

DOI:10.11937/bfyy.201622021

过氧化氢清除剂对 H_2O_2 处理下中国石竹幼苗不同器官抗氧化系统的影响

张倩倩, 蔚 潇, 贺学勤

(内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘 要:以中国石竹为试材,采用 $25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 二甲基硫脲(dimethylthiourea,DMTU)和 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 二苯基氯化碘盐(diphenyleneiodonium chloride,DPI)对其幼苗预处理 2 h 后再置于 $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{O}_2$ 中处理 6 h,测定 DMTU 和 DPI 预处理对 H_2O_2 处理下中国石竹幼苗不同器官的 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量以及相关清除酶活性的方法,探究减少 H_2O_2 含量对氧化胁迫下石竹幼苗生理活性的影响,以期为石竹抗逆栽培提供理论依据。结果表明: $25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DMTU 和 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DPI 预处理降低了正常条件下叶片和根的 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量,且在根中达显著差异水平($P<0.5$); $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的外源 H_2O_2 处理显著增加了叶中 H_2O_2 含量和根中 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量($P<0.5$), $25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DMTU 和 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DPI 预处理则降低了 $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{O}_2$ 处理下叶片和根部的 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量; $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的外源 H_2O_2 处理显著增加了叶片 SOD 活性和根部 SOD、APX 活性($P<0.5$), $25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DMTU 和 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DPI 预处理降低了 $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{O}_2$ 处理下石竹叶中 SOD、APX 活性,且 $25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DMTU 预处理显著降低了根部的 APX 活性($P<0.5$),表明降低 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量可降低相应清除酶的活性。因此,外施 DMTU 和 DPI 能不同程度缓解 H_2O_2 处理导致的内源 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量的积累,且 $25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DMTU 清除 H_2O_2 的效果比 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DPI 好。

关键词:中国石竹;过氧化氢;DMTU;DPI;清除酶

中图分类号:S 681.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)22-0082-05

活性氧(reactive oxygen species,ROS)是植物细胞各种代谢的产物,包括过氧化氢(H_2O_2)、超氧阴离子自由基($\text{O}_2^{\cdot-}$)、过氧化自由基(ROO^{\cdot})和羟基自由基($\cdot\text{OH}$)等^[1-2]。其中 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 作为细胞内的信号分子,在不同细胞代谢中的作用不同^[3-4]。植物处于不同的胁迫状态下均会引起 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的过量产生,导致氧化胁迫反应的发生。如镉胁迫下蚕豆幼苗、白菜叶片中的 H_2O_2 含量增加且 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率提高^[5-6];盐胁迫下大麦和草莓叶片中的 H_2O_2 含量上升,且幼苗相对生长量明显低于对照^[7-8];PEG 6000 模拟的干旱胁迫下,金心吊兰和野生型全绿吊兰中的 H_2O_2 含量随 PEG 浓度增加及

胁迫时间的延长而上升^[9],小麦幼苗叶片中的 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率显著增加,SOD 活性和 CAT 活性显著下降,植株幼苗株高、根长和干质量下降^[10];低温胁迫下番茄幼苗根中 H_2O_2 含量增加且超氧阴离子产生速率显著升高^[11],高温胁迫显著提高了鸭梨果实内 H_2O_2 的含量^[12]。因此,清除植物体内多余的 H_2O_2 ,降低 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率很有必要。

二甲基硫脲(dimethylthiourea,DMTU)作为 H_2O_2 的淬灭剂^[13],可部分清除由外源亚精胺引起的玉米根系 H_2O_2 的产生并延缓根系生长所受到的抑制^[14];可减少丹参细胞内 H_2O_2 含量,且 $700 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 DMTU 可完全抑制其细胞内 H_2O_2 的产生^[15]。ROS 在质膜 NADPH 氧化酶的作用下使 O_2 形成 $\text{O}_2^{\cdot-}$, $\text{O}_2^{\cdot-}$ 发生歧化作用进而生成 H_2O_2 ^[16],二苯基氯化碘盐(diphenyleneiodonium chloride,DPD)作为 NADPH 酶抑制剂,在植物中已被用于减少 ROS 的产生^[17-18],可抑制 ABA 诱导下水稻细胞中 H_2O_2 含量的增加^[19];减少玉米叶片伸长区 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量的积累^[20]。

第一作者简介:张倩倩(1992-),女,硕士研究生,研究方向为园艺植物逆境生理。E-mail:280393636@qq.com.

