



文章编号: 1000-4025(2006)04-0736-07

干旱与氧化胁迫对小麦根氧化还原状态 和叶片 ABA 积累的影响

赵志光¹, 李海燕¹, 陈拓², 王海庆³, 安黎哲^{1,2*}, 陈国仓¹

(1 兰州大学 干旱与草地生态教育部重点实验室, 兰州 730000; 2 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 3 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

摘要:通过分析一氧化氮(nitric oxide, NO)、活性氧(reactive oxygen species, ROS)和干旱胁迫对小麦根氧化还原状态和叶片脱落酸(abscisic acid, ABA)积累的影响,探讨了干旱胁迫下 NO 和 H₂O₂ 调节 ABA 合成的可能机制。结果表明:干旱胁迫处理初期小麦根还原型谷胱甘肽含量降低、抗氧化酶活性发生振荡变化,细胞氧化还原状态向氧化型转变。NO 和 H₂O₂ 能模拟干旱胁迫的作用使细胞状态向氧化型转变,还可以使小麦叶片 ABA 积累量上升。干旱胁迫下 NO 和 H₂O₂ 对 ABA 合成的调节作用可能是通过调节细胞氧化还原状态进行。

关键词:一氧化氮;活性氧;脱落酸;谷胱甘肽;氧化还原状态

中图分类号:Q945.78 **文献标识码:**A

Effects of Drought and Oxidative Stresses on Redox Status in Wheat Roots and ABA Accumulation in Wheat Leaves

ZHAO Zhi-guang¹, LI Hai-yan¹, CHEN Tuo², WANG Hai-qing³, AN Li-zhe^{1,2*}, CHEN Guo-cang¹

(1 Key Laboratory of Arid and Pasture Ecology of Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

Abstract: The study presented in this paper probed the effects of nitric oxide, reactive oxygen species and drought stress on redox status in the roots and ABA accumulation in the leaves of wheat as well as the mechanism by which nitric oxide and reactive oxygen species regulated ABA synthesis under drought stress. The results indicated that in the beginning period of drought stress, the roots showed a decreased reductive glutathione content, a fluctuated activity of antioxidative enzymes, and a cellular transition from reductive status to oxidative status. NO and H₂O₂ could lead to the cellular transition towards oxidative status by simulating the effect of drought stress, and they could also increase ABA accumulation in wheat leaves. Under drought stress, NO and H₂O₂ probably exerted their regulating effect on ABA synthesis by regulating cellular redox status.

Key words: nitric oxide; reactive oxygen; ABA; glutathione; redox status

在响应各种环境胁迫过程中,植物常会改变它们的激素水平。有人认为正是这种改变使得植物在

不利环境条件下仍能生长和发育^[1]。植物响应环境胁迫最重要的激素是脱落酸(ABA)。大量研究表明

收稿日期: 2005-09-15; 修改稿收到日期: 2006-02-16

基金项目: 中国科学院“百人计划”项目; 甘肃省农林生物技术项目(安黎哲); 中国科学院“西部之光”项目(陈拓, 王海庆)

作者简介: 赵志光(1975—), 男(汉族), 副教授, 博士, 主要从事植物激素与抗性生理研究。

* 通讯联系人。Correspondence to: AN Li-zhe. E-mail: lizhean@lzu.edu.cn

植物 ABA 含量在多种环境因子胁迫下上升^[2],这是植物响应环境胁迫中发生的一个比较普遍反应。

由于 ABA 在植物生长发育和逆境响应中具有重要作用,因此,自其发现以来几十年内,植物学界对其进行了极其深入细致的研究。ABA 在植物体内的生物合成途径、生理功能已基本阐明,ABA 在保卫细胞中的作用机理和信号传递途径逐步明朗^[3-5],但迄今为止,人们对植物响应环境胁迫并诱导 ABA 合成过程的了解仍十分缺乏。胁迫条件下 ABA 合成调节是比较复杂的过程,虽然已有研究表明活性氧(ROS)和一氧化氮(NO)参与了水分胁迫下 ABA 的合成调节^[6,7],但其具体机制仍不清楚。

氧化还原调节(redox regulation)是 ROS 和 NO 作用机制之一,通过改变细胞氧化还原状态,ROS 和 NO 可间接影响细胞各种活动^[8,9]。细胞氧化还原状态改变可通过细胞内抗氧化小分子物质的氧化还原状态来反映,如谷胱甘肽;此外各种抗氧化酶活性变化也间接反映了细胞氧化还原状态。

