

DOI:10.11937/bfyy.201623028

外源硫化氢对康乃馨切花叶绿素荧光参数和抗氧化酶活性的影响

姜倩倩, 张保仁, 汪承建, 李田田, 刘俊杰

(潍坊学院 山东省高校生物化学与分子生物学重点实验室, 山东 潍坊 201061)

摘要:以康乃馨(*Dianthus caryophyllus* L.)切花为试材,瓶插液中加入不同浓度的硫化氢(H_2S)供体硫氢化钠($NaHS$),以蒸馏水处理为对照,研究 H_2S 对康乃馨叶片叶绿素荧光参数和抗氧化酶活性的影响,以期探讨外源硫化氢(H_2S)对康乃馨切花保鲜的调控机理。结果表明:在康乃馨切花衰老过程中,叶片叶绿素含量、可溶性糖含量降低,暗下光系统II最大光化学效率(F_v/F_m)、潜在活性(F_v/F_o)、光下实际光化学效率 $\Phi PSII$ 降低。与对照相比,适宜浓度的 $NaHS$ 溶液能延长切花寿命,增大花径,增加叶片可溶性糖、叶绿素含量, F_v/F_m 、 F_v/F_o 、 $\Phi PSII$ 明显升高。其中,以 $600 \mu mol \cdot L^{-1} NaHS$ 溶液处理的效果最好。瓶插第4天 $600 \mu mol \cdot L^{-1} NaHS$ 溶液处理的丙二醛(MDA)含量显著低于对照,而超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性显著高于对照。可见,外源 H_2S 可增强康乃馨切花衰老时活性氧清除能力,减轻叶片光合结构的伤害,延长花期,提升观赏价值。

关键词:硫化氢;康乃馨;叶绿素荧光;抗氧化酶

中图分类号:S 681.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)23-0124-05

康乃馨(*Dianthus caryophyllus* L.)属石竹科(Caryophyllaceae)石竹属(*Dianthus*)多年生草本花卉,又名香石竹,其花色绚丽,花姿高雅,气味芳香,是世界四大切花之一,有较高的观赏和经济价值,在国内外广为栽培。康乃馨切花脱离植物母体后,由于有机营养、水分和无机盐的消耗与供给失调,微生物的侵入等引起叶片与花朵衰老,品质下降,或花蕾不能开放,失去观赏价值^[1]。但切花从母体植物上切割下来后,花枝上叶片仍有能力进行光合作用,为切花代谢提供碳水化合物。在之后的切花衰老进程中,叶片叶绿素降解,表现褪绿黄化,光合作用逐渐减弱,这些变化会导致叶绿素荧光的释放^[2]。叶绿素荧光动力学及其参数是以植物组织中的叶绿素为内在探针的快速、无损伤检测叶绿素光合反应能力的理想方法,常被用作评价叶片PSII生理状况的主要参数,因此叶绿素荧光参数的变化被广泛应用于蔬菜、果实组织和植物叶片衰老进程的研究^[3]。

近年来,越来越多的研究表明,硫化氢(hydrogen sulfide, H_2S)在动、植物体中是继一氧化氮(NO)和一氧化碳(CO)之后的又一种气体信号分子,能参与一系列生理和病理性调节功能^[4]。周超凡等^[5]研究发现,低温胁迫可使日光温室黄瓜体内的L-/D-半胱氨酸脱巯基酶(CDes)的活性升高,内源 H_2S 含量增加,外源施加 H_2S 供体硫氢化钠($NaHS$)可增强活性氧清除能力,减轻低温对黄瓜叶片光合机构的伤害,提高黄瓜产量。许多试验也证明, H_2S 可缓解非生物胁迫条件下植物体所遭受的氧化损伤^[6-7],通过促进叶绿体的生物合成和提高光系统酶的表达功能来增强植物体的光合作用等^[8]。 H_2S 作为果蔬、花卉保鲜剂已被ZHANG等^[9]研究证实,但以叶绿素荧光参数变化为探针,检测叶绿素光合反应能力,研究切花衰老进程的报道则较少。现以康乃馨切花为试材,探讨 $NaHS$ 溶液瓶插处理对康乃馨切花瓶插寿命、观赏品质、叶绿素荧光参数和抗氧化酶活性的影响,以期 H_2S 在康乃馨切花及其它切花保鲜上的应用提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择发育状况相对一致、健壮、无病虫害和无机械损害的康乃馨初绽花枝为试材。花枝瓶插前在水中进