责任作者:贺学勤(1970-),女,博士,副教授,现主要从事园艺植物逆境生理等研究工作。E-mail:xueqinhe@imau.edu.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31260486);中国农业大学-内蒙古农业大学合作基金资助项目(ZN201102)。

收稿日期:2016-07-26

中国石竹(*Dianthus chinensis* L.)属石竹科石竹属多年生草本植物,由于其观赏价值高且对于旱、盐碱性、重金属等有较强的耐受性^[21-23],因此被广泛应用于北方地区园林绿化中^[24-25]。该试验采用DMTU和DPI对石竹幼苗进行预处理,通过研究不同H₂O₂清除剂预处理后外源H₂O₂处理下石竹幼苗不同器官中H₂O₂含量和O₂⁻含量以及相关清除酶活性的变化,探究减少H₂O₂含量对氧化胁迫下石竹幼苗生理活性的影响,以期对石竹抗逆栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

将子粒饱满的中国石竹种子播于装有蛭石且浇透水的钵中,播种深度0.5 cm左右,在植物光照培养箱中进行培养(22℃,16 h光照/20℃,8 h黑暗),待幼苗长出2片真叶后采用1/10 MS营养液和水间隔浇。待幼苗长到6片真叶时,将幼苗根部清洗干净,备用。

1.2 试验方法

将根部清洗干净的石竹幼苗置于带有通气装置的1/10 MS营养液中进行平衡培养2 d。然后挑选长势一致的6片石竹幼苗真叶,将根部分别浸入蒸馏水、3 mmol·L⁻¹ DPI和25 mmol·L⁻¹ DMTU中预处理2 h,然后用蒸馏水清洗根部,在滤纸上吸取多余水分后放入5 mmol·L⁻¹ H₂O₂中进行处理,6 h后取出幼苗,用蒸馏水冲洗3~5次,分别收集叶片和根部用于以下指标的测定。每处理3次重复,每次重复40株幼苗。

1.3 项目测定

H₂O₂含量测定参照刘俊等^[26]的方法,在415 nm下测定吸光度值;超氧阴离子含量测定参照王爱国等^[27]的方法,在530 nm下测定吸光度值;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)还原法测定^[28],以抑制NBT光化学还原的50%为一个酶活性单位(U);过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚显色法测定^[29],以每分钟内470 nm下的光密度变化0.10为一个酶活性单位(U);抗坏血酸氧化酶(APX)活性参照NAKANO等^[30]的方法测定,酶活性以μmol·min⁻¹·mg⁻¹ Pro表示。

1.4 数据分析

试验数据采用Microsoft Excel 2007软件作图,并用SAS软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同H₂O₂清除剂对石竹幼苗正常条件下H₂O₂和超氧阴离子含量的清除效果

图1A结果表明,在石竹叶片中,DMTU和DPI处理2 h后H₂O₂含量低于CK,但差异不显著;在根中,与CK相比,DMTU和DPI处理下H₂O₂含量分别显著下降了33.33%和66.67%。由图1B可知,叶片中DMTU和DPI处理下超氧阴离子含量均高于CK,但差异不显著,而在根中,超氧阴离子含量则表现为DMTU和DPI处理下的均低于CK,其中DPI处理下的差异显著。上述结果表明DMTU和DPI处理对正常生长条件下石竹根中的H₂O₂和超氧阴离子含量有清除作用,但对叶的作用则不明显。