大量的研究表明,水分胁迫下植物的抗氧化物质的含量和状态及抗氧化酶活性发生急剧的变化^[10-13],这表明细胞氧化还原状态在水分胁迫下发生了变化。而这种变化的可能起因是水分胁迫诱导植物产生大量的活性氧。

既然 ROS 和 NO 能调节水分胁迫下 ABA 的合成,而且氧化还原调节是 ROS 和 NO 作用的方式之一,那么水分胁迫下 ROS 和 NO 能否通过改变组织或细胞的氧化还原状态调节 ABA 的合成呢?这一假设仍需实验的支持。本研究通过分析 ROS 和 NO 对 ABA 积累及对植物组织氧化还原状态的作用,以探讨 ROS 和 NO 对 ABA 合成调节的机制。

1 材料和方法

1.1 植物材料

陇春 8139 小麦品种由甘肃省农业科学院提供。小麦种子用 1%次氯酸钠消毒 10 min 后流水冲洗,浸种 12 h,25℃ 萌发 24 h 后种到蛭石中光照(60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,10 h/d)培养,隔天在蛭石中加入适量 Hoagland 营养液。培养 9 d 后,将小麦小心地连根从蛭石中取出,蒸馏水培养 1 d,用不同浓度的 SNP 或 H_2O_2 处理相应时间后取根(处理 2 h)或叶(处理 4 h)于液氮中冻存备用。根的干旱处理为快速脱水:将完整的根小心剪下,室温下人工风源吹 3~5 min,使其重量达到原重量的 80%,然后将根密封于塑料袋中保持相应时间后用液氮冻存备用。

1.2 脱落酸含量测定

按 Xing 等^[7]的方法用酶联免疫分析法测定脱落酸含量,脱落酸检测试剂盒由南京农业大学提供。

1.3 还原型谷胱甘肽(GSH)和氧化型谷胱甘肽(GSSG)含量测定

参照 Pasqualini 等^[14]的方法提取测定 GSH 和 GSSG 含量。准确称取液氮冻存小麦根 0.3 g,于 1 mL 5%磺基水杨酸研磨后 10 000×g 离心 15 min。取 0.4 mL 上清液加 0.6 mL 0.5 mol/L Na-磷酸缓冲液(pH 7.5)中和后用于总谷胱甘肽含量测定。另取 0.4 mL 上清液加 0.6 mL 0.5 mol/L Na-磷酸缓冲液(pH 7.5)中和,加 0.1 mL 2-乙烯基吡啶剧烈振荡并在室温下保温 1 h,2×5 mL 乙醚抽提后用于 GSSG 测定。GSH 和 GSSG 测定参照 Sies 和 Akerboom 的方法^[15]。

1.4 SOD、CAT、POD 活性测定

取液氮冻存的小麦根尖加入 2 mL 50 mmol/L PBS(pH 7.8),冰浴研磨,4℃、10 000×g 离心 10 min,取上清液测 SOD、CAT、POD 活性。

SOD 测定按邵本从^[16]方法测定。取适量酶液,加入 1.5 mL 反应液(50 mmol/L PBS、pH 7.8,75 $\mu\text{mol/L}$ NBT,0.01 mmol/L EDTA,13.37 mmol/L 甲硫氨酸,4 $\mu\text{mol/L}$ 核黄素),在 3 000 lx 光照下反应 10 min,测定 OD_{560} 。以相同体积水代替酶液反应作为对照。一个酶活力单位定义为抑制 NBT 光化还原反应到对照一半时需要的酶量。

CAT 测定参照 Cakmak 和 Marschner^[17]方法。取 50 μL 酶液加入 3 mL 反应液(50 mmol/L PBS、pH 7.0,4 mmol/L H_2O_2),记录 240 nm 光吸收变化。以每分钟变化 0.01 OD 为一个酶活力单位。

POD 活性测定参照 Cakmak 和 Marschner^[17]方法。取适量酶液加入 3 mL 反应液(50 mmol/L PBS、pH 7.8,60 mmol/L 愈创木酚,2 mmol/L H_2O_2),记录 $\text{OD}_{470\text{nm}}$ 光吸收变化,以每分钟变化 0.01 OD 为一个酶活力单位。

蛋白质定量按 Bradford^[18]的方法进行。

1.5 实验重复与统计分析

所有结果均为 4~6 个独立测定结果的平均值。用 *t* 测验检验两组结果间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 干旱处理对小麦根尖谷胱甘肽含量的影响

