

干旱胁迫与复水条件下高粱、 玉米苗期渗透调节及抗氧化比较研究*

邵艳军 山 仑 李广敏

(西北农林科技大学生命科学学院 杨陵 712100) (河北农科院遗传生理研究所 石家庄 050000)

摘 要 盆栽试验结果表明,高粱和玉米2种作物均存在渗透调节和抗氧化耐旱途径。高粱耐旱性较强,干旱条件下叶片相对含水量较高,水势亦较大。高粱以可溶性糖和蛋白质为主要渗透调节物质,以过氧化氢酶(CAT)为主要抗氧化酶。玉米以 K^+ 和脯氨酸为主要渗透调节物质,以超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)为主要抗氧化酶。

关键词 高粱 玉米 渗透调节 抗氧化 干旱 复水

Comparison of osmotic regulation and antioxidation between sorghum and maize seedlings under soil drought stress and water recovering conditions. SHAO Yan-Jun, SHAN Lun (College of Life Science, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China), LI Guang-Min (The Genetics and Physiological Institute of Hebei Agriculture and Forest Academy, Shijiazhuang 050000, China), *CJEA*, 2006, 14(1): 68 ~ 70

Abstract The results from pot experiment showed that the drought tolerance mechanism of osmotic regulation and antioxidation was all found in sorghum and maize seedlings. The drought tolerance of sorghum is stronger than that of maize, its leaf relative water content and water potential are higher under drought condition. The main osmotic regulation substances in sorghum are soluble sugar and protein, catalase(CAT) is used as the main antioxidant enzyme. K^+ and proline are the main osmotic regulation substances and the main antioxidant enzymes are superoxide dismutase(SOD) and peroxidase(POD) in maize.

Key words Sorghum, Maize, Osmotic regulation, Antioxidation, Drought, Water recovered

(Received May 10, 2004; revised May 31, 2004)

1 试验材料与方法

供试高粱品种为抗旱性较弱的“晋中405”和抗旱性强的“晋杂12”,玉米品种为抗旱性较弱的“掖单13”和抗旱性较强的“农大108”。将种子挑选、漂洗,用1g/L HgCl₂消毒、洗净后置28℃恒温箱中催芽24h,取发芽势基本一致的种子种于瓦盆中(高17cm×宽18cm,装等重的田间表层壤土,田间最大持水量29.8%),其中玉米每盆播15粒,高粱每盆播25粒,人工光照室光照强度300~350 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}$ 、12h光照/12h黑暗、28℃、相对湿度60%~80%条件下培养。3叶1心后停止浇水,使土壤水分缓慢降低,以土壤含水量占最大持水量60%时为对照(CK),占最大持水量35%时为重度干旱(处理₁),占最大持水量32%时为深重度干旱(处理₂),分别以处理₁复水后24h、48h为处理₃和处理₄。取心叶下1~2叶片,用称重法测定叶片相对含水量,用压力室法测定叶片水势,以电导率法测定叶片质膜透性,用蒽酮法测定可溶性糖含量,以考马斯亮蓝G-250法测定可溶性蛋白含量,用火焰光度计法测定 K^+ 含量,用茚三酮比色法测定脯氨酸含量,用氮蓝四唑(NBT)分度光度法测定超氧化物歧化酶活性,以愈创木酚法测定过氧化物酶活性,用紫外吸收法测定过氧化氢酶活性^[1,2]。

2 结果与分析

水分胁迫下高粱、玉米苗期水分状况及膜伤害比较。干旱条件下(处理₁)高粱、玉米2种作物叶片含水量较对照下降,水势降低,相对电导率增加(见表1),但2种作物及不同品种的变化幅度各异。经计算膜伤害率“掖单13”为23.73%，“农大108”为6.45%，“晋中405”为5.18%，“晋杂12”为0.82%。

* 国家重点基础研究(973)发展规划项目(G1999011708)资助

收稿日期:2004-05-10 改回日期:2004-05-31

水分胁迫下高粱、玉米苗期渗透调节反应与抗氧化比较。水分胁迫下高粱糖含量高于玉米,玉米 2 品种可溶性糖含量随干旱程度增加均有升高趋势,复水 24h 时玉米糖含量为最高,而复水 48h 时糖含量有所下降,但未恢复到对照水平。抗旱性差的“晋中 405”高粱品种在干旱胁迫阶段糖含量减少但变幅较小,复水 48h 内糖含量则持续上升;而抗旱性高粱品种“晋