第一作者简介:姜倩倩(1983-),女,博士,讲师,现主要从事果树逆境生理与分子生物学等研究工作。E-mail:jiangqq5238@163.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31301733);潍坊市科技发展规划项目(20121303);潍坊学院博士基金资助项目(2012BS18)。

收稿日期:2016-09-21

行修剪,以 45°角剪花枝,保留花茎长度为 25 cm,叶片 8 片,置于去离子水中进行复水处理 24 h 后备用。

1.2 试验方法

瓶插液分别为对照(蒸馏水)和 100、200、400、600、800、1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 6 个浓度的 NaHS 溶液,每个三角瓶中装有各处理瓶插液 200 mL,花枝浸入深度约为 5 cm,每瓶 5 枝花,每处理 3 次重复。置于无直射光照射的通风透光的室内,室温保持在 25 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度保持在 50%~70%,每 2 d 更换 1 次处理液。

1.3 项目测定

1.3.1 瓶插寿命 以花瓣失水萎蔫、发生褐变或发生垂头现象,失去观赏价值作为瓶插寿命结束的标志,记录瓶插开始到结束的时间。

1.3.2 花径大小 每天上午同一时间用游标卡尺测定花径,采用十字测量法,测每枝花的最大花径,取其平均值。

1.3.3 可溶性糖含量 采用苯酚法测定瓶插第 4 天各处理叶片和花瓣的可溶性糖含量。

1.3.4 叶绿素含量 参考赵世杰等^[10]的方法测定瓶插初始和瓶插第 4 天各处理叶片的叶绿素含量。

1.3.5 叶绿素荧光参数 采用 Imaging-PAM 调制荧光成像系统(德国, Walz),检测瓶插初始和瓶插第 4 天各处理康乃馨叶片叶绿素荧光诱导动力学参数最大荧光(F_m)、初始荧光(F_o)、实际光合量子产量(ΦPSII)等,并计算相关可变荧光参数 F_v/F_m 、 F_v/F_o 。

1.3.6 丙二醛(MDA)含量和抗氧化酶活性测定 MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸显色法^[10];超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑还原法,过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法,过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外吸收法,每处理 3 次重复。

1.4 数据分析

采用 SPSS 和 Excel 2010 软件进行数据统计分析和绘制图表。

2 结果与分析

2.1 外源 NaHS 对康乃馨切花瓶插寿命的影响

由观察的试验结果及图 1 可知,与对照相比,经过 100~800 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 溶液处理的康乃馨鲜切花瓶插寿命、观赏效果都得到了一定幅度的提高。其中 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理的差异不显著($P>0.05$),400、600、800 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理下,花的寿命分别比对照延长了 54.54%、83.84% 和 50.51%,差异显著($P<0.05$),600 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理效果最佳,观赏期比对照延长了 7 d。在高浓度的 1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 溶液中,鲜切花的寿命比对照组减少,且观赏后期的康乃馨切花花瓣褐变、失水严重,外部花瓣翻卷,花茎也由于失水过多渐渐萎蔫,保鲜效果最差。

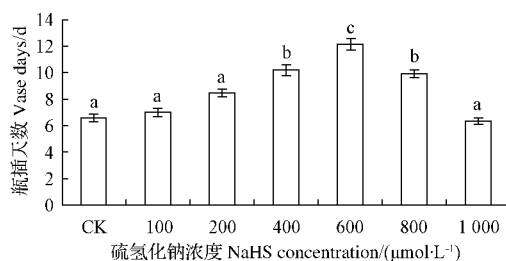


图 1 外源 NaHS 对康乃馨切花瓶插寿命的影响

Fig. 1 Effect of exogenous NaHS on the vase life of cutting *Dianthus caryophyllus* L.

