

外源糖对香雪兰切花活性氧平衡的影响

刘亚杰, 常 苹, 唐东芹

(上海交通大学 农业与生物学院, 上海 200240)

摘 要:以香雪兰园艺品种‘上农金皇后’为试材,将其鲜切花瓶插于6%葡萄糖溶液和蒸馏水(对照)中,研究其瓶插期间花瓣抗氧化酶活性和膜脂过氧化水平的变化。结果表明:整个花序的观赏期为10 d左右,而单朵小花瓶插寿命却不足1周。花瓣吸水量在瓶插期间发生明显变化,表现为在瓶插前期下降,7 d后有所回升。对照中可溶性蛋白质含量呈逐渐下降趋势,添加了6%葡萄糖溶液的处理在瓶插第4天出现1个峰值后其含量才逐渐下降,直到瓶插末期。超氧化物歧化酶(SOD)活性和过氧化氢酶(CAT)活性在瓶插期间变化趋势一致,均为先上升后下降的过程。过氧化物酶(POD)活性在整个瓶插期间持续上升,在花序中不同部位活性存在差异,基部最高,上部最低。花瓣中丙二醛(MDA)含量随瓶插时间增加而上升,同一瓶插期基部小花MDA含量高于中上部小花。在瓶插前2 d,超氧自由基($O_2^{\cdot-}$)含量明显上升,之后有一短暂下降过程,第4天后又逐渐上升;6%葡萄糖溶液处理和对照变化趋势一致,但在瓶插不同时期及花序不同位置上, $O_2^{\cdot-}$ 含量有所差别。综合各因素表明,失水、抗氧化酶活性下降、自由基的积累以及膜脂过氧化水平的增加可能是香雪兰切花衰老的主要原因。

关键词:香雪兰;瓶插;花瓣衰老;活性氧平衡

中图分类号:S 682.2⁺9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)09-0140-08

切花采后离开母体,仍是个有机活体,继续一系列生理生化代谢活动,具有典型的代谢特征^[1]。其中,有关膜脂过氧化对植物细胞膜系统和代谢过程的伤害的研究报道较多,普遍认为当细胞内自由基产生与清除的平衡遭到破坏,过剩自由基的毒害之一就是引发或加剧膜脂过氧化作用,造成细胞膜系统损伤,代谢紊乱,最终导致衰老甚至死亡^[2-3]。王华等^[4]初步研究认为,膜脂过氧化导致膜透性增加,是导致郁金香切花衰老的原因之一。

大量研究表明,在植物组织中,SOD、POD等酶促防御系统保护酶在清除活性氧中起着关键作用^[2,5-6]。外源 $O_2^{\cdot-}$ 加入能明显加快花瓣脱落,而 $O_2^{\cdot-}$ 清除剂则延缓脱落^[7];Wang等^[8]研究发现,苯甲酸钠作为自由基清除剂,可延缓切花寿命;吴岚芳等^[9]对非洲菊切花的研究表明,外源活性氧(PQ)处理能大幅度提高非洲菊活性氧的产生与积累,同时降低活性氧清除能力(SOD、CAT),

导致膜脂过氧化加剧,加速切花衰老,缩短瓶插寿命;而且,彭春秀等^[10]研究表明,细胞内可溶性糖含量的高低直接影响着切花品质。碳水化合物总含量降低是鲜切花采后衰老过程中的重要生理现象之一;Coorts^[12]和Rogers^[13]均提出,切花瓶插液中加入外源糖可降低呼吸速率、延缓衰老。

香雪兰切花较易衰老、观赏寿命短,在生产和应用上易于发生花朵萎蔫、花瓣变色等现象,同时还伴随着花朵香味的改变^[14-16]。据Spikman^[17]报道,香雪兰切花直接水养有40%的小花不开放。苏军等^[18]认为香雪兰切花不完全开放,主要是因为采收时切花体内糖分储备不足,而经过较高浓度的蔗糖溶液处理后,切花主、侧花序含糖量增加,同时开放率提高、瓶插寿命相应延长。但是,外源糖处理对香雪兰切花的生理影响至今尚鲜见报道。该试验从采后瓶插期间切花的活性氧平衡入手,通过研究外源糖处理后氧化酶活性以及膜脂过氧化的变化规律,探讨外源糖处理后香雪兰切花衰老的生理机制,以期今后指导延长香雪兰切花瓶插期的实践提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试香雪兰为上海交通大学自育香雪兰园艺品种‘上农金皇后’(Freesia hybrida ‘Shangnong Jinhuang-

第一作者简介:刘亚杰(1987-),女,硕士,研究方向为园林植物与观赏园艺。E-mail:814482254@sjtu.edu.cn.

