能力及渗透调节物质。结果表明：随着土壤含水量的降低，叶片与根系的饱和渗透势同步下降，表现出叶片与根系对水分胁迫反应的一致性，但根系的渗透调节能力低于叶片。根系与叶片的渗透调节物质，一方面在物质总含量方面，表现出与渗透调节能力的一致性，另一方面各种物质的相对含量又有一定差异，叶片中可溶性糖与 $K^+$ 的含量及增加量都高于根系，而根系中的游离氨基酸与 $Ca^{2+}$ 的相对增加量则大于叶片。

**关键词** 小麦，水分胁迫，渗透调节

# Effects of Slow Water Stress on Osmotic Adjustment of Leaves and Roots in Wheat

[1]WANG Wei [1]LI Chun-Xiang [1]LI De-Quan② [2]ZHANG Zhong-Lan

[1]（*Department of plant science*, *Shandong Agricultural University*, Taian 271018）

[2]（*Yantai Agricultural technical school*, Yantai 264000）

**Abstract** 4 different drought-resistant wheat varieties were used to study the effects of slow water stress on osmotic adjustment of leaves and roots. The wheat plants were stressed at flowering stage. The osmotic adjustment and osmotyles were determined at different stress time. The results showed that saturated osmotic potential of the roots and shoots was decreasing while the soil water content was becoming little, but the osmotic adjustment of the roots was smaller than that of the shoots. The changes of total soluble matter in the roots and shoots were consistent with the osmotic adjustment, but the content of different soluble matters in the roots was inconsistent with that in the shoots. The amount of soluble sugar and $K^+$ in the shoots were more than that in the roots not only in the content but also in the increasing percentage, but the increasing percentage of free amino acid and $Ca^{2+}$ in the roots was more than that in shoots.

**Key words** Wheat, Water stress, Osmotic adjustment

渗透调节作为小麦抗旱的重要生理机制，已经受到越来越多的研究者的重视。有关渗透调节基因工程以及渗透调节在作物改良中的作用等方面的研究工作也在进行之中

① 国家自然科学基金资助项目（39870526）。

② 通讯联系人。Author for Correspondence.

作者简介：王玮，女，38岁，农学博士，长期从事小麦抗旱生理研究工作，在小麦抗旱生理与抗旱育种的结合方面工作突出。用低水势下小麦的胚芽鞘长度为抗旱指标，进行小麦抗旱鉴定，并将该指标用于小麦的抗旱育种过程，取得了成功。现中国农业大学博士后，正致力于小麦抗旱相关基因的筛选与克隆工作。

收稿日期：2000-02-16 接受日期：2000-06-12 责任编辑：姜联合

(Jing *et al*, 1999;黎裕,1994;1998;Li 等,1993)。叶片的渗透调节能力的研究较多,但小麦根系的渗透调节能力以及根系渗透调节能力与地上部渗透调节能力的关系研究较少。本文以抗旱性不同的 4 个冬小麦品种为材料,研究了缓慢脱水对根系及叶片的渗透调节的影响,分析了小麦叶片与根系渗透调节能力的关系。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料来源

抗旱性不同的 4 个小麦品种分别为抗旱性强的"昌乐 5 号"($CH_5$)、"秦麦 3 号"($Q_3$)和抗旱性弱的"济南 13 号"($J_{13}$)、"鲁麦 5 号"($L_5$),全部来源于黄淮麦区。

### 1.2 材料培养与处理

采用土培盆栽。盆内径 20 cm,高 25 cm,每盆装肥沃大田干表土 8.00 kg,施入充足基肥。土壤最大持水量 28.5%。每盆均匀点播 6 株,生育前期常规管理。开花期进行缓慢脱水处理,从土壤含水量 80% 以每天 5% 的脱水速度降到 30%。每处理重复 3 次。