表 1 水分胁迫下高粱、玉米苗期叶片相对含水量、水势和相对电导率的变化

Tab.1 The changes of relative water content, water potential and relative electric conduct rate of sorghum and maize seedlings under soil drought stress

| 项 目 Items | 品种 Varieties | | | | | | | |
|--------------|-------------------|--------|----------------------|--------|------------------------|--------|-------------------|--------|
| | 掖单 13 Yedan 13 | | 农大 108 Nongda 108 | | 晋中 405 Jinzhong 405 | | 晋杂 12 Jinza 12 | |
| | 处理 Treatments | | | | | | | |
| | CK | | CK | | CK | | CK | |
| 水 势 / MPa | -0.627 | -0.784 | -0.686 | -0.980 | -0.392 | -0.589 | -0.311 | -0.490 |
| 相对含水量/ % | 92.23 | 82.17 | 94.52 | 84.44 | 93.94 | 91.67 | 96.00 | 94.44 |
| 相对电导率/ % | 19.02 | 38.24 | 16.70 | 22.07 | 10.99 | 14.33 | 15.19 | 15.88 |

表 2 水分胁迫下高粱、玉米苗期渗透调节物质含量与抗氧化酶活性的变化

Tab.2 The changes of osmotic regulation substance content and antioxidant enzyme activity of sorghum and maize seedlings under soil drought stress

| 生理指标 Physiological index | 处 理 Treatments | 品种 Varieties | | | |
|---|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| | | 掖单 13 Yedan 13 | 农大 108 Nongda 108 | 晋杂 12 Jinza 12 | 晋中 405 Jinzhong 405 |
| 糖 含 量 / $g \cdot kg^{-1}$ | CK | 3.338 | 2.852 | 11.245 | 11.370 |
| | | 3.838 | 3.176 | 10.727 | 11.287 |
| | | 4.991 | 4.347 | 16.657 | 10.963 |
| | | 15.523 | 11.329 | 20.120 | 13.250 |
| | | 6.218 | 6.889 | 4.843 | 13.884 |
| 蛋白质含量 / $\mu g \cdot mL^{-1}$ | CK | 0.0047 | 0.0119 | 0.3517 | 0.0264 |
| | | 1.0278 | 0.9139 | 0.4939 | 0.0711 |
| | | 0.9139 | 0.0192 | 1.0278 | 0.6306 |
| | | 0.2333 | 0.1333 | 0.1256 | 0.5378 |
| | | 0.3411 | 0.6667 | 0.2686 | 0.0119 |
| 脯氨酸含量 / $\mu g \cdot g^{-1}FW$ | CK | 90.605 | 97.128 | 40.773 | 77.096 |
| | | 154.115 | 95.730 | 52.406 | 64.130 |
| | | 50.389 | 41.149 | 43.090 | 37.190 |
| | | 50.776 | 120.341 | 36.413 | 119.333 |
| | | 54.038 | 43.090 | 27.873 | 32.143 |
| K^+ 含 量 / % | CK | 0.45 | 0.50 | 0.44 | 0.46 |
| | | 0.59 | 0.44 | 0.36 | 0.45 |
| | | 0.61 | 0.53 | 0.50 | 0.58 |
| | | 0.48 | 0.40 | 0.46 | 0.48 |
| | | 0.52 | 0.61 | 0.51 | 0.55 |
| 超氧化物歧化酶 / $U \cdot g^{-1}FW$ | CK | 331.54 | 314.18 | 298.04 | 272.38 |
| | | 305.14 | 319.34 | 260.36 | 295.32 |
| | | 350.56 | 313.48 | 323.36 | 338.20 |
| | | 283.38 | 230.66 | 235.60 | 132.04 |
| | | 287.79 | 358.44 | 256.62 | 279.48 |
| 过氧化物酶 / $g \cdot g^{-1}FW$ | CK | 0.776 | 0.751 | 0.260 | 0.245 |
| | | 1.111 | 0.924 | 0.130 | 0.178 |
| | | 1.277 | 0.968 | 0.204 | 0.176 |
| | | 0.942 | 0.928 | 0.456 | 0.502 |
| | | 0.777 | 0.598 | 0.708 | 0.617 |
| 过氧化氢酶 / $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ | CK | 200.18 | 187.33 | 304.33 | 268.17 |
| | | 223.83 | 213.00 | 345.00 | 454.16 |
| | | 307.63 | 184.38 | 344.25 | 372.88 |
| | | 109.83 | 249.67 | 759.67 | 110.00 |
| | | 174.33 | 199.00 | 192.50 | 274.67 |