责任作者:唐东芹(1971-),女,博士,副教授,现主要从事园林植物资源收集与种质创新等研究工作。E-mail:dqtang@sjtu.edu.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30872061);上海市科委科技攻关资助项目(13391901002)。

收稿日期:2013-12-13

hou')(秦文英和林源祥,1995),采自上海交通大学农业与生物学院七宝校区试验基地,采样时间为2012年2月下旬至3月中旬。

香雪兰花序为穗状花序,小花从花序基部到上部逐步开放。当花序基部小花显色时,从种植基地花圃内采集生长状况相近的花枝(长度 ≥ 25 cm,取基部小花处于4级状态,含7朵小花的花枝用于生理指标测定,而发育进程的观察选择含9朵小花的花枝),保湿运回实验室,插在盛有蒸馏水的桶中恢复2 h,保留花枝长度25 cm,插入一定瓶插液中,24 h后均换用蒸馏水瓶插。花枝瓶插过程是在上海交通大学农业与生物学院观赏植物种质资源实验室进行,室温22~24℃、相对湿度70%~80%,无阳光直射。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验用含6%葡萄糖的水溶液(T)进行处理,蒸馏水为对照(CK),进行24 h葡萄糖水溶液瓶插后,每隔2 d取样1次,且每隔1 d定时为花枝换洁净蒸馏水,每2 d剪去花茎基部1 cm(防止细菌滋生,阻塞导管)。

1.2.2 取样方法 材料从试验基地运回当日即取样1次(记为0 d),以后每隔2 d取样1次。供试材料瓶插前称重记录0 d时鲜重,瓶插24 h后,从瓶插液中取出花枝,用吸水纸擦拭花枝表面,称重,记录瓶插1 d后花枝鲜重,并计算花枝吸水量。取花序基部(pos1)、中部(pos4)和上部(pos7)位置小花的花瓣(剥去花萼和最外层,取内层花瓣),剪碎后充分混匀,称重包装,每份0.5 g左右,包装好的花瓣于液氮中速冻0.5 h后,贮存在-80℃超低温冰箱中,备用。

1.3 项目测定

瓶插寿命为从瓶插之日起到切花失去观赏价值的天数^[19],同时,香雪兰花序上各小花的发育阶段参照Spikman^[17,20]的方法进行划分。花枝吸水量的测定采用称重法。前后2 d花枝重量之差为切花的吸水量。可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝G-250染色法测定^[21]。超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)法^[21];采用紫外吸收法(使用石英比色杯)通过测定H₂O₂的减少量来测定过氧化氢酶(CAT)的活性^[22];过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法^[21]。丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[23-24];超氧自由基(O₂⁻)含量的测定采用羟胺氧化法^[24]。

1.4 数据分析

采用Microsoft Office Excel 2003软件进行数据整理及图表绘制,用SAS 9.1.3软件进行数据统计分析。方差分析采用PROC ANOVA过程,显著水平的确定采用ALPHA=0.05。

2 结果与分析

2.1 外源糖对香雪兰切花小花发育进程的影响

香雪兰花序为穗状花序,小花从花序基部到上部逐步开放。从试验中可以观察到,整个花序的观赏期为10 d左右,而单朵小花瓶插寿命却不足1周(表1)。对照的花序基部第1、2朵小花前4 d逐步开放,其它位置小花也随之生长,从第5天开始,前3朵小花出现萎蔫症状,随着瓶插时间的延长,萎蔫的小花数不断增加,到第8天时,第7朵小花也开始萎蔫,整体观赏价值大大下降。到瓶插末期,花序基部小花多有脱落,且上部小花多出现不发育状态。处理中的瓶插第3天,花序基部第1朵小花盛开,而在此之前,花序基部前3朵小花发育进程明显加快。花序顶端(第7朵)小花较对照组变化显著,随瓶插期的延续,小花逐渐发育完整并衰老。而瓶插第4~8天时,花序上小花较对照组呈现不同程度的发育延缓现象。因而可以看出,处理组中香雪兰切花较对照组总体观赏价值较高,糖影响香雪兰切花的发育,在瓶插前期促进开放,而后期起延缓衰老作用。