干旱胁迫处理导致小麦根系谷胱甘肽含量急剧下降(图 1),这种下降是由于还原型谷胱甘肽

(GSH)含量减少造成的;而氧化型谷胱甘肽(GSSG)含量在胁迫早期上升,在后期则有所恢复。分析GSH对GSSG的比值发现,胁迫处理的2h内谷胱甘肽氧化还原状态发生显著变化;胁迫早期不同时间取样测定,发现GSH与GSSG的比值均比胁迫前显著减小($P < 0.01$),而在后期(胁迫120min)则恢复到胁迫前的水平。

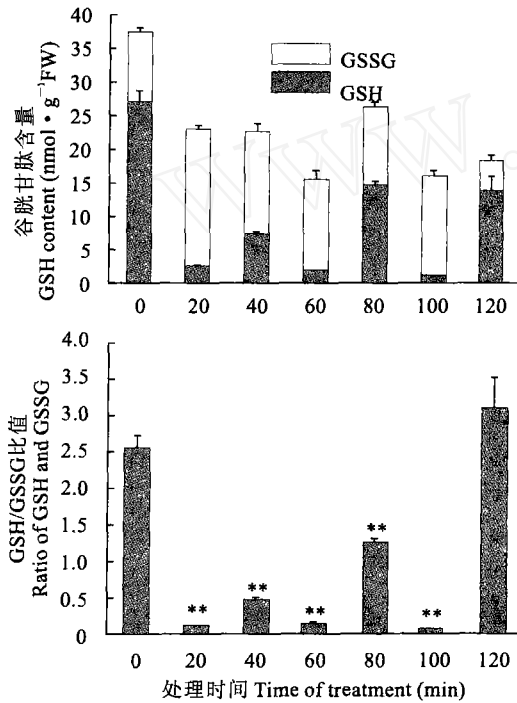


图1 干旱胁迫下小麦根系谷胱甘肽含量及氧化还原状态(GSH/GSSG)随胁迫进程的变化

**表示该组数据与0 min有极显著差异($P < 0.01$)。

Fig. 1 Content and redox status of glutathione in the roots of wheat under drought stress with time

** means that the data is extremely significantly different from the ones at zero minute ($P < 0.01$).

2.2 H₂O₂ 和 SNP 处理对小麦根尖谷胱甘肽含量的影响

图2表明,SNP对谷胱甘肽总含量的影响不明显。然而,除10 μmol/L的SNP对GSH/GSSG的比值作用不明显外,其它浓度SNP处理均导致GSH与GSSG比值减小。H₂O₂使小麦根系谷胱甘肽含量略有减少,而使GSH与GSSG的比值显著下降($P < 0.01$)(图3)。

2.3 干旱处理对小麦根尖SOD、CAT、POD活性的影响

由图4可以看出,在自然脱水胁迫的2h内,小麦根系抗氧化酶活性随胁迫进程发生规律性变化,

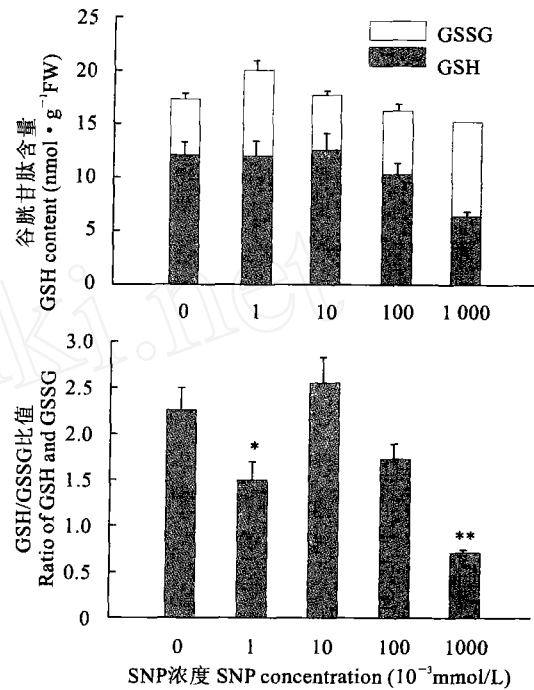


图2 SNP对小麦根系谷胱甘肽含量及氧化还原状态(GSH/GSSG)的影响

*, **分别表示该组数据与0 min组数据有显著差异($P < 0.05$)和极显著差异($P < 0.01$)。

Fig. 2 Content and redox status of glutathione in wheat roots plotted against SNP

* and ** mean the figures significantly ($P < 0.05$) or extremely significantly ($P < 0.01$) different from the ones at zero minute.