杂 12”在干旱和复水 24h 时糖含量变化规律与 2 个玉米品种相似,但复水 48h 时已低于对照水平(见表 2),表明可溶性糖在植物抵抗干旱时起到了渗透调节的作用,并参与了植物复水后生理恢复和修复过程。可溶性糖在抗旱性强的“晋杂 12”品种上的反应超前于抗旱性差的“晋中 405”品种,表明其渗透调节机制在不同抗旱性品种间存在差异。水分胁迫下高粱蛋白质含量高于玉米,重度干旱时玉米 2 品种蛋白质含量急剧上升,深重度干旱时蛋白质含量下降,其中“农大 108”变化较显著,复水后蛋白质含量升高且大于对照。高粱 2 品种在整个干旱胁迫时蛋白质含量均上升,且深重度干旱时蛋白质含量远大于对照,复水 24h 时“晋杂 12”蛋白质含量急剧下降且低于对照,复水 48h 时蛋白质含量又开始回升但小于对照;“晋中 405”在复水 24h 时蛋白质含量同样下降,但下降趋势较慢且蛋白质含量大于对照,复水 48h 时蛋白质含量继续下降且低于对照。表明可溶性蛋白在高粱、玉米抵抗干旱逆境时起到渗透调节的作用,均参与了复水后修复,但高粱品种抗逆过程中深度胁迫和回复修补时所起作用较大,存在物种差异。可溶性蛋白在不同抗旱性高粱品种上存在较一致的调节机制,但在抗性品种上所起作用较大。水分胁迫下玉米脯氨酸含量高于高粱,重度干旱时“掖单 13”脯氨酸含量迅速增加,深重度干旱时下降且低于对照,复水阶段脯氨酸含量回升但变化较小且均低于对照;“农大 108”在重度和深重度干旱下脯氨酸含量均下降,复水 24h 时脯氨酸含量升高,复水 48h 时脯氨酸含量下降并低

于对照。干旱胁迫下高粱“晋中 405”脯氨酸含量持续下降,复水 24h 时脯氨酸含量上升,显著高于对照,复水 48h 时脯氨酸含量下降且低于对照;“晋杂 12”脯氨酸含量变化在全处理过程中较平坦,重度干旱时脯氨