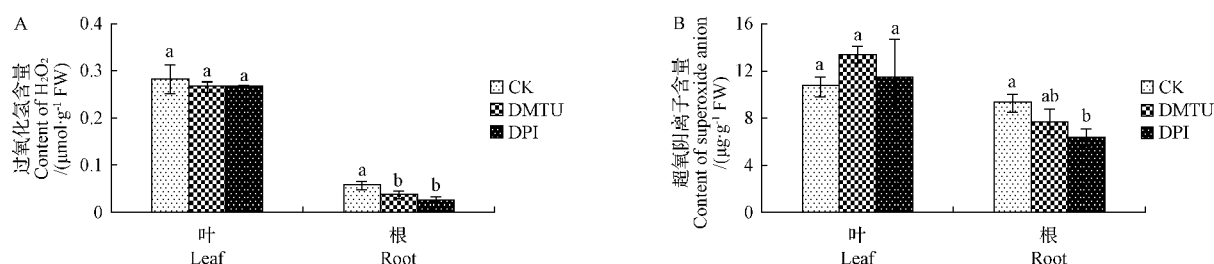


图1 不同清除剂对石竹正常条件下不同器官中H₂O₂含量(A)和超氧阴离子含量(B)的影响

Fig. 1 Effect of hydrogen peroxide traps on contents of H₂O₂ (A) and superoxide anion (B) in different organs of *Dianthus chinensis* L. under normal conditions

2.2 不同H₂O₂清除剂对H₂O₂处理下石竹不同器官中H₂O₂和超氧阴离子含量的影响

与CK相比,H₂O₂处理下石竹幼苗叶片中H₂O₂含量显著高出CK 45.45%;与未预处理的相比,经DMTU、DPI预处理后的石竹幼苗叶片中的H₂O₂含量显著降低,分别低43.75%和31.25%,但DMTU与DPI间差异不显著,DMTU、DPI预处理后与CK相比差异不显著;在根中表现为H₂O₂处理下最高,DPI次之,DMTU第三,CK最低,但各处理间差异不显著(图2A)。通过比

较超氧阴离子含量发现,H₂O₂处理下叶片中超氧阴离子含量高于CK,与未预处理的相比,DMTU和DPI预处理后的超氧阴离子含量均降低,但差异不显著;与CK相比,H₂O₂处理下根中超氧阴离子含量显著高出CK 65.68%,经DMTU、DPI预处理后其含量均低于未预处理下的,其中DMTU预处理的显著低于未预处理的18.97%,DPI预处理的显著高于CK(图2B)。上述结果表明,H₂O₂处理会导致石竹叶片和根部的H₂O₂和超氧阴离子含量增加,采用H₂O₂清除剂预处理后均可降

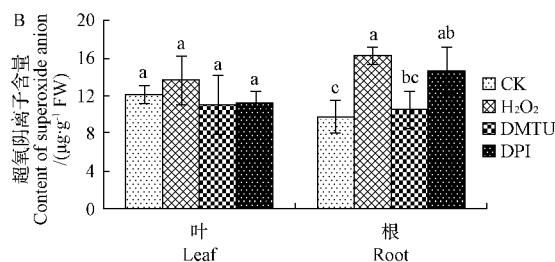
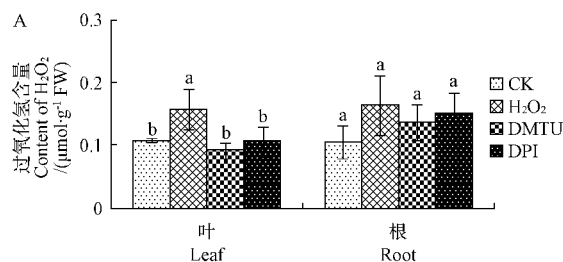


图2 不同清除剂对 H₂O₂ 处理下石竹不同器官 H₂O₂ 含量(A)和超氧阴离子(B)含量的影响

Fig. 2 Effect of hydrogen peroxide traps on contents of H₂O₂ (A) and superoxide anion (B) in different organs of *Dianthus chinensis* L. under H₂O₂ treatment

低二者的含量,但器官不同降低程度不同,从清除效果看 DMTU 的作用效果优于 DPI 的。

2.3 不同 H₂O₂ 清除剂对 H₂O₂ 处理下石竹不同器官 SOD 活性的影响

超氧化物歧化酶(SOD)是植物处于逆境中最主要的一种抗氧化酶,它可以及时清除自由基和 ROS,提高植物组织的抗氧化能力。由图 3 可知,H₂O₂ 处理下石竹叶片 SOD 活性显著高出 CK 68.65%,与未预处理相比,DMTU 和 DPI 预处理均降低了 SOD 活性,其中 DMTU 的显著降低了 35.80%,DMTU、DPI 预处理与 CK 相比差异不显著;在根中 SOD 活性表现为 H₂O₂ 处理显著高出 CK 16.37%,DMTU 和 DPI 预处理高于未预处理的,但差异不显著,与 CK 相比,DMTU 和 DPI 预处理显著提高了 SOD 活性。H₂O₂ 处理导致石竹幼苗叶片和根部 SOD 活性显著增高,DMTU 和 DPI 预处理可降低叶片中的 SOD 活性,但对根部的 SOD 活性无显著作用。