POD、CAT和SOD均在胁迫发生后40 min出现活性高峰,随后出现下降趋势。3种酶对胁迫的响应程度不大相同,POD的敏感性较小,活性最高值为对照的(109.0 ± 3.1)%;而CAT和SOD分别为对照的(134.4 ± 7.4)%和(130.0 ± 4.9)%。

2.4 H₂O₂ 和 SNP 处理对小麦根尖SOD、CAT、POD活性的影响

不同浓度的SNP处理小麦根系对各种酶活性的影响也不一致(图5)。除10 μmol/L SNP对POD活性没有影响外,其它浓度的SNP均对POD活性具有抑制作用,最大抑制率可达到42%;SNP对CAT活性的影响不大,在低浓度下具有抑制作用,而在高浓度下具有促进作用;SNP在低浓度下对SOD的抑制作用较为明显(最大抑制率可达28%),但在高浓度下也有显著的促进作用。

不同浓度的外源H₂O₂处理小麦根系对各种抗氧化酶活性均有抑制作用(图6)。POD和CAT活

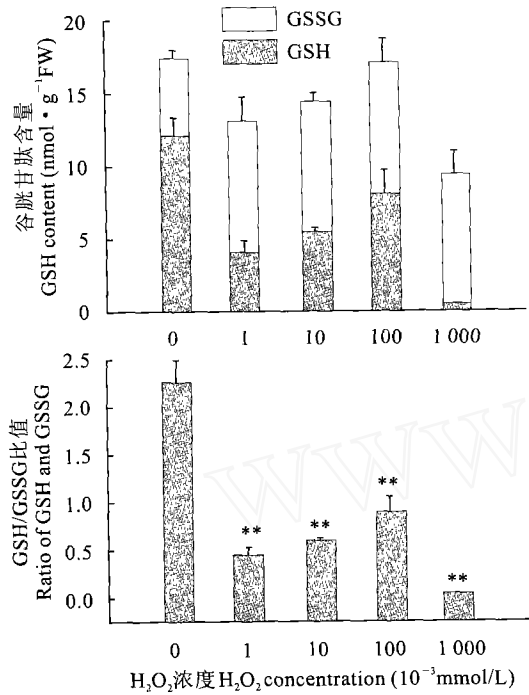


图 3 H₂O₂ 对小麦根系谷胱甘肽含量及氧化还原状态(GSH/GSSG)的影响

** 表示该组数据与 0 min 组数据有极显著差异 ($P < 0.01$)。

Fig. 3 Content and redox status of glutathione in wheat roots plotted with H₂O₂

** mean that the figures extremely significantly different from the ones at zero minute ($P < 0.01$).

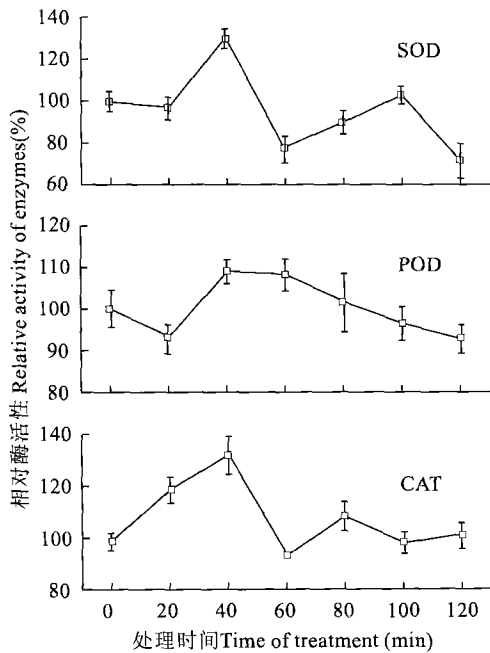


图 4 干旱胁迫下小麦根尖 POD、CAT、SOD 活性随胁迫进程的变化

Fig. 4 POD, CAT and SOD activities in the root tips of wheat under drought stress plotted with time