2.2 外源 NaHS 对康乃馨切花花径大小的影响

切花花径是影响鲜切花观赏价值的重要因素之一,可反映花朵开放进程。由图 2 以及试验的观察结果可知,自瓶插开始,各处理组鲜切花逐渐开放,花径呈先增加后减少的趋势。总体来看,对照组和 100、1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 溶液中的花朵开放最快,在瓶插第 3 天达到最大花径,200 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 溶液中花朵在瓶插第 4 天达到最大花径,400、600、800 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 溶液中花朵在瓶插第 6 天达到了鲜切花开放高峰期;开放高峰期后各处理鲜切花花径的长度减小,一直到瓶插结束。在瓶插后期,400、600、800 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 溶液中花朵的花径明显高于对照。

就各处理下最大花径而言,600 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 溶液瓶插使花朵最大花径比对照增加了 15.85%,但 1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 溶液中鲜切花的最大花径比对照减少了 9.41%,其它各处理组中鲜切花的最大花径与对照基本一致。

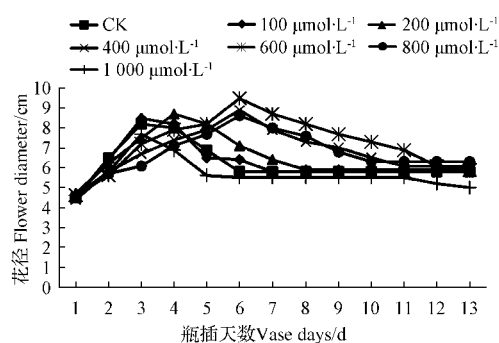


图 2 外源 NaHS 对康乃馨切花花径大小的影响

Fig. 2 Effect of exogenous NaHS on the flower diameter of cutting *Dianthus caryophyllus* L.

2.3 外源 NaHS 对康乃馨切花可溶性糖含量的影响

植物离开母体后,进行生理活动所需的能量由糖直接提供。图 3 表明,在瓶插第 4 天,各处理中花瓣的含糖量显著高于叶片,在一定浓度范围内,随着 NaHS 浓度的升高康乃馨花瓣的含糖量逐渐升高,在 NaHS 浓度为 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时花瓣含糖量最高,之后,随着 NaHS 浓

度的升高,花瓣含糖量急剧下降,在 $1\ 000\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHS 溶液中,鲜切花花瓣的含糖量低于对照。各处理中叶片含糖量的变化趋势与花瓣基本一致, $600\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHS 溶液中叶片的可溶性糖含量是对照的 2 倍。

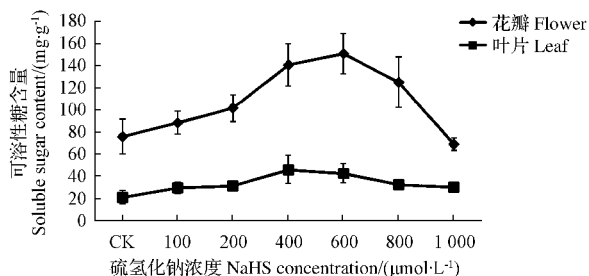


图3 外源 NaHS 对康乃馨切花可溶性糖含量的影响

Fig. 3 Effect of exogenous NaHS on the soluble sugar content of cutting *Dianthus caryophyllus* L.

2.4 外源 NaHS 对康乃馨切花叶片叶绿素含量和叶绿素荧光参数的影响

由图 4 可知,康乃馨切花在衰败过程中,叶片叶绿素含量降低,与瓶插初始相比,瓶插第 4 天,对照叶片叶绿素含量降低了 44.2%,与对照相比,100、200、400、600、800 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHS 处理下,叶片的叶绿素含量均比对照提高,其中,400、600 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHS 处理的叶绿素含量比对照提高了 41.4% 和 54.0%,差异显著 ($P < 0.05$);在较高浓度的 1 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHS 溶液中,切花叶片叶绿素含量比对照组降低了 14.3%。