2.4 不同 H₂O₂ 清除剂对 H₂O₂ 胁迫下石竹不同器官 H₂O₂ 清除酶活性的影响

从图 4 可以看出,过氧化物酶(POD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)均是清除 H₂O₂ 的主要酶类。H₂O₂ 处理下,无论预处理与否,叶中的 POD 活性均高于 CK,但差异不显著;根部除 DMTU 预处理外,其余均略高于

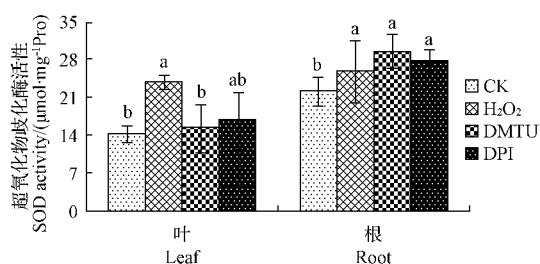


图3 不同清除剂对 H₂O₂ 处理下石竹不同器官 SOD 活性的影响

Fig. 3 Effect of hydrogen peroxide traps on SOD activity in different organs of *Dianthus chinensis* L. under H₂O₂ treatment

APX 活性升高,比 CK 高出 47.64%,DMTU 和 DPI 预处理后的均低于未预处理的,但差异不显著;根部 H₂O₂ 处理下的 APX 活性显著高出 CK 76.00%,与未预处理的相比,DMTU 预处理显著降低了 APX 活性,DPI 预处理则无明显作用,与 CK 相比,DPI 预处理显著提高了 APX 活性。H₂O₂ 处理对石竹叶片和根部的 POD 活性无显著影响,且 H₂O₂ 清除剂对 POD 无作用。H₂O₂ 处理提高了石竹幼苗叶片和根部 APX 活性,DMTU 预处理可显著降低根部的 APX 活性,DPI 预处理对 APX 的作用不显著。

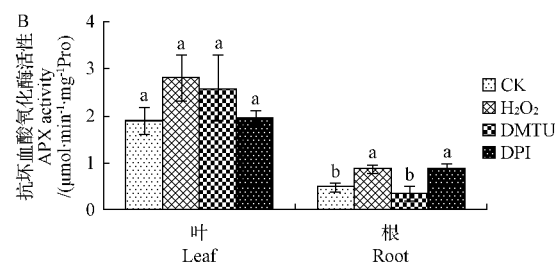
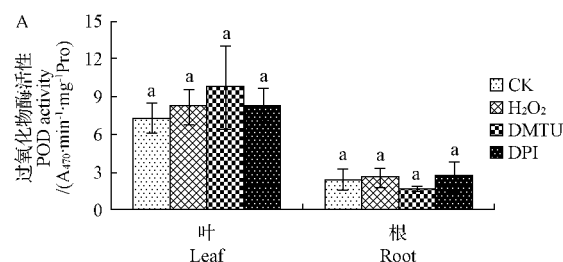


图4 不同清除剂对 H₂O₂ 处理下石竹不同器官 POD(A)和 APX 活性(B)的影响

Fig. 4 Effect of hydrogen peroxide traps on activities of POD (A) and APX (B) activity in different organs of *Dianthus chinensis* L. under H₂O₂ treatment

3 讨论

二甲基硫脲(DMTU)和二苯基氯化碘盐(DPI)均可减少 H_2O_2 的产生。随 DMTU 浓度的增加抑制丹参培养细胞中 H_2O_2 产生的程度加强^[15]。DPI 处理可抑制玉米叶片伸长区 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的积累^[20]。表明 DMTU 和 DPI 对植物体内的 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的产生有清除作用。该研究也证实 DMTU 和 DPI 作为 H_2O_2 的外源清除剂,对正常条件下石竹叶片和根中的 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量均有清除作用,且在根中的清除效果更为显著。