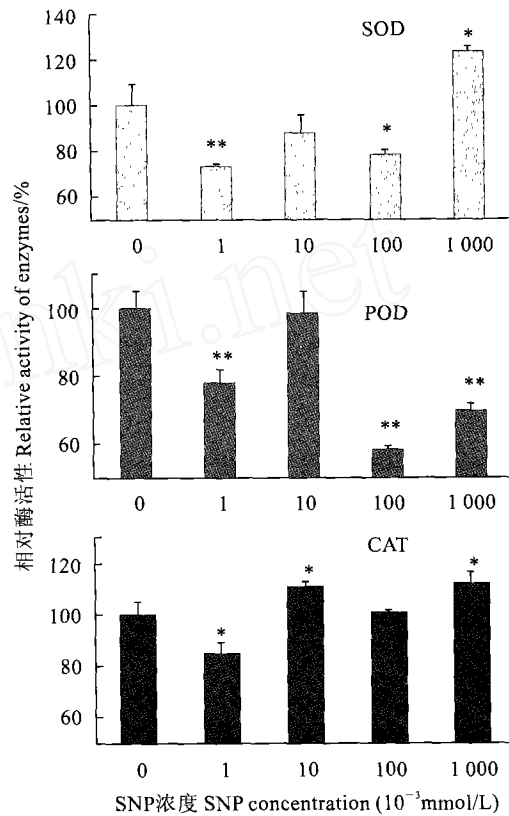


图 5 SNP 对小麦根系 POD、CAT、SOD 活性的影响

*, ** 分别表示该组数据与 0 min 组数据有显著差异 ($P < 0.05$) 和极显著差异 ($P < 0.01$)。

Fig. 5 POD, CAT and SOD activities in wheat roots plotted with SNP

* and ** mean that the figures is significantly ($P < 0.05$) or extremely significantly ($P < 0.01$) different from the ones at zero minute.

性在 H₂O₂ 处理下变化趋势与 H₂O₂ 浓度呈反相关, 但 H₂O₂ 对 SOD 的抑制作用与浓度无关。

2.5 H₂O₂ 和 SNP 处理对小麦叶片脱落酸含量的影响

H₂O₂ 和 SNP 处理可导致小麦叶片脱落酸积累 (图 7), 在检验的浓度范围内, 其积累量与 H₂O₂ 和 SNP 的浓度呈正相关。但是 ABA 积累对两者的敏感性不同, 低于 100 μmol/L H₂O₂ 处理对叶片 ABA 没有影响, 而 10 μmol/L 的 SNP 足以对叶片 ABA 的合成产生刺激作用 (图 7)。

3 讨论

氧化还原调节与蛋白质的磷酸化一样, 属于蛋白质翻译后调控机制的一种, 也是 NO/ROS 作用的

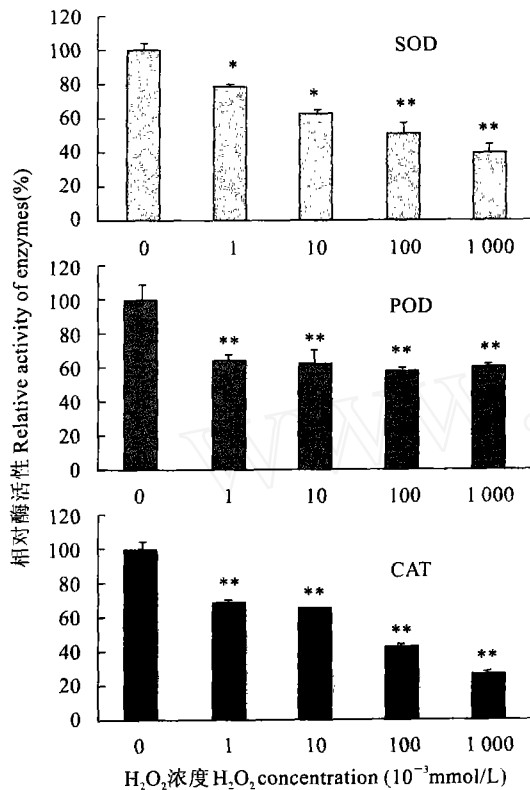


图6 H_2O_2 对小麦根系 POD、CAT、SOD 活性的影响
*、** 分别表示该组数据与 0 min 组数据有显著差异 ($P < 0.05$) 和极显著差异 ($P < 0.01$)。

Fig. 6 POD, CAT and SOD activities in wheat roots plotted with H_2O_2

* and ** mean that the data is significantly ($P < 0.05$) or extremely significantly ($P < 0.01$) different from the ones at zero minute.