### 1.3 指标测定方法

**1.3.1 饱和渗透势及渗透调节能力的测定** 用水饱和渗透势法:取根、叶置蒸馏水中吸水饱和,取出吸干表面水分,放入塑料袋中密封,迅速置低温冰箱冰冻待测。测定前将样品取出融冰,剪碎,榨取汁液。用冰点渗透压计测定细胞汁液的 iC,按下式计算饱和渗透势($\psi_s^{100}$):

$$\psi_s^{100} = -0.1013RTiC$$

式中:R 为气体常数,取 0.08314;T 为凯氏温度,T = 273 + t,t 为测定时的摄氏室温;iC 为仪器显示的渗摩尔浓度(Osm/kg·$H_2O$)。按下式计算渗透调节能力(OA):

$$OA = \psi_s^{100}(\text{对照}) - \psi_s^{100}(\text{处理})$$

**1.3.2 可溶性糖含量测定** 用苯酚法(邹琦,1995)。

**1.3.3 游离氨基酸含量测定** 用氰酸盐-水合印三酮比色法(邹琦,1995)。

**1.3.4 脯氨酸含量测定** 用酸性水合印三酮比色法(邹琦,1995)。

**1.3.5 $K^+$、$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$ 含量测定** 分别取烘干磨碎的样品各 0.25 g,放入具塞试管中,加 1 mol/L HCl 20 mL 浸泡 24 h,期间摇动数次,过滤于刻度试管中,用原子吸收分光光度计测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤缓慢脱水对开花期小麦根系及叶片饱和渗透势及渗透调节能力的影响

由表 1 可以看出,随着土壤含水量的降低,4 个小麦品种叶片及根系的饱和渗透势下降,即 4 个小麦品种的根系及叶片均表现出渗透调节能力。脱水第 6 d,土壤含水量降至 50%,4 个品种的根系及叶片的饱和渗透势分别降低 0.07 ~ 0.11 MPa 和 0.26 ~ 0.31 MPa;脱水第 10 d,土壤含水量降至 30%,渗透调节分别增至 0.09 ~ 0.16 MPa 和 0.33 ~ 0.42 MPa。抗旱性强的"秦麦 3 号"和"昌乐 5 号"大于抗旱性弱的"济南 13 号"和"鲁麦 5 号"。土壤相对含水量相同的情况下,根系的饱和渗透势高于叶片,但根系的渗透调节能力低于叶片。

https://www.chinbullbotany.com

## 2.2　土壤缓慢脱水对开花期小麦渗透调节物质的影响

细胞渗透势的下降以渗透调节物质的增加为基础。测定了不同水分胁迫下 4 个品种根系及叶片中可溶性糖、游离氨基酸和脯氨酸 3 种主要有机渗透调节物质及 $K^+$、$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$ 3 种主要无机渗透调节物质，结果见表 2、表 3。

表 1　土壤缓慢脱水对小麦根系及叶片及渗透调节能力及饱和渗透势（$\Psi_S^{100}$）的影响

Table 1　Effects of slow water stress on osmotic adjustment and saturated osmotic potential of leaves and roots in wheat

Mpa

| 品种 | 部位 | 土壤相对含水量(%) | | | | | | OA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | (1) | (2) |
| $J_{13}$ | R | -4.55 | -4.72 | -4.88 | -5.23 | -5.31 | -5.56 | 0.68 | 1.01 |
| | L | -8.57 | -8.96 | -9.34 | -11.19 | -11.35 | -11.90 | 2.62 | 3.33 |
| $L_5$ | R | -4.55 | -4.83 | -5.06 | -5.30 | -5.39 | -5.46 | 0.75 | 0.91 |
| | L | -8.66 | -8.93 | -10.39 | -11.23 | -11.65 | -11.91 | 2.57 | 3.25 |
| $CH_5$ | R | -4.38 | -4.69 | -5.16 | -5.37 | -5.52 | -5.69 | 0.99 | 1.33 |
| | L | -9.13 | -9.32 | -10.38 | -11.74 | -12.52 | -12.93 | 2.61 | 3.80 |
| $Q_3$ | R | -4.43 | -4.87 | -5.28 | -5.54 | -5.73 | -6.07 | 1.11 | 1.60 |
| | L | -9.38 | -9.75 | -12.00 | -12.52 | -13.28 | -13.59 | 3.14 | 4.21 |

注：$OA(1) = \Psi_S^{100}(80\%) - \Psi_S^{100}(50\%)$；$OA(2) = \Psi_S^{100}(80\%) - \Psi_S^{100}(30\%)$.