10 mmol·L⁻¹ H_2O_2 处理可显著提高山豆叶片中的 H_2O_2 含量^[31],20 mmol·L⁻¹ H_2O_2 喷洒香蕉果实能促进香蕉果皮中内源 H_2O 含量的积累^[32],该试验中石竹幼苗根部经 5 mmol·L⁻¹ 的外源 H_2O_2 处理后,叶片和根部中的 H_2O_2 含量和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量均增加,这与前人研究结果一致。邱宗波等^[10]、李金亭等^[33]发现外源施加一定浓度的 H_2O_2 可提高水分胁迫下小麦幼苗的 SOD、POD 活性和盐胁迫下小麦叶片中的 SOD、POD、APX 活性,该研究结果证明外源 H_2O_2 提高了石竹幼苗根部和叶片 SOD、POD 和 APX 活性,这与上述结果一致。SOD、POD 和 APX 等是 ROS 清除系统的重要保护酶,外源 H_2O_2 增加了石竹不同器官中 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的含量,进而导致相应清除酶活性增加,但增加的程度与酶的种类有关。

胁迫状态会引起 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的过量产生,进而导致氧化胁迫反应的发生。因此,有必要对其过量产生的部分进行清除。外源 5 mmol·L⁻¹ DMTU 可清除 PEG 6000 模拟低水势下玉米初生根中 H_2O_2 的积累^[34]。DPI 可明显抑制豌豆幼苗由伤害和外施茉莉酸(JA)诱导的 H_2O_2 形成^[35];可降低 ABA 诱导下玉米幼苗中 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的产生速率^[36]。5 mmol·L⁻¹ DMTU 处理瓶插月季可显著降低其花瓣的 APX 和 POD 活性^[37]。DPI 处理可降低 ABA 诱导下玉米幼苗的 SOD 活性和 APX 活性^[36],该试验中,与外源 H_2O_2 诱导产生的 H_2O_2 含量和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量相比,DMTU 和 DPI 预处理均降低了 H_2O_2 含量和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量,但器官不同降低程度不同,这与前人结果一致。与未预处理相比,DMTU 和 DPI 预处理后均降低了 H_2O_2 处理下石竹叶 SOD、APX 活性,且 DMTU 预处理显著降低了根部的 APX 活性,表明降低 H_2O_2 含量和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 含量可降低相应清除酶的活性。上述结果进一步表明 DMTU 和 DPI 对 H_2O_2 有清除作用,可以减轻 H_2O_2 处理下植物遭受的伤害。2 种清除剂相比,DMTU 的清除效果持续更明显。

4 结论

该研究结果表明,DMTU 和 DPI 作为 H_2O_2 清除剂可缓解氧化胁迫导致的 H_2O_2 和 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 增加而引起的植株