主要方式之一^[8,9]。这种作用的主要位点是一些对细胞氧化还原状态敏感的调节蛋白,如转录因子和通道蛋白等^[8,9]。转录因子被 NO/ROS 激活后可以诱导一系列基因的表达,这些基因的产物包括与活性氧清除相关的酶、修复损伤的酶及其它与细胞稳态相关的产物^[9,19]。

虽然已有大量的研究表明干旱胁迫下植物的抗氧化小分子含量和抗氧化酶活性发生剧烈的变化,但很少有研究探讨这种变化是否发生在胁迫初期以及这种变化作为信号的可能性。在非胁迫前,小麦根系的谷胱甘肽主要处于还原态(GSH 占总谷胱甘肽的 72%)(图 1)。脱水导致小麦根系谷胱甘肽含量迅速下降,同时 GSH/GSSG 比值下降,表明在干旱胁迫早期细胞氧化还原状态发生了剧烈的变化,细胞向氧化型转变。虽然没有明确的证据表明脱水胁迫

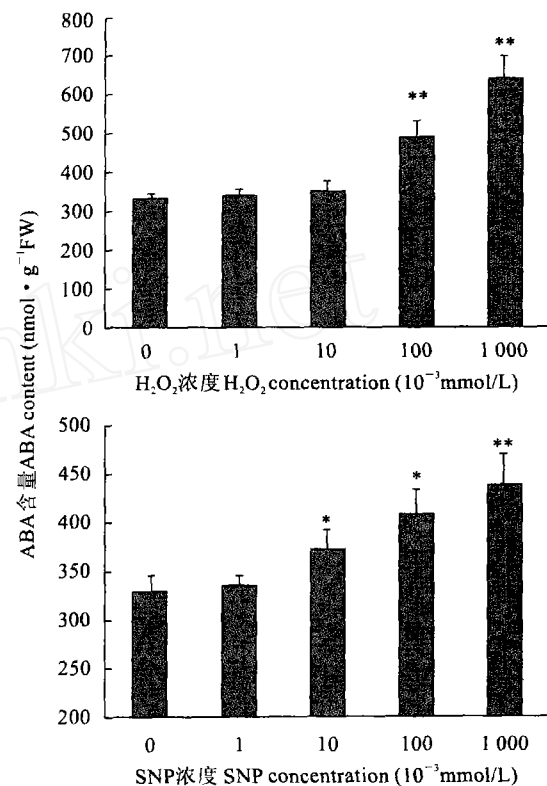


图7 不同浓度 SNP 和 H_2O_2 对小麦叶片脱落酸含量的影响

*、** 分别表示该组数据与 0 min 组数据有显著差异 ($P < 0.05$) 和极显著差异 ($P < 0.01$)。

Fig. 7 ABA content in wheat leaves plotted with SNP and H_2O_2 at different concentration

* and ** mean that the figures is significantly ($P < 0.05$) or extremely significantly ($P < 0.01$) different from the ones at zero minute.

早期一些谷胱甘肽的代谢去向(总谷胱甘肽含量下降),但是由于 SNP 对总谷胱甘肽影响不大(图 2),表明形成 NO 衍生物并不能使总谷胱甘肽含量显著下降。另一方面,虽然 SNP 对总谷胱甘肽影响不大,但是 H_2O_2 (图 3)和一定浓度范围的 SNP 均可明显降低 GSH/GSSG 比值,说明 NO 和 ROS 可以模拟干旱胁迫的作用使植物细胞从还原型向氧化型转变。这些结果也表明,在干旱胁迫及 NO、ROS 处理下小麦根系发生了氧化胁迫。

已有研究表明,在干旱胁迫下,小麦根系谷胱甘肽的氧化还原状态变化与 NOS 和超氧阴离子合酶活性变化基本同步^[6]。考虑到 NO 和 ROS 均可影响谷胱甘肽氧化还原状态,早期干旱胁迫下谷胱甘肽的这种变化可能属于 NO/ROS 信号传递的一部分。这种可能性还有待于进一步的实验证明,因为目前

还没有直接的实验证据排除谷胱甘肽氧化还原状态的改变可以独立于 NO/ROS 之外的信号途径。

与干旱胁迫早期细胞氧化还原状态发生剧烈变化相对应,检测到各种抗氧化酶在 2 h 的胁迫处理过程中也发生振荡变化,并且各种酶活性均在胁迫 40 min 后上升到最高值。抗氧化酶活性的变化可能是对细胞氧化还原状态改变的适应性反应,因为酶活性的变化明显滞后于 GSH/GSSG 比值的变化。

从 GSH/GSSG 的变化看,NO 和 ROS 确实使小麦根系发生了氧化胁迫。但是这种变化并没有在抗氧化酶的反应中得到体现:SNP 和 H₂O₂ 处理没有明显诱导抗氧化酶活性上升的趋势,相反在 H₂O₂ 处理下各种抗氧化酶活性均有所下降。这与以前的大多数报道中得出的结果有很大的差别。在大多数氧化胁迫下各种抗氧化酶的活性都有不同程度的上升,从而减少活性氧造成的细胞损伤,这是细胞对不良环境的一种保护性反应。在本实验获得的数据中,NO 和 H₂O₂ 调节抗氧化酶活性的机理仍不清