表1 香雪兰瓶插期间花序上小花的发育阶段

| Table 1 | | The developmental process of cut <i>Freesia</i> flowers during vase holding | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 瓶插时间 Vase time /d | 处理 Treatment | 第1朵 The 1 st florete | 第2朵 The 2 nd florete | 第3朵 The 3 rd florete | 第4朵 The 4 th florete | 第5朵 The 5 th florete | 第6朵 The 6 th florete | 第7朵 The 7 th florete |
| 0 | | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 1 | T | 3 | 4 | 4 | 5 | 5~6 | 6 | 6 |
| | CK | 3 | 3~4 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| 2 | T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| | CK | 2 | 3 | 3~4 | 4 | 5 | 5~6 | 6 |
| 3 | T | 0 | 1 | 2 | 3~4 | 4 | 4 | 5 |
| | CK | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4~5 | 5~6 |
| 4 | T | 0~-1 | 0 | 1 | 1~2 | 3 | 3~4 | 4 |
| | CK | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| 5 | T | -1 | -1 | 0~-1 | 1 | 2 | 2~3 | 4 |
| | CK | -2 | -1 | -1 | 1 | 1~2 | 2 | 3 |
| 6 | T | -2 | -2 | -1 | 0~-1 | 1 | 2 | 2~3 |
| | CK | -2 | -2 | -1 | -1 | 0 | 1 | 2 |
| 7 | T | -2 | -2 | -1~-2 | -1 | -1 | 1 | 2 |
| | CK | -2 | -2 | -2 | -2 | -1 | -1 | 1 |
| 8 | T | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -1 | -1~2 |
| | CK | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -1 | -1 |
| 9 | T | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 |
| | CK | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 |
| 10 | T | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 |
| | CK | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -1~6 |

2.2 外源糖对香雪兰切花吸水量的影响

由图1可知,香雪兰切花瓶插过程中花枝吸水量发生明显变化,但处理与对照在同一瓶插期内无明显差异。瓶插前4 d花枝吸水量呈下降趋势,花枝鲜重随之增加,且外源糖处理和蒸馏水处理相比花枝吸水量较大,表现为瓶插前3 d,处理组花枝吸水量分别相当于对

照组的 1.08、1.29、1.37 倍,在瓶插第 4 天,对照组呈失水状态,而此时处理组花枝吸水量为正,鲜重达到最大值。此后花枝一直呈失水状态,含水量逐渐下降。但瓶插 4~7 d 内,花枝失水量急剧下降,到第 7 天时对照组吸水量为-0.83 g,相当于处理组的 1.11 倍。瓶插 8 d 后花枝失水现象有所缓解,但整体鲜重仍呈下降趋势。在瓶插末期,处理组花枝失水比对照组多,这可能是因

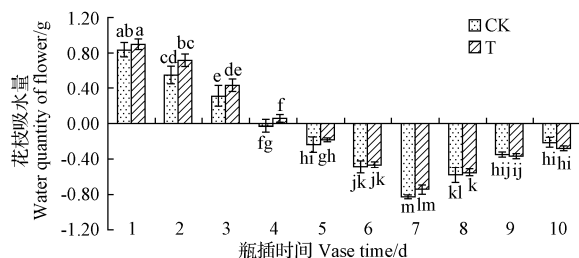


图 1 香雪兰切花瓶插期间花瓣吸水量的变化

Fig. 1 Change of moisture content in petals of *Freesia* during vase holding

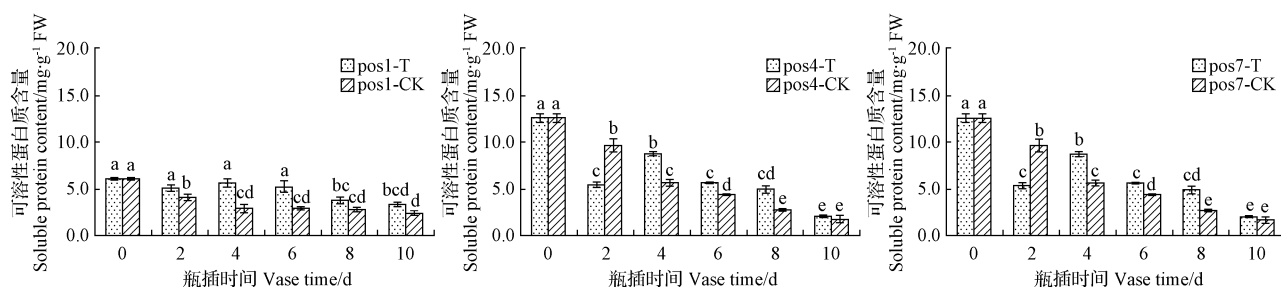


图 2 香雪兰切花瓶插期间花瓣内可溶性蛋白质含量的变化

Fig. 2 Change of soluble protein content in petals of *Freesia* during vase holding

2.4 外源糖对香雪兰切花内酶活性的影响

2.4.1 外源糖对香雪兰切花内 SOD 活性的影响 香雪兰切花瓶插后 SOD 活性呈上升趋势,达到一个最大值后下降(图 3)。香雪兰切花瓶插期间 SOD 活性呈现先上升后下降的变化趋势,在瓶插第 4 天出现 SOD 活性最大值,同时香雪兰切花花序上 3 个位置小花花瓣内 SOD 活性均表现出基部>中部>上部的规律。采收时,3 个位置小花 SOD 活性无显著差异,均值为 34.19 U/mg。瓶插第 4 天时,对照中花序基部、中部、上部小花 SOD 活性分别相当于 0 d 时的 4.37、3.91、2.66 倍,且此时三者之间