表 2　土壤缓慢脱水对不同抗旱性小麦品种根叶中有机渗透调节物质的影响

Table 2　Effects of slow water stress on organic osmotyles of leaves and roots in different drought-resistant wheat

$\mu mol \cdot g^{-1}$ DW

| 品种 | 渗透调节物质种类 | SWC% | | | | | | | | | | | | 增加 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 80 | | 70 | | 60 | | 50 | | 40 | | 30 | | 含量 | | % | |
| | | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L |
| $L_5$ | 可溶性糖 | 177 | 287 | 190 | 294 | 218 | 325 | 269 | 407 | 312 | 523 | 336 | 618 | 159 | 331 | 90 | 115 |
| | 游离氨基酸 | 53 | 81 | 69 | 89 | 73 | 92 | 86 | 105 | 92 | 118 | 101 | 132 | 48 | 51 | 91 | 63 |
| | 脯氨酸 | 2 | 4 | 2 | 6 | 4 | 9 | 7 | 14 | 10 | 19 | 13 | 25 | 11 | 21 | 550 | 525 |
| $J_{13}$ | 可溶性糖 | 203 | 264 | 212 | 296 | 212 | 357 | 248 | 409 | 302 | 539 | 371 | 621 | 1173 | 357 | 55 | 135 |
| | 游离氨基酸 | 59 | 79 | 58 | 82 | 76 | 90 | 84 | 104 | 92 | 123 | 105 | 151 | 46 | 72 | 78 | 91 |
| | 脯氨酸 | 1 | 3 | 2 | 4 | 4 | 7 | 6 | 11 | 8 | 16 | 13 | 23 | 12 | 20 | 120 | 667 |
| $CH_2$ | 可溶性糖 | 214 | 328 | 290 | 389 | 292 | 435 | 341 | 477 | 378 | 583 | 432 | 706 | 218 | 478 | 102 | 146 |
| | 游离氨基酸 | 56 | 84 | 63 | 97 | 75 | 84 | 110 | 99 | 127 | 117 | 143 | 61 | 169 | 85 | 109 | 101 |
| | 脯氨酸 | 3 | 5 | 4 | 8 | 5 | 9 | 9 | 17 | 14 | 23 | 23 | 37 | 20 | 32 | 667 | 640 |
| $Q_3$ | 可溶性糖 | 232 | 396 | 296 | 484 | 327 | 531 | 348 | 598 | 413 | 676 | 446 | 747 | 214 | 351 | 92 | 89 |
| | 游离氨基酸 | 63 | 94 | 78 | 115 | 92 | 136 | 102 | 144 | 111 | 165 | 124 | 181 | 61 | 87 | 97 | 93 |
| | 脯氨酸 | 3 | 4 | 5 | 11 | 7 | 18 | 12 | 26 | 17 | 32 | 22 | 39 | 19 | 35 | 633 | 875 |

**2.2.1　土壤缓慢脱水对小麦根系及叶片有机渗透调节物质的影响**　表 2 表明，随着土壤含水量的下降，4 个品种根、叶中可溶性糖、游离氨基酸、脯氨酸的含量均呈升高的趋势。其中脯氨酸升高的相对幅度较大，处理第 10 d（SWC 为 30%）比第 1 d（SWC 为 80%）增加 5 ~ 12 倍 游离氨基酸和可溶性糖升高的幅度相当，为 55% ~ 135%，其中根系中游离氨基酸升高幅度较大，叶片中可溶性糖的升高幅度较大。从 3% 种有机物质的总含量及绝对

http://www.chinagrow.com/ 2006 Chinagrow.com

增加量来看,可溶性糖在 3 种物质中最多,游离氨基酸次之,脯氨酸占的量很少。抗旱性强的品种‘昌乐 5 号’和‘秦麦 3 号’的含量及增加量高于抗旱性弱的‘济南 13 号’和‘鲁麦 5 号”。与饱和渗透势及渗透调节能力的变化趋势基本一致。

表 3 土壤缓慢脱水对开花期小麦根系及叶片无机离子的影响

Table 3 Effects of slow water stress on inorganic ions of leaves and roots in different drought resistant wheat at flower stage