楚。离体实验证明,NO 可以通过修饰酶蛋白中的血红素基团而抑制 POD 和 CAT 活性^[20];然而,NO 对活体细胞内的抗坏血酸过氧化活性具有促进作用,即通过调节 APX 基因表达进行^[21]。

与干旱胁迫类似,一定浓度的 NO 和 H₂O₂ 处理能诱导小麦根 ABA 积累(图 7)。结合 NO 和 H₂O₂ 处理对谷胱甘肽的作用以及已发表结果^[6,7],我们认为 NO 和 H₂O₂ 对 ABA 积累的作用可能是通过调节细胞氧化还原状态进行。NO 和 H₂O₂ 通过氧化还原作用调节 ABA 合成的靶分子可能是位于细胞膜外侧含巯基的一些信号传递分子。张大鹏^[22]和贾文锁^[23]的研究表明,NAC、半胱氨酸和二巯代苏糖醇等还原剂抑制水分胁迫诱导 ABA 的积累,同时,蛋白巯基修饰剂碘乙酸和 PCMBs (*p*-chloromercuriphenylsulphonic acid)也能完全抑制水分胁迫诱导 ABA 的积累,后者不能透过细胞质膜。蛋白质可逆磷酸化也可能是该信号途径的一部分^[21]。

参考文献:

- [1] LACHNO D R, BAKER D A. Stress induction of abscisic acid in maize roots[J]. *Physiol. Plant*, 1986, 68, 215—221.
- [2] ZEEVAART J A D, CREELMAN R A. Metabolism and physiology of abscisic acid[J]. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 1988, 39: 439—473.
- [3] LEUNG J, GIRAUDAT J. Abscisic acid signal transduction[J]. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 1998, 49: 199—222.
- [4] GARCIA-MATA C, LAMATTINA L. Abscisic acid, nitric oxide and stomatal closure is nitrate reductase one of the missing links[J]. *Trends in Plant Science*, 2003, 8(1): 20—26.
- [5] NEILL S J, DESIKAN R, CLARKE A, HANCOCK J T. Nitric oxide is a novel component of abscisic acid signaling in stomatal guard cells[J]. *Plant Physiol.*, 2002, 128: 13—16.
- [6] ZHAO Z, CHEN G, ZHANG C. Interaction between reactive oxygen species and nitric oxide in drought-induced abscisic acid synthesis in root tips of wheat seedlings[J]. *Aust. J. Plant Physiol.*, 2001, 28: 1 055—1 061.
- [7] XING H, TAN L L, AN L Z, ZHAO Z G, WANG S M, ZHANG C L. Evidence for the involvement of nitric oxide and reactive oxygen species in osmotic stress tolerance of wheat seedlings; Inverse correlation between leaf abscisic acid accumulation and leaf water loss[J]. *Plant Growth Regulation*, 2004, 42: 61—68.
- [8] KIM S O, MERCHANT K, NUDELMAN R. OxyR: A molecular code for redox related signaling[J]. *Cell*, 2002, 109: 383—396.
- [9] STAMLER J S, FANG F C. Nitrosylation the prototypic redox-based signaling mechanism[J]. *Cell*, 2001, 106: 675—683.
- [10] ITURBE2ORMA ETXE IKESCUREDO P RKARRESE2IGOR CKBECANA M. Oxidative damage in pea plants exposed to water deficit or paraquat[J]. *Plant Physiol.*, 1998, 116: 173—181.
- [11] KUBO A, KAONO M, KNA KAJ IMA N, KSAJ I, HKTANA KA, KKKONDO N. Differential responses in activity of antioxidant enzymes to different environmental stresses in *Arabidopsis thaliana*[J]. *J. Plant Res.*, 1999, 112: 279—290.
- [12] ZHAN G J, XKK IRKHAM M B. Drought stress induced changes in activities of superoxide dismutase catalase and peroxidase in wheat species[J]. *Plant Cell Physiol.*, 1994, 35: 785—791.
- [13] SA IRAM R, KKDESHMU KH P, SKSAXENA D C. Role of antioxidant systems in wheat genotypes to tolerance to water stress[J]. *Biol. Plant*, 1998, 41: 387—394.
- [14] PASQUALINI S, BATINI P, EDERLI L, PORCEDDU A, PICCIONI C, DE MARCHIS F, ANTONIELLI M. Effects of short-term ozone fumigation on tobacco plants; response of the scavenging system and expression of the glutathione reductase[J]. *Plant Cell Environ.*, 2001, 24: 245—252.
- [15] SIES H, AKERBOOM P M. Glutathione disulfide (GSSG) efflux from cells and tissues[A]. Packer L, eds. *Methods in enzymology*[M].