酸含量升高,深重度干旱时脯氨酸含量下降但略高于对照,复水阶段脯氨酸含量则持续下降且低于对照。表明脯氨酸在玉米渗透调节中有较大作用,但抗旱与不抗旱品种间存在差异。脯氨酸在抗旱性差的“晋中 405”高粱品种渗透调节中所起作用较大,不同抗旱性高粱品种材料同样在脯氨酸参与渗透调节机制上存在差异,且抗旱性差的“晋中 405”高粱品种的脯氨酸变化和抗旱性较好的“农大 108”玉米品种的变化趋势较一致。水分胁迫下玉米 K^+ 含量较高,干旱胁迫时“掖单 13” K^+ 含量均表现为上升,复水后下降但高于对照,复水 48h 时 K^+ 含量略有回升;而重度干旱时“农大 108” K^+ 含量下降,深重度胁迫时其含量上升,复水 24h 时又下降且低于对照,但在复水 48h 时 K^+ 含量较高。重度干旱时高粱 2 个品种 K^+ 含量均下降,深重度干旱时又均上升,复水 24h 时 K^+ 含量又下降,复水 48h 时 K^+ 含量又上升,即均表现为“降升降升”趋势,表明 K^+ 在高粱不同抗旱性品种渗透调节中的作用机制较一致,且与抗旱性较好的“农大 108”玉米品种变化趋势较一致。表明 K^+ 作为渗透调节物质参与高粱、玉米的抗干旱反应,在玉米渗透调节中所起作用较大,但在不同抗旱性玉米品种间的差异。水分胁迫下玉米超氧化物歧化酶活性较高,重度干旱时“掖单 13”超氧化物歧化酶活性下降,深重度干旱时其活性上升,但复水后活性下降且均低于对照;干旱处理时“农大 108”超氧化物歧化酶活性变化较小,复水 24h 时其活性下降,复水 48h 时活性升高且高于对照。干旱时“晋中 405”超氧化物歧化酶活性上升,复水 24h 时其活性下降较明显且低于对照,而复水 48h 时其活性上升且略高于对照;重度干旱时“晋杂 12”超氧化物歧化酶活性下降,深重度干旱时其活性上升且高于对照,复水 24h 时其活性下降,复水 48h 时活性回升但仍低于对照。复水阶段高粱 2 品种超氧化物歧化酶活性变化一致,表明 2 品种有共同的超氧化物歧化酶抗氧化机制。但干旱胁迫阶段二者超氧化物歧化酶抗氧化调节机制不同,“晋杂 405”表现出与“农大 108”相近的变化趋势。由表 2 可知超氧化物歧化酶作为抗氧化酶在高粱、玉米上均存在清除活性氧的作用,参与了抗逆和复水后修复过程,是玉米的主要抗氧化酶。水分胁迫下玉米过氧化物酶活性较高,干旱处理过程中 2 品种过氧化物酶活性均上升,复水后其活性又均下降;而高粱 2 品种过氧化物酶活性均表现为干旱阶段下降但变幅较小,复水时则显著上升。表明高粱、玉米 2 物种过氧化物酶抗氧化调节机制方式不同,过氧化物酶参与了玉米抵抗干旱和高粱干旱后复水修复过程,是玉米的主要抗氧化酶。水分胁迫下高粱过氧化氢酶活性较高,干旱处理阶段“掖单 13”过氧化氢酶活性升高,复水 24h 时其活性下降且低于对照水平,复水 48h 时其活性上升但亦低于对照;干旱处理阶段“农大 108”过氧化氢酶活性变化较小,复水 24h 时其活性略有上升,复水 48h 时其活性下降但略高于对照。重度干旱时“晋中 405”过氧化氢酶活性显著上升,深重度干旱时其活性下降但高于对照,复水 24h 时其活性下降且小于对照,复水 48h 时其活性上升并高于对照;而重度干旱和深重度干旱时“晋杂 12”过氧化氢酶活性均略上升,复水 24h 时其活性极显著上升,复水 48h 时其活性下降且低于对照。表明高粱以过氧化氢酶为主要抗氧化酶,但在不同抗旱品种上存在差异。

3 小结与讨论

苏佩等^[3]应用 27 种变水条件对盆栽玉米、高粱的研究发现,抽穗前处于轻度至中等水分亏缺之后复水处理与一直处于充足供水的对照相比,高粱产量提高 15.5%,水分利用效率提高 25.8%;而同等条件下玉米产量和水分利用效率则分别下降 16.8% 和 5.9%,证明高粱具有较强的抗旱能力和伤害修复及超补偿能力。张锡梅等(1987)研究表明,高粱比玉米具有低蒸腾、高水势、低气孔传导性的特点^[4]。Jones 等发现,中度水分胁迫下完全展开的高粱叶片积累的无机离子主要为 K^+ 和 Mg^{2+} 。前人研究表明玉米的渗透调节物质主要是蔗糖和 K^+ ,玉米抗旱性与水分胁迫下超氧化物歧化酶等保护酶活性成显著正相关,抗旱性强的玉米品种,其超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶等保护酶活性较高^[5]。本实验证明高粱比玉米具有较高水势,其渗透调节物质主要是可溶性糖和蛋白。 K^+ 和脯氨酸在玉米渗透调节中所起作用较大,但抗旱与不抗旱玉米品种间存在差异。高粱比玉米具有较高的过氧化氢酶活性,过氧化氢酶为主要抗氧化酶,玉米以超氧化物歧化酶和过氧化物酶为主要抗氧化酶。

参 考 文 献

- 1 邹琦.植物生理学实验指导.北京:中国农业出版社,2001.163~168
- 2 上海植物生理研究所.植物生理学实验手册.北京:科学出版社,1999.314~317
- 3 苏佩,山仑.多变低水环境下高粱高产节水生理基础的研究.应用与环境生物学报,1997,3(4):305~308
- 4 上官周平.高粱抗旱机理的研究进展.国外农学:杂粮作物,1993,2(1):35~38
- 5 李广敏,唐连顺,商振清.渗透胁迫对玉米幼苗保护酶系统的影响及其与抗旱性的关系.河北农业大学学报,1994,17(2):1~5