伤害,其中在 H_2O_2 处理下 DMTU 清除 H_2O_2 的效果较好。

参考文献

- [1] GABBITA S P, ROBINSON K A, STEWART C A, et al. Redox regulatory mechanisms of cellular signal transduction[J]. Arch Biochem Biophys, 2000, 376(1): 1-13.
- [2] HANCOCK J T, DESIKAN R, NEILL S J. Role of reactive oxygen species in cell signalling pathways[J]. Biochemical Society Transactions, 2001, 29(2): 345-349.
- [3] SCANDALIOS J G. The rise of ROS[J]. Trends in Biochemical Sciences, 2002, 27(9): 483-486.
- [4] 张怡, 路铁刚. 植物中的活性氧研究概述[J]. 生物技术进展, 2011, 1(4): 242-248.
- [5] 孙光闻, 朱祝军, 方学智. 镉对白菜活性氧代谢及 H_2O_2 清除系统的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 2012-2015.
- [6] 李源, 李金娟, 魏小红. 镉胁迫下蚕豆幼苗抗氧化能力对外源 NO 和 H_2O_2 的响应[J]. 草业学报, 2009, 18(6): 186-191.
- [7] 陈文利, 徐朗莱, 沈文彪, 等. 盐胁迫下两品种大麦叶片 H_2O_2 累积及其清除酶活性的变化[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(2): 97-100.
- [8] 颜志明, 魏跃, 贾思振, 等. 盐胁迫对草莓抗氧化系统和离子吸收的影响[J]. 北方园艺, 2013(9): 1-4.
- [9] 贾学静, 董立花, 丁春邦, 等. 干旱胁迫对金心吊兰叶片活性氧及其清除系统的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(5): 248-255.
- [10] 邱宗波, 孙立, 李金亭, 等. 外源过氧化氢对小麦水分胁迫伤害的防护作用研究[J]. 植物研究, 2010, 30(3): 294-298.
- [11] 李天来, 高晓倩, 刘玉凤. 夜间低温胁迫下钙对番茄幼苗根系活力及活性氧代谢的调控作用[J]. 西北农业学报, 2011, 20(8): 127-132.
- [12] 李英丽, 李晓光, 刘水林, 等. 高温下光照变化对鸭梨果实抗氧化物质变化规律的影响[J]. 北方园艺, 2016(6): 28-31.
- [13] CASANO L M, MARTÍN M, SABATER B. Hydrogen peroxide mediates the induction of chloroplastic Ndh complex under photooxidative stress in barley[J]. High Performance Polymers, 2013, 26(3): 357-363.
- [14] ZACCHINI M D, AGAZIO M D. Dimethylthiourea, a hydrogen peroxide trap, partially prevents stress effects and ascorbate peroxidase increase in spermidine-treated maize roots[J]. Plant, Cell and Environment, 2001, 24(2): 237-244.
- [15] 陈红艳, 刘连成, 董娟娥, 等. H_2O_2 参与水杨酸诱导丹参培养细胞中丹酚酸 B 合成的信号转导[J]. 生物工程学报, 2012, 28(7): 834-846.
- [16] GEORGIA T, ATHANASSIOS M, GRIGORIOS D. Hydrogen peroxide and nitric oxide-induced systemic antioxidant prime-like activity under NaCl-stress and stress-free conditions in citrus plants[J]. Journal of Plant Physiology, 2009, 166(17): 1904-1913.
- [17] FRAHRY G, SCHOPFER P. Inhibition of $\text{O}_2^{\cdot-}$ reducing activity of horseradish peroxidase by diphenyleiiodonium[J]. Phytochemistry, 1998, 48(2): 223-227.
- [18] SCHOPFER P, FRAHRY G P C. Release of reactive oxygen intermediates (superoxide radicals, hydrogen peroxide, and hydroxyl radicals) and peroxidase in germinating radish seeds controlled by light, gibberellin, and abscisic acid[J]. Plant Physiology, 2001, 125(4): 1591-1602.
- [19] HUNG K T, DENG G C, YI T H, et al. Abscisic acid-induced hydrogen peroxide is required for anthocyanin accumulation in leaves of rice seedlings[J]. Journal of Plant Physiology, 2008, 165(12): 1280-1287.
- [20] RODRIGUEZ A A, GRUNBERG K A, TALEISNIK E L. Reactive oxygen species in the elongation zone of maize leaves are necessary for leaf

extension[J]. Plant Physiology, 2002, 129(4): 1627-1632.

[21] HE X Q, DU D J, SHAO M Z H, et al. Effect of salt and water stress on germination of *Dianthus chinensis* L. [C]//ZHANG Y. (Ed), Academic Conference on Horticulture Science and Technology, Academy Service Group Ltd., London, 2009: 60-63.

[22] HE X Q, ZHUANG L X, GAO X Y, et al. Growth responses to NaCl and H_2O_2 stress in *Dianthus chinensis* L. seedling[C]//ZHANG Y (Ed.), The 2nd Conference on Horticulture Science and Technology. Academy Service Group Ltd., London, 2010: 126-130.

[23] 贺靖舒, 丁继军, 潘远智, 等. 石竹对土壤镉胁迫的生理生化响应[J]. 四川农业大学学报, 2013, 31(3): 290-295.

[24] KANTIA A, KOTHARI S L. High efficiency adventitious shoot bud formation and plant regeneration from leaf explants of *Dianthus chinensis* L. [J]. Scientia Horticulturae, 2002, 96(1-4): 205-212.

[25] SPARNAAIJ L D, PUTTEN K V. Selection for early flowering in progenies of interspecific crosses of ten species in the genus *Dianthus* [J]. Euphytica, 1990, 50(5): 211-220.

[26] 刘俊, 吕波, 徐朗莱. 植物叶片中过氧化氢含量测定方法的改进[J]. 生物化学与生物物理进展, 2000, 27(5): 548-551.

[27] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学报, 1990, 31(6): 55-57.

[28] BEAUCHAMP C, FRIDOVICH I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels[J]. Analytical Biochemistry, 1971,

44(1): 276-287.

[29] KURODA M, OAIWA T, IMAGAWA H. Changes in chloroplast peroxidase activities in relation to chlorophyll loss in barley leaf segments[J]. Physiologia Plantarum, 1990, 80(4): 555-560.

[30] NAKANO Y, ASADA K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts [J]. Plant and Cell Physiology, 1981, 22(5): 867-880.

[31] 蒋景龙. H_2O_2 胁迫对山豆生理生化指标的影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(2): 243-248.

[32] 庞学群, 潘少丽, 王海波, 等. 过氧化氢在香蕉果实采后耐冷性诱导中的作用[J]. 园艺学报, 2007, 34(6): 1373-1378.

[33] 李金亭, 赵萍萍, 邱宗波, 等. 外源 H_2O_2 对盐胁迫下小麦幼苗生理指标的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(9): 1796-1801.

[34] 李晶, 蒋明义, 张阿英, 等. H_2O_2 参与低水势下 ABA 维持玉米初生根的生长[J]. 南京农业大学学报, 2008, 31(1): 6-10.

[35] 刘艳, 黄卫东, 战吉成, 等. 机械伤害和外源茉莉酸诱导豌豆幼苗 H_2O_2 系统性产生[J]. 中国科学: 生命科学, 2004, 34(6): 501-509.

[36] JIANG M Y, ZHANG J H. Cross-talk between calcium and reactive oxygen species originated from NADPH oxidase in abscisic acid-induced antioxidant defence in leaves of maize seedlings[J]. Plant, Cell and Environment, 2003, 26(6): 929-939.

[37] 贺学勤, 张聪超. DMTU 对瓶插月季花瓣中抗氧化酶和蔗糖代谢酶活性的影响[J]. 作物杂志, 2013, 37(2): 91-95.

Influence of Hydrogen Peroxide Traps on Antioxidant System in Different Organs of *Dianthus chinensis* L. Under H_2O_2 Treatment

ZHANG Qianqian, YU Xiao, HE Xueqin

(Agronomy Faculty, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019)

Abstract: Taking *Dianthus chinensis* L. as material, with $25\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DMTU and $3\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DPI for 2 hours were pretreated and $5\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ H_2O_2 for 6 hours were treated, then the contents of H_2O_2 and $O_2^{\cdot-}$ and related enzyme activity were measured, the influence of reducing H_2O_2 content on physiological activity under oxidative stress in *Dianthus chinensis* L. seedlings were studied, in order to provide theoretical basis for cultivation of *Dianthus chinensis* L. under adversity. The results showed that the contents of H_2O_2 and $O_2^{\cdot-}$ in the leaves and roots were reduced by pretreatment of $25\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DMTU and $3\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DPI under normal conditions and levels of reduce were significant in the roots ($P < 0.05$); treatment with $5\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ H_2O_2 led to the significant increase of the content of H_2O_2 in leaves and the content of $O_2^{\cdot-}$ in roots ($P < 0.05$), but pretreatment with $25\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DMTU and $3\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DPI declined both in the two organs; the enzyme activities of SOD in leaves and SOD, APX in roots increased significantly under $5\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ H_2O_2 treatment ($P < 0.05$), but the enzyme activities of SOD and APX in leaves were declined by pretreatments of $25\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DMTU and $3\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DPI and the enzyme activity of APX in roots was significantly declined by pretreatments of $25\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DMTU ($P < 0.05$), it suggested that the contents of H_2O_2 and $O_2^{\cdot-}$ had positive relations with the activities of their scavenger enzymes. Therefore, DMTU and DPI could alleviate the accumulation of H_2O_2 and $O_2^{\cdot-}$ content induced by H_2O_2 treatment with different levels, and the former had the better effect of alleviation.

Keywords: *Dianthus chinensis* L.; hydrogen peroxide; dimethylthiourea; diphenyleneiodonium chloride; scavenger enzymes