为此时清水瓶插的花枝萎蔫现象较处理组严重,已无观赏价值。上述变化与花瓣外部形态观察的结果一致。

2.3 外源糖对香雪兰切花内可溶性蛋白质含量的影响

由图 2 可知,香雪兰切花瓶插期间,花瓣内可溶性蛋白质含量整体呈下降趋势,但处理组在瓶插第 4 天出现显著变化。刚采收时(0 d),花瓣内可溶性蛋白质含量较高,花序基部、中部和上部小花内分别含有 6.02、12.53、15.88 mg/g FW。随着瓶插期的延长,对照中 3 个位置小花花瓣内可溶性蛋白质整体呈下降趋势,在瓶插末期达到最低,分别相当于采收期(0 d)的 39.04%(基部)、13.49%(中部)和 40.68%(上部)。而糖处理在瓶插第 4 天出现峰值,此时分别相当于对照的 1.92(基部)、1.55 倍(中部)和 1.94 倍(上部),随后含量继续下降。糖处理对不同位置小花在不同瓶插期影响不同,与对照相比可知,对于上部小花来说,处理与对照在第 2、4、6、8 天均存在显著差异,在第 2~8 天期间在中部小花上影响显著,而在第 2、4、6 天内对于基部小花影响显著。

差异显著。随后 SOD 活性迅速下降,直到瓶插末期,此时分别相当于 0 d 时的 1.44、1.77、2.36 倍。与之相比,糖处理在瓶插第 4 天时达到峰值,分别相当于对照的 0.86、1.31、1.89 倍,在瓶插第 10 天时基部小花 SOD 活性较低,与 0 d 时无显著差异。处理与对照相比,香雪兰切花花序基部在瓶插第 8 天时二者存在显著差异,同时瓶插第 4 天、第 6 天和第 8 天花序中部处理组影响显著,第 4~10 天期间花序上部差异显著,由此可知,外源糖处理对于香雪兰切花瓶插期间 SOD 活性影响显著。

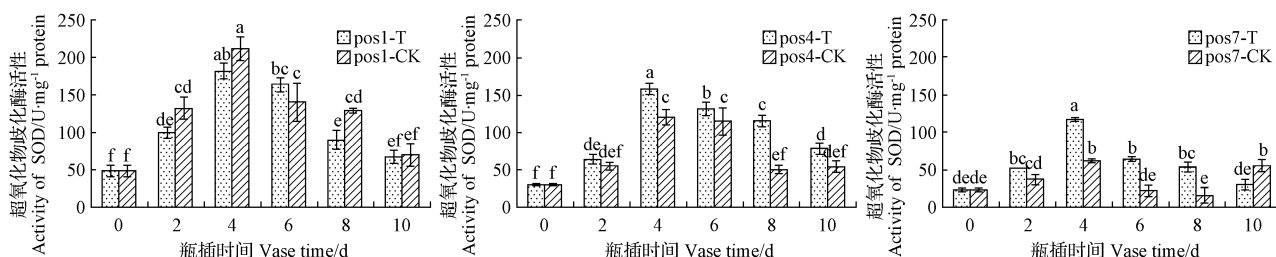


图 3 香雪兰切花瓶插期间花瓣 SOD 活性的变化

Fig. 3 Change of SOD activity in petals of *Freesia* during vase holding

2.4.2 外源糖对香雪兰切花内 CAT 活性的影响 由图 4 可知, CAT 活性的变化与 SOD 类似, 在瓶插过程中, 香雪兰切花不同位置小花的 CAT 活性变化趋势不同, 基部和中部小花变化趋势一致, 均为先上升后下降, 上部小花呈持续上升趋势。其中, 基部小花瓶插第 4 天达到最大值, 分别相当于 0 d 时的 2.50 倍(处理)和 2.41 倍(对照), 二者间无明显差异; 而中部小花在瓶插第 6 天达到峰值, 此时处理组和对照组分别是 0 d 时的 3.53 倍和 3.14 倍, 随后逐渐下降直到瓶插末期。花序上部小花

CAT 活性在整个瓶插期间持续上升, 在瓶插第 10 天时达到最大, 此时, 处理组和对照组分别相当于采收期的 5.67 倍和 4.20 倍, 且 2 个处理间差异显著。而且与对照一致, 处理组中, 瓶插前 6 d, 香雪兰切花花序上小花呈基部>中部>上部的规律。处理与对照相比, 在瓶插期间能提高香雪兰切花花瓣内 CAT 活性, 但仅在瓶插第 6 天时花序基部小花和瓶插第 10 天时花序上部小花差异显著, 整体而言 2 个处理间 CAT 活性绝对值有差异, 而显著性分析差异不明显。