- San Diego: Academic Press, Inc., 1984, 105: 445-451.
- [16] SHAO B C. Comparisons of several methods of SOD activity detecting[J]. *Plant Physiol. Commun.*, 1983, 5: 46-49.
- [17] CAKMAK I, MARSCHNER H. Magnesium deficiency and high light intensity on enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves[J]. *Plant Physiol.*, 1992, 98: 1 222-1 227.
- [18] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. *Anal. Biochem.*, 1976, 72: 248-254.
- [19] SEN C K. Redox signaling and emerging therapeutic potential of thiol antioxidants[J]. *Biochem. Pharmacol.*, 1998, 55: 1 747-1 758.
- [20] CLARK D, DURNER J, NAVARRE D A, KLESSIG D F. Nitric oxide inhibition of tobacco catalase and ascorbate peroxidase[J]. *Mol. Plant-Microbe Interactions*, 2000, 13: 1 380-1 384.
- [21] DE PINTO M C, TOMMASI F, DE GARA L. Changes in the antioxidant systems as part of the signaling pathway responsible for the programmed cell death activated by nitric oxide and reactive oxygen species in tobacco bright-yellow 2 cells[J]. *Plant Physiol.*, 2002, 130: 698-708.
- [22] ZHANG D P(张大鹏), HE F L(何芳莲), JIA W S(贾文锁). Cell biological mechanism for triggering of ABA accumulation under water stress in *Vicia faba* leaves[J]. *Sci. China (Series C) (中国科学)(C辑)*, 2001, 44(4): 421-428(in Chinese).
- [23] JIA W S, ZHANG J H. Water stress-induced abscisic acid accumulation in relation to reducing agents and sulfhydryl modifiers in maize plant[J]. *Plant Cell Environ.*, 2000, 23: 1 389-1 395.
- [24] ZHANG D P(张大鹏), YANG H Q(杨洪强), JIA W S(贾文锁), HUANG C L(黄丛林). Protein phosphorylation is involved in the water stress-induced ABA accumulation in the roots of *Malus hupehensis* Rehd. [J]. *Chinese Sci. Bul.* (科学通报), 2001, 46: 855-858(in Chinese).

《西北植物学报》2005 年刊载论文第一作者信息统计

《西北植物学报》2005 年共发表论文 452 篇(含英文 30 篇)。从所刊载论文第一作者信息统计看,具有博士和硕士学位(含在读博士和在读硕士)的共 366 人,占 75.9%;具有副高以上职称(含在读研究生导师——通讯作者)的共 300 人,占 66.4%;从论文研究与产生单位看,主要来源于大学和中国科学院,大学 352 篇,占 77.9%,中国科学院系统 85 篇,占 18.8%;从年龄方面看,第一作者中 40 岁以下的占 75.9%。由此可以看出,《西北植物学报》2005 年度刊发的论文作者具有厚实的学术研究底蕴,研究单位也具有可靠的条件支持,为保证研究论文的质量和水平以及创新性奠定了良好的基础。具体统计结果如下:

1. 第一作者学位状况

博士 91 人(其中博士后 6 人),占 20.1%;在读博士 71 人,占 15.7%;在读硕士 90 人,占 19.9%;硕士 95 人,占 21.0%。

2. 第一作者职称状况

正高 59 人(教授 42 人,研究员 17 人),占 13.1%;副高 80 人(副教授 52 人,副研究员 22 人,高级实验师 6 人),占 17.7%;中级 55 人(讲师 31 人,助研 24 人),占 12.2%。

由于第一作者中在读博士和硕士研究生的导师(通讯作者)承担着对论文选题、实验设计、实验条件(包括经费)保障、具体实验指导等一系列工作,并对论文负有全部解释的责任,所以这部分论文的实质性作者应为研究生导师——通讯作者,他们均具有副高以上职称。因此,《西北植物学报》2005 年刊发论文第一作者具有副高以上职称的应为 300 人,占论文总数的 66.4%。

3. 第一作者单位分布状况

大学 352 人,占 77.9%;研究所 100 人,占 22.1%(其中中国科学院系统研究所 85 人,占 18.8%)。

4. 第一作者年龄结构

30 岁以下的 179 人,占 39.6%;30~40 岁的有 164 人,占 36.3%;40 岁以上的 109 人,占 24.1%。

(南红梅 供稿)