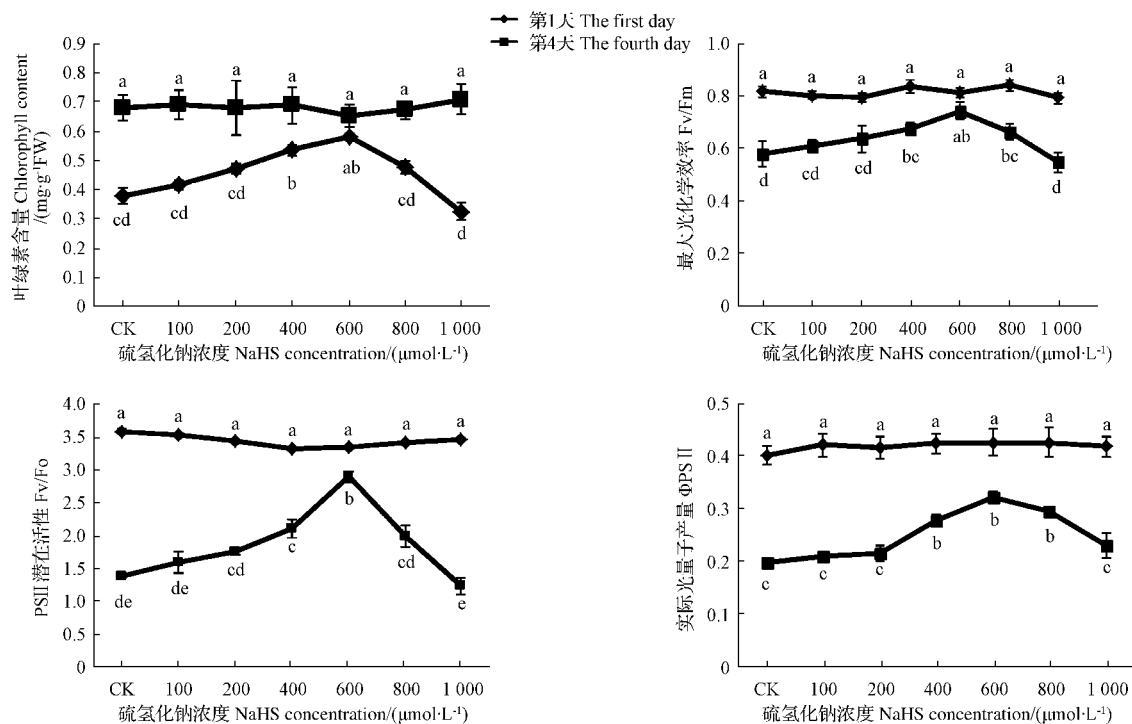


图4 外源 NaHS 对康乃馨切花叶片叶绿素含量和荧光参数的影响

Fig. 4 Effect of exogenous NaHS on chlorophyll content and fluorescence parameters of cutting *Dianthus caryophyllus* L. leaves

与瓶插初始相比,瓶插第 4 天,不同处理下康乃馨切花叶片的最大光化学效率 F_v/F_m 均呈下降趋势,比对照瓶插初始降低 28.7%。100~800 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHS 可以明显提高切花衰败过程中叶片 F_v/F_m ,与对照单纯水插相比,瓶插第 4 天切花叶片 F_v/F_m 分别增加了 5.2%、9.5%、16.5%、27.9% 和 14.5%;但较高浓度的 1 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHS 溶液使切花叶片的 F_v/F_m 略低于对照。

F_v/F_o 代表 PSII 反应中心潜在活性。在 NaHS 的影响下瓶插第 4 天康乃馨切花叶片 PSII 潜在活性的变化趋势与叶片最大光化学效率 F_v/F_m 基本一致。与瓶插初始相比,不同处理下康乃馨切花叶片的最大光化学效率 F_v/F_m 均呈下降趋势,对照比瓶插初始降低 61.4%。100~800 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHS 可以明显提高切花衰败过程中叶片 F_v/F_o ,与对照单纯水插相比,瓶插第 4 天切花叶片 F_v/F_o 分别增加了 14.6%、26.1%、51.9%、108.4% 和 44.1%,其中 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHS 的效果最好;但较高浓度的 1 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHS 溶液使切花叶片的 F_v/F_o 略低于对照,降低 11.3%。