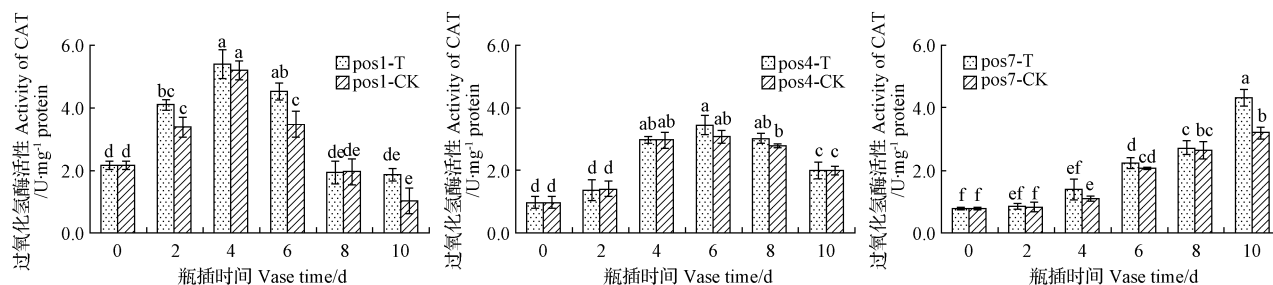


图 4 香雪兰切花瓶插期间花瓣 CAT 活性的变化

Fig. 4 Change of CAT activity in petals of *Freesia* during vase holding

2.4.3 源糖对香雪兰切花内 POD 活性的影响 POD 活性变化趋势与 SOD、CAT 不同, 由图 5 可知, POD 活性在瓶插过程中表现为持续上升趋势。在香雪兰切花瓶插过程中, 花瓣内 POD 活性呈上升趋势, 且花序上不同位置小花呈现基部>中部>上部的规律。在采收期, 基部小花 POD 活性为 $25.03 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$, 分别相当于中部和上部的 2.35、2.48 倍, 差异显著。瓶插第 2

天时, 处理花瓣内 POD 活性低于对照组, 但差异不明显。随后, 处理组花瓣内 POD 活性均高于对照组, 尤其对于中部小花而言, 瓶插第 4 天时处理是对照的 1.44 倍, 第 6 天为 1.29 倍, 均差异显著。在瓶插第 10 天时, 花瓣内 POD 活性达到最大值, 且花序上 3 个位置小花之间存在显著差异, 此时处理组中 POD 活性分别相当于 0 d 的 5.62 倍(基部)、11.36 倍(中部)和 9.13 倍(上部)。

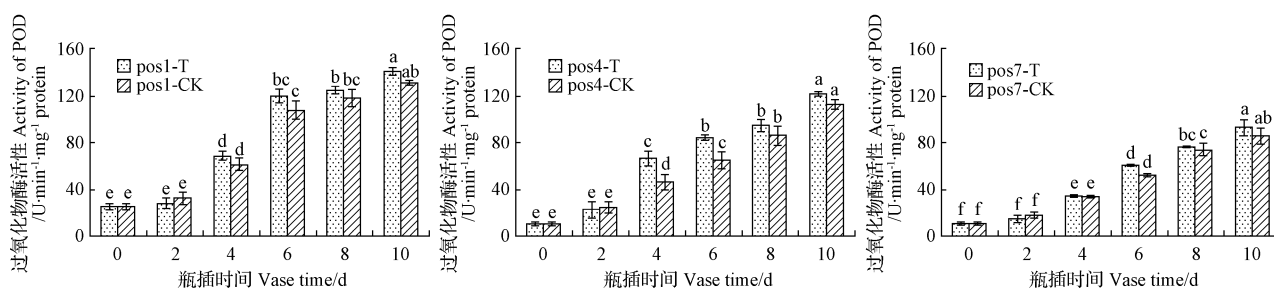


图 5 香雪兰切花瓶插期间 POD 活性的变化

Fig. 5 Change of POD activity in petals of *Freesia* during vase holding

2.5 外源糖对香雪兰切花内 MDA 及 O_2^- 含量的影响

2.5.1 外源糖对香雪兰切花内 MDA 含量的影响 从图 6 可以看出, 随着瓶插时间的延长, 香雪兰切花花序上不同位置小花花瓣中 MDA 含量变化规律一致, 均呈持续上升趋势, 总体上满足基部>中部>上部的规律, 且 3 个位置上 MDA 含量变化幅度不同。整个瓶插期间, 基部小花花瓣中的 MDA 含量显著高于中部和上部。0 d 时, 基部小花 MDA 含量为 0.89 nmol/g , 分别相当于中部和上部的 2.87 倍和 4.24 倍。花序上 3 个位置小花 MDA 含量均在瓶插第 10 天达到最大值, 对照中基部、

中部和上部分别为 0 d 时的 3.29(基部)、5.61 倍(中部)和 3.19 倍(上部), 且彼此间差异显著; 与此同时处理是 0 d 的 2.26(基部)、5.61 倍(中部)和 4.76 倍(上部), 且基部与中部小花间无显著差异, 但与上部小花差异明显。对于基部小花而言, 在第 4~10 天, 处理和对照均含有显著差异, 6%葡萄糖处理能有效降低基部小花花瓣中 MDA 含量。而 6%葡萄糖处理对于中部小花来说, 只在瓶插第 8 天时影响显著。对照组中上部小花发育不完全或在瓶插早期致死, 这也可能影响了上部小花花瓣中的 MDA 含量。

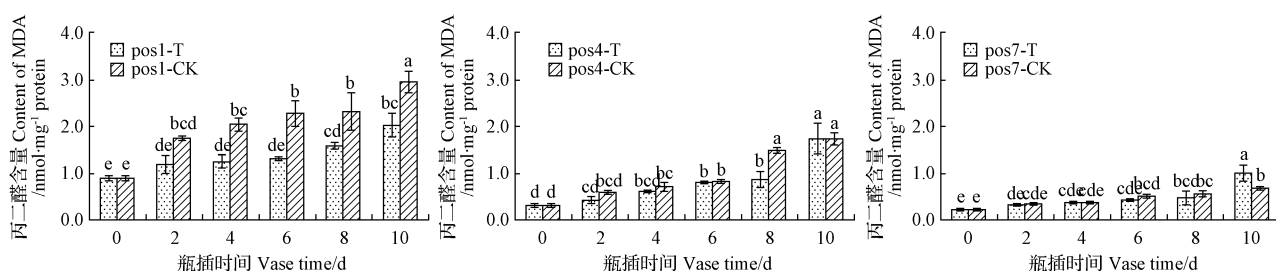


图6 香雪兰切花瓶插期间 MDA 含量的变化

Fig. 6 Change of MDA content in petals of *Freesia* during vase holding

2.5.2 外源糖对香雪兰切花内 O_2^- 含量的影响 从图7可以看出,香雪兰切花瓶插期间,花序上3个位置小花花瓣内 O_2^- 含量在瓶插第2天明显上升,之后有一短暂下降,之后又逐渐上升直到瓶插末期。采收期时花序上基部、中部、上部小花之间 O_2^- 含量无显著差异,三者均值均为 $2.83 \mu\text{mol/g FW}$ 。瓶插第2天时, O_2^- 含量达到峰值,此时,处理组对基部小花影响显著,相当于对照组的89.63%,而此时处理组的中部和上部小花 O_2^- 含量均低于对照,但差异不明显,但与采收期相比,分别上升了65.79%(基部)、62.99%(中部)和41.20%(上部)。随后 O_2^- 含量下降,基本在第4天时达到低谷,此时处理组上

部小花 O_2^- 含量最低,仅占采收期上部小花的82.39%。直至到瓶插结束, O_2^- 含量又逐渐升高,尤其是在第10天时,基部小花 O_2^- 含量达到最大,与第2天相比分别上升了21.54%(处理)、38.41%(对照)。处理组与对照组相比,变化趋势一致,均为先上升后下降随后又上升的过程。但在瓶插不同时期及花序不同位置上, O_2^- 含量有所区别,明显可以看出处理组中 O_2^- 含量绝对值低于对照组,即外源糖处理能降低香雪兰切花 O_2^- 产量,尤其对于瓶插第2天和第10天的基部小花、第4天和第10天的中部小花而言,外源糖处理效果显著。