$\mu mol \cdot g^{-1}$ DW

| 品种 | 种类 | SWC% | | | | | | | | | | | | 增加 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 80 | | 70 | | 60 | | 50 | | 40 | | 30 | | 含量 | | % | |
| | | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L |
| $L_5$ | $K^+$ | 402 | 1190 | 424 | 1340 | 436 | 1425 | 460 | 1523 | 478 | 1798 | 490 | 2096 | 88 | 906 | 22 | 76 |
| | $Ca^{2+}$ | 67 | 58 | 75 | 67 | 104 | 90 | 136 | 123 | 180 | 136 | 179 | 141 | 112 | 83 | 167 | 143 |
| | $Mg^{2+}$ | 34 | 52 | 33 | 55 | 36 | 58 | 39 | 64 | 42 | 69 | 46 | 72 | 12 | 20 | 35 | 38 |
| $J_{13}$ | $K^+$ | 396 | 1312 | 432 | 1399 | 450 | 1502 | 479 | 1597 | 486 | 1857 | 503 | 2132 | 107 | 820 | 27 | 63 |
| | $Ca^{2+}$ | 90 | 87 | 91 | 86 | 103 | 94 | 130 | 107 | 148 | 121 | 156 | 129 | 66 | 42 | 73 | 48 |
| | $Mg^{2+}$ | 40 | 57 | 41 | 59 | 44 | 61 | 47 | 66 | 54 | 72 | 60 | 79 | 20 | 22 | 50 | 39 |
| $CH_5$ | $K^+$ | 348 | 1265 | 469 | 1396 | 407 | 1547 | 439 | 1626 | 486 | 1892 | 512 | 2106 | 64 | 841 | 18 | 66 |
| | $Ca^{2+}$ | 70 | 60 | 74 | 65 | 91 | 76 | 123 | 106 | 172 | 147 | 203 | 188 | 133 | 128 | 190 | 213 |
| | $Mg^{2+}$ | 39 | 58 | 41 | 59 | 43 | 63 | 46 | 65 | 54 | 69 | 59 | 73 | 20 | 15 | 51 | 26 |
| $Q_3$ | $K^+$ | 423 | 1276 | 467 | 1427 | 469 | 1501 | 502 | 1720 | 520 | 1896 | 540 | 2198 | 117 | 922 | 28 | 72 |
| | $Ca^{2+}$ | 66 | 65 | 78 | 76 | 97 | 90 | 132 | 121 | 159 | 149 | 195 | 179 | 129 | 114 | 195 | 175 |
| | $Mg^{2+}$ | 42 | 56 | 47 | 59 | 46 | 63 | 51 | 66 | 54 | 77 | 63 | 82 | 12 | 26 | 29 | 46 |

**2.2.2 土壤缓慢脱水对小麦根系及叶片无机渗透调节物质的影响** 表 3 表明,随着土壤含水量的降低,$K^+$、$Ca^{2+}$、$Mg^{2+}$ 都有不同程度的升高。其中 $K^+$ 无论绝对含量还是增加量都占绝对优势,对渗透调节的贡献最大,这与我们以前的测定结果一致(李得全等,1992;王玮和邹琦,1994);$Mg^{2+}$ 的含量很低,且变化幅度不大;随着水分胁迫程度的加重,$Ca^{2+}$ 的增加幅度较大,说明对水分胁迫较敏感,且在根系中的含量高于叶片,对根系渗透调节的贡献较大。

## 3 讨论

### 3.1 小麦根系与叶片渗透调节之间的关系

植物通过渗透调节作用适应干旱逆境,这在许多作物上已经得到证实,且一般认为抗旱性强的品种渗透调节能力较强(黎裕,1994;Morgan 等,1986;王玮等,1997),叶片的渗透调节能力大于根系(Derrick 等,1987),我们的测定结果与此一致。由表 4 可知,随着土壤含水量的降低,小麦根系与叶片的饱和渗透势一致下降,4 个品种根系与叶片的饱和渗透势下降的相关系数均达极显著水平;不同品种在土壤含水量下降相同的条件下,随着土壤含水量的降低,根系与叶片饱和渗透势的下降趋势趋向一致,相关系数逐渐达到极显著水平。可以认为,小麦根系与叶片的渗透调节能力是一致的。表明了根系与叶片在适应干旱逆境方面的协调统一性。