ΦPSII 值是在某一光照状态下 PSII 的实际光合效率,反映对光能的利用情况。随着瓶插时间的延长,康乃馨切花叶片的 ΦPSII 呈下降趋势。瓶插第 4 天,对照叶片的 ΦPSII 比瓶插初始降低 51.1%,100~1 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHS 可以提高切花叶片 ΦPSII ,与对照单纯水插相比,叶片 ΦPSII 分别增加了 6.99%、10.1%、40.8%、64.3%、50.0% 和 16.8%。

2.5 外源 NaHS 对康乃馨切花叶片 MDA 含量和抗氧化酶活性的影响

由图 5 可知,康乃馨鲜切花在衰败过程中,叶片中能积累较多 MDA。NaHS 处理的 MDA 含量较对照降低,并且与低浓度的 NaHS 溶液呈负相关,其中 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理 MDA 含量较对照降低 38.6%,效果最明显。可见,适宜浓度的 NaHS 减轻了衰老引起的康乃馨叶片膜脂过氧化。

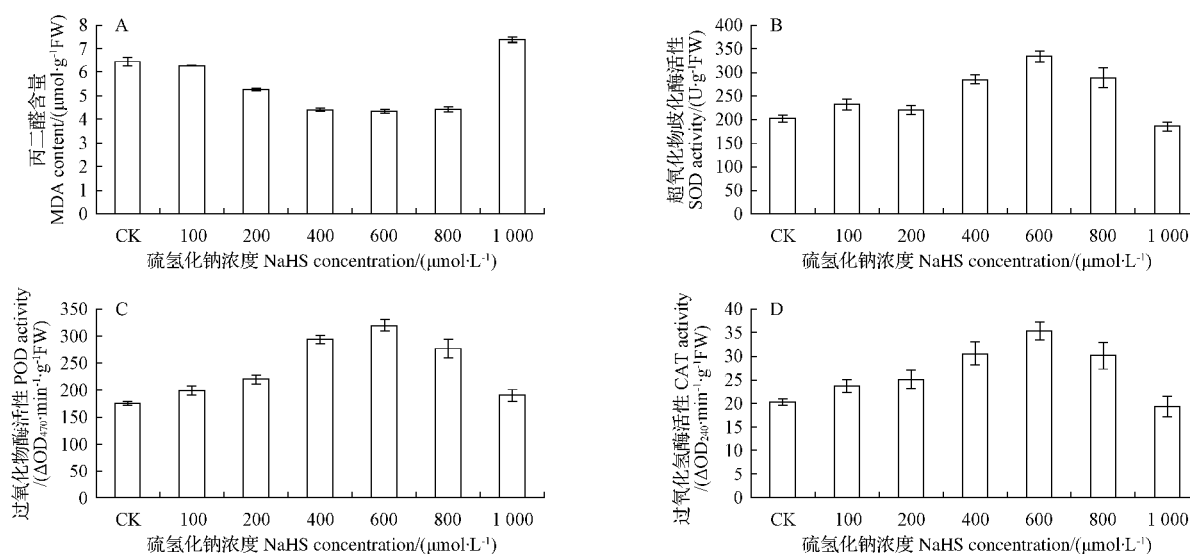


图 5 外源 NaHS 对康乃馨切花叶片 MDA 含量和抗氧化酶活性的影响

Fig. 5 Effect of exogenous NaHS on MDA content and antioxidant enzymes activities of cutting *Dianthus caryophyllus* L. leaves

3 讨论

植物组织衰老是一个受基因调控、环境影响的高度复杂的发育过程,包括结构破坏、物质降解等代谢紊乱过程。鲜切花脱离母体后,吸收系统破坏,光合效率降低、营养供应不足,呼吸速率加快,使得衰老加快,在外观上表现为叶片褪绿焦枯、花瓣萎蔫脱落,失去观赏价值^[1]。硫化氢作为气体信号分子,参与特定的生理代谢过程,如提高抗氧化酶系统活性^[5,12]和调节气孔运动^[13]等来提高植物对环境的适应能力。在该研究中,用硫化氢供体硫化钠溶液瓶插康乃馨,通过对切花外观的观察以及寿命、花径大小、可溶性糖含量的测定可知,适宜浓度的硫化钠溶液对康乃馨切花保鲜有一定的积极作用,其中 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理康乃馨切花能够显著延长切花寿命,提升其观赏价值。

叶绿素荧光参数可以反映植物叶片对光能的吸收和利用情况^[14],其中 F_v/F_m 是衡量光抑制的重要指标, F_v/F_o 是 PSII 反应中心潜在活性, ΦPSII 值反映在某一光照状态下 PSII 的实际光合效率,反映对光能的利用情况。该研究中,随着瓶插时间延长,到第 4 天时,对照康乃馨叶片的 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、 ΦPSII 显著降低,表明在康乃馨切花衰败过程中,光合机构受到破坏,光能转换效率降低;

经过 $100 \sim 800 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 溶液处理的康乃馨叶片的 SOD 活性均较对照增强,其中 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 的效果最明显,比对照提高 55.2%。当 NaHS 浓度为 $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, SOD 的活性无明显增加,反而稍低于对照,降低了 9.1%。CAT、POD 活性的变化趋势与 SOD 相似,即瓶插第 4 天时, $600 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理的 CAT、POD 活性显著增强,比对照分别提高 81.0% 和 84.4%。

而 $100 \sim 800 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理的 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、 ΦPSII 的降低幅度小于对照,其中 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理的缓解效果最显著,说明适宜浓度的 NaHS 能够调节康乃馨瓶插期叶片的光合功能。

在衰老和遭受逆境胁迫时,植物对活性氧(ROS)的调控能力降低,表现为一方面细胞内的 ROS 会大量发生,另一方面酶促和非酶促 2 类活性氧自由基清除系统的防御能力降低,最终 ROS 会在细胞内积累,攻击生物膜,过氧化产物(MDA 等)含量增加,引起细胞膜透性增大,胞内电解质外渗, DNA 等生物大分子被破坏,严重时导致细胞死亡^[15]。在抗氧化酶系统中, SOD 可歧化使 Mehler 反应中产生的活性氧转化成 H_2O_2 , POD、CAT 将 H_2O_2 转化为 H_2O 和 O_2 。该试验结果表明,随着瓶插时间延长,到第 4 天时,对照康乃馨叶片积累大量 MDA,说明康乃馨体内的 ROS 大量积累,诱发膜脂过氧化,破坏膜结构。同时对照康乃馨叶片的 SOD、POD、CAT 活性较低,说明康乃馨切花衰老时,抗氧化能力降低。 $100 \sim 800 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 处理的明显降低了康乃馨叶片 MDA 含量,提高了其 SOD、POD、CAT 活性,衰老进程减慢。KORNYEYEV 等^[16]研究表明,棉花叶片中过量表达叶绿体中定位的抗氧化酶基因 SOD 等,可

以提高光能的利用率,维持较高的电子传递速率,减轻冷诱导的光系统II光抑制。周超凡等^[5]的研究结果也证实,H₂S 增强植物细胞对活性氧的清除能力可能是其减轻低温对黄瓜光合机构伤害的重要机理之一。该试验的结果也可表明,适宜浓度的 NaHS 可以增强康乃馨切花衰老过程中细胞对活性氧的清除能力,增加 PSII 反应中心开放程度,维持较高的碳同化能力,提高可溶性糖含量,延长切花寿命,提升其观赏价值,且以 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS 的处理效果最好。

参考文献

- [1] 马丽. 磷酸钠对康乃馨切花保鲜效果的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(11): 2698-2701.
- [2] 张燕琴, 李方, 郭延平, 等. 叶片叶绿素荧光参数用作采后切花菊衰老指标[J]. 浙江大学学报, 2005, 31(6): 683-688.
- [3] 张荣佳, 任非, 白艳波, 等. 基于快速叶绿素荧光诱导动力学分析逆境对 PSII 影响的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(7): 3858-3859.
- [4] 郭鸿鸣, 肖天宇, 谢彦杰. 气体信号分子硫化氢在植物中的生理功能及作用机制[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2016, 32(5): 488-495.
- [5] 周超凡, 吴桐秀, 李婷, 等. 外源 H₂S 对低温下日光温室黄瓜光合作用及抗氧化系统的影响[J]. 园艺学报, 2016, 43(3): 462-472.
- [6] ALI B, GILL R A, YANG S, et al. Hydrogen sulfide alleviates cadmium-induced morpho-physiological and ultrastructural changes in *Brassica napus* [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2014, 110: 97-207.
- [7] ZHANG L P, WANG H J, JIN Z P, et al. Hydrogen sulfide alleviates cadmium-induced cell death through restraining ROS accumulation in roots of *Brassica rapa* L. ssp. pekinensis[J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2015(1): 1-11.
- [8] CHEN J, WU F H, WANG W H, et al. Hydrogen sulphide enhances photosynthesis through promoting chloroplast biogenesis, photosynthetic enzyme expression, and thiol redox modification in *Spinacia oleracea* seedlings [J]. J Exp Bot, 2011, 62: 4481-4493.
- [9] ZHANG H, HU S L, ZHANG Z J, et al. Hydrogen sulfide acts as a regulator of flower senescence in plants[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 60(3): 251-257.
- [10] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.
- [11] 李合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [12] 孟丹, 安敏敏, 杨立明. 硫化氢缓解铝胁迫对水稻幼苗叶片抗氧化系统的调控[J]. 淮阴师范学院学报(自然科学版), 2015, 14(1): 53-55.
- [13] 侯智慧, 车永梅, 王兰香, 等. H₂S 位于 H₂O₂ 下游参与乙烯诱导拟南芥气孔关闭过程[J]. 植物生理学报, 2012, 48(12): 1193-1199.
- [14] DEMMIG-ADAMS B, WILLIAM W. Xanthophyll cycle and light stress in nature: uniform response to excess direct sunlight among higher plant species [J]. Planta, 1996, 198(3): 460-470.
- [15] 黄亚成, 秦云霞. 植物中活性氧的研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(36): 219-226.
- [16] KORNYEYEV D, LOGAN B A, PAYTON P, et al. Enhanced photochemical light utilization and decreased chilling-induced photoinhibition of photosystem II in cotton overexpressing genes encoding chloroplast-targeted antioxidant enzymes[J]. Physiologia Plantarum, 2001, 113(3): 323-331.

Effect of Exogenous Hydrogen Sulfide on Chlorophyll Fluorescence Parameters and Antioxidant Activity of Cutting *Dianthus caryophyllus* L.

JIANG Qianqian, ZHANG Baoren, WANG Chengjian, LI Tiantian, LIU Junjie

(Key Laboratory of Biochemistry & Molecular Biology in Universities of Shandong, Weifang University, Weifang, Shandong 201061)

Abstract: Cutting flowers of *Dianthus caryophyllus* L. were used as materials. The effect of sodium hydrosulfide (NaHS, the donor of H₂S) on chlorophyll fluorescence parameters and antioxidant activity in *Dianthus caryophyllus* L. were investigated to study the regulation mechanism of exogenous hydrogen sulfide (H₂S) on preservation of cutting *Dianthus caryophyllus* L., with distilled water as the control. The results showed that chlorophyll content, soluble sugar content, maximum photochemical efficiency of PS II in darkness (Fv/Fm), potential activity of PS II (Fv/Fo) and actual photochemical efficiency of PSII (ΦPSII) decreased in the senescence process of cutting flowers of *Dianthus caryophyllus* L. Compared with control, the appropriate concentration of NaHS solution treatment led to extension of cut flower life, enlargement in flower diameter, increase in chlorophyll content, soluble sugar content, and Fv/Fm, Fv/Fo, ΦPSII values, of which 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS showed the best effect. 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHS caused significant decrease in MDA content but increase in SOD, POD, CAT activities on the fourth day in vase. Those results indicated that exogenous H₂S could enhance the reactive oxygen species (ROS) scavenging activity and alleviate the injury of photosynthetic apparatus in flowers of *Dianthus caryophyllus* L. against senescence, so extend the flowering and enhance ornamental value.

Keywords: hydrogen sulfide (H₂S); *Dianthus caryophyllus* L.; chlorophyll fluorescence parameters; antioxidant activity