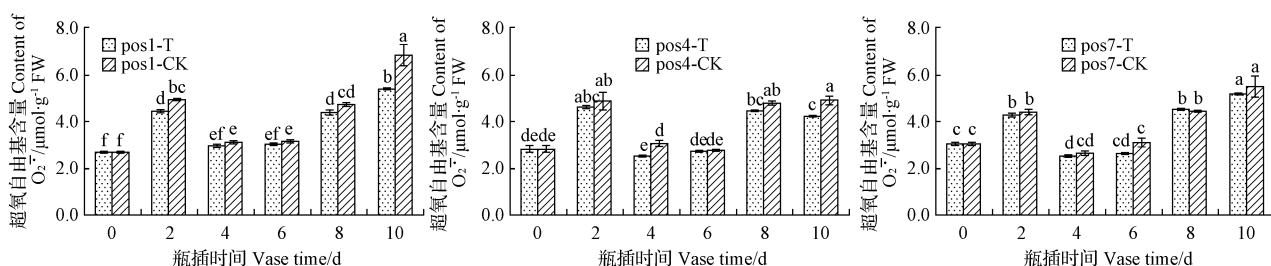


图7 香雪兰切花瓶插期间 O_2^- 含量的变化

Fig. 7 Change of O_2^- content in petals of *Freesia* during vase holding

3 讨论与结论

香雪兰花序为穗状花序,小花从基部到顶部逐步开放。在该试验中发现,葡萄糖处理后,香雪兰切花开放率及总体观赏价值提高。这或许是糖作为营养物质和呼吸基质,能改善切花的营养状况,促进生命活动有关^[25]。同时,还有研究表明,糖可以延缓切花衰老症状的出现,保护线粒体和细胞膜结构的完整性,维持其功能,阻止蛋白质的水解等^[26-27]。从表型上看,在很多切花上糖处理均提高了其品质并延长了瓶插寿命。如用2%~5%的蔗糖能显著增强非洲菊(*Gerbera jamesonii*)切花的保鲜效果^[28];用3%的糖溶液能使翠菊(*Callistephus chinensis*)、万寿菊(*Tagetes erecta*)等保鲜天数达到8.7 d^[29];香雪兰切花采后用20%蔗糖处理24、48 h可使花序上所有小花开放并能延长瓶插期,降

低浓度和延长处理时间效果没有那么明显^[30]。观察发现,葡萄糖能影响香雪兰切花上小花的发育进程,表现为在瓶插前期促进开放,而后期起延缓衰老作用,此结果与以上研究结论一致。

高勇等^[31]对月季切花的研究表明,切花瓶插寿命取决于吸水和失水间的平衡关系。对于糖在保持水分平衡方面的作用,存在两种不同的观点。其一认为是通过提高切花的吸水量来实现的^[32],其二则有越来越多的研究认为是通过减少失水量来实现切花中的水分平衡^[33]。该试验统计了切花吸水量的变化,结果表明,香雪兰瓶插前3 d,花枝吸水量大于失水量,第4天时,清水瓶插花枝开始表现出失水状态,外观花瓣部分皱缩,花瓣的生理活动衰退。对于香雪兰切花而言,葡萄糖处理与蒸馏水瓶插处理相比,在瓶插前期利于花枝吸水,在后期能

阻止花枝失水。但显著性分析效果不明显,可能与外源糖浓度及处理时间有关。

国内外许多研究表明,可溶性蛋白质含量降低是衰老的重要指标之一^[31,34]。该试验中,随着瓶插时间的延长,小花发育进程加剧,同时香雪兰花瓣内可溶性蛋白质含量总体呈下降趋势,变化明显,但2种处理结果略有不同。在瓶插过程中,蒸馏水瓶插的香雪兰切花,其可溶性蛋白质含量从瓶插开始就开始下降,并随着时间延长下降幅度增大,说明蒸馏水瓶插的香雪兰是从其脱离母体开始衰老的,并随着瓶插时间的延长而加剧,最终在外观上表现出花朵萎蔫、花色变深等衰老特征。而葡萄糖处理的香雪兰花枝,其花瓣内的可溶性蛋白质含量在瓶插初期有所增加,可能是由于外源糖处理后被切花转运并吸收,使得小花的发育进程加深,蛋白质合成作用占主导。此结论与郁金香切花的研究结果一致^[4]。其后,随着花朵的开放及衰老的加剧,可溶性蛋白质含量迅速降低,说明花瓣内蛋白质的分解速率大于合成速率,衰老即已开始。整体而言,瓶插初期糖处理有利于延缓香雪兰切花衰老。

切花衰老过程中,细胞通过有氧代谢不断产生自由基和活性氧,由于其清除能力的不断下降而累积,自由基损伤的程度不断加大,从而破坏了细胞的结构和功能,造成细胞衰老和死亡^[35-36]。该试验中香雪兰切花在瓶插第2天时 O_2^- 含量出现峰值,可能是香雪兰脱离自然生长状态时对于采切伤口状态产生的应激反应。在瓶插第4天后切花适应瓶插环境后 O_2^- 由较低含量逐渐上升,这与袁媛等^[37]对香雪兰花朵发育与衰老过程中膜脂过氧化水平结论一致。MDA含量的高低可以反应细胞膜脂过氧化的程度^[38]。在整个瓶插过程中,膜脂过氧化产物MDA含量逐渐上升,且基部小花中花瓣内MDA含量明显高于中部和上部小花。但处理和对照组存在显著差异,尤其能显著降低基部小花花瓣内的MDA含量。这表明自瓶插开始细胞即受到MDA的伤害,由于发育进程的关系,基部小花受伤害程度最深,而葡萄糖处理能有效缓解这一状况。

SOD、CAT、POD是植物细胞中清除活性氧的主要酶类^[39]。其中,SOD的主要功能是清除 O_2^- ;CAT、POD则是清除活性氧 H_2O_2 等的主要酶类^[40],起到酶系协调作用,保护膜系统免受伤害,延缓膜脂的过氧化,从而延缓衰老。对芍药^[41]、香石竹^[42]、百合^[43]等切花衰老中保护酶系统的研究表明,SOD和CAT活性上升主要集中在前期,而在衰老后期其活性下降,这导致花朵自身的自由基清除能力逐渐减弱,MDA大量积累,膜系统遭到破坏,膜透性加大,蛋白质变性水解,花朵进入快速衰老期;POD活性主要在衰老后期起作用,主要原因可能是POD利用SOD消除自由基时产生的 H_2O_2 进行与

衰老有关的氧化反应,另外还与POD和乙烯的自身催化合成有关,并且和衰老细胞的活性有关^[44]。该试验中香雪兰切花花瓣衰老期间,SOD、CAT活性前期升高,但仍不足以清除过多的自由基,故衰老进程继续推进;瓶插后期随着SOD、CAT活性下降,衰老进程加剧。而POD活性则随衰老的加剧而升高。这与林如等^[48]和薛秋华等^[46]的研究结果一致。

综上所述,香雪兰切花瓶插前期,外源糖处理能使使小花开放,利于花枝吸水,提高小花花瓣内可溶性蛋白质含量。同时外源糖处理可以提高香雪兰切花小花花瓣内SOD、CAT活性,降低POD活性,同时MDA和 O_2^- 的含量有所减少,缓解了细胞内由于氧自由基的产生引起的膜脂过氧化及对酶和膜的严重损失,从而延长了香雪兰瓶插寿命,提高了观赏品质。在外源糖处理对香雪兰切花作用得到肯定的同时,需要进一步结合显著性分析的结果,接下来着重研究外源糖处理的浓度、时间等因素,以便得到延缓香雪兰切花衰老的最优处理。

参考文献

- [1] 吴岚芳,黄绵佳,蔡世英.两种热带切花衰老过程中呼吸代谢的调控[J].热带作物学报,2002,23(1):40-45.
- [2] 李晓萍,胡文玉.超氧自由基,超氧化物歧化酶及其与植物衰老,抗逆性的关系[J].沈阳农业大学学报,1988,19(2):67-72.
- [3] 王爱国,邹从本,罗广华,等.大豆下胚轴线粒体的衰老与膜脂的过氧化作用[J].植物生理学,1988,14(3):269-273.
- [4] 王华,张继澎.郁金香切花瓶插期的衰老与膜脂过氧化的关系[J].西北植物学报,1994,14(3):220-224.
- [5] 权俊萍,闫洁,李荣,等.月季鲜切花瓶插衰老过程中保护酶活性和脂质过氧化水平初探[J].石河子大学学报(自然科学版),2001(1):30-32.
- [6] 薛秋华,林如.月季切花衰老与含水量,膜脂过氧化及保护酶活性的关系[J].福建农业大学学报,1999,28(3):304-308.
- [7] 柯德森,王爱国.花的脱落与乙烯,生长素类似物及超氧自由基的关系[J].植物生理学通讯,1995,31(1):18-21.
- [8] Wang C Y, Baker J E. Vase life of cut flowers treated with rhizobitoxine analogs, sodium benzoate, and isopentenyladenosine[J]. Hort Science, 1979.
- [9] 吴岚芳,黄绵佳,蔡世英.非洲菊切花活性氧代谢的研究[J].园艺学报,2002,30(1):69-73.
- [10] 彭春秀,艾光艳.影响切花品质的生理生化因素及其采前生长条件研究[J].江苏林业科技,2003,30(2):45-47.
- [11] 黄执纁.墨兰花朵发育和衰老生理的初步研究[J].生物学杂志,2003,20(4):26-27.
- [12] Coorts G D. Internal metabolic changes in cut flowers[J]. Hort Science, 1973,8(3):195-198.
- [13] Rogers M N. An historical and critical review of postharvest physiology research on cut flowers[C]//69. Reunion Anual de la Sociedad Americana de Ciencias Hortícolas, St. Paul, Minn. (USA), 1972.
- [14] 任雪冬,程光荣,王永明.顶空萃取-气相色谱-质谱法分析香雪兰的挥发性成分[J].质谱学报,2007,28(2):83-86.
- [15] Fu Y, Gao X, Xue Y, et al. Volatile compounds in the flowers of Freesia parental species and hybrids[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2007, 49(12):