http://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t20-016

### 3.2 根系与叶片渗透调节物质的差异

根系与叶片的渗透调节,一方面表现在饱和渗透势的下降的一致性,另一方面又表现

出对水分胁迫反应的异质性。这种异质性除了上面谈到的根系渗透调节能力小于叶片外，还表现在渗透调节物质的差异。在所测定的三种有机渗透调节物质中，叶片中可溶性糖的含量及增加量大于根系，根系中的游离氨基酸的相对增加量则大于叶片。这可能与叶片是糖的主要产生部位，而根系则可以合成氨基酸有关。在无机渗透调节物质中，叶片中的 $K^+$ 无论绝对含量，还是相对增加量都高于根系，而根系中 $Ca^{2+}$ 的含量及增加量则高于叶片。众所周知，$K^+$ 与 $Ca^{2+}$ 在调节抗旱性方面的作用是不同的（孙大业和郭艳林，1992）。$K^+$ 除了在降低渗透势方面的作用以外，在调节叶片气孔的开闭方面有着重要作用；$Ca^{2+}$ 在渗透势降低方面的作用可能并不重要，而 $Ca^{2+}$ 作为“第二信使”与 CaM 结合，可以参与包括细胞信号转导等方面的许多生理过程（孙大业和郭艳林，1992）。

表 4　4 个抗旱性不同的小麦品种根系与叶片饱和渗透势的下降及其相关系数

Table 4　The correlation coefficients of decreased saturated osmotic potential of leaves and roots in different drought-resistant wheat

MPa

| 品种 | 部位 | 80% ~ 70% | 80% ~ 60% | 80% ~ 50% | 80% ~ 40% | 80% ~ 30% | 相关系数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $J_{13}$ | R | 0.17 | 0.33 | 0.68 | 0.76 | 1.01 | |
| | L | 0.39 | 0.77 | 2.62 | 2.78 | 3.33 | 0.9837** |
| $L_5$ | R | 0.28 | 0.51 | 0.75 | 0.84 | 0.91 | |
| | L | 0.27 | 1.73 | 2.57 | 2.99 | 3.25 | 0.9921** |
| $CH_5$ | R | 0.31 | 0.78 | 0.99 | 1.14 | 1.33 | |
| | L | 0.19 | 0.25 | 2.61 | 3.39 | 3.80 | 0.9041** |
| $Q_3$ | R | 0.44 | 0.85 | 1.11 | 1.30 | 1.60 | |
| | L | 0.37 | 2.62 | 3.14 | 3.90 | 4.21 | 0.9635** |
| 相关系数 | | −0.0775 | 0.2411 | 0.7562 | 0.9832** | 0.9981** | |

## 参　考　文　献


王玮，邹琦，1994. 邹琦 主编，作物抗旱生理生态研究，北京：山东科学技术出版社，51 ~ 57

王玮，邹琦，杨兴洪，彭涛，李岩，1997. 低水势下冬小麦胚芽鞘长度与叶片的渗透调节能力及大田产量关系的研究. 植物学通报，**14**（增刊）：55 ~ 59

李德全，邹琦，程炳嵩，1992. 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. 植物生理学报，**18**(1)：37 ~ 44

邹琦（主编），1995. 植物生理生化实验指导，北京：中国农业出版社

孙大业，郭艳林，1992. 细胞信号系统. 北京：科学出版社，116 ~ 130

黎裕，1994. 植物的渗透调节与其它生理过程的关系及其在作物改良中的应用. 植物生理学通讯，**30**(5)：377 ~ 385

Derrick M, osterhuis O, Stan D. Wullschleger, 1987. Osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves and root in response to water stress. *Plant Physiol*, **84**: 1154 ~ 1157

JingXian Zhang, Nguyen H T, Blum A, 1999. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *Journal of Experimental Botany*, **50**(332): 291 ~ 302

Li X, Feng Y, Boersma L, 1993. Comparison of osmotic adjustment responses to water and temperature stresses in spring wheat and sudangrass. *Ann-Bot*, London: Academic Press. *Apr*, **71**(4): 303 ~ 310

Morgan J M, Hare R A, Fletcher R J, 1986. Genetic variation in osmoregulation in bread and durum wheat and its relationship to grain yield in a range of field environment. *Aust J Agric Res*, **37**: 449 ~ 457


https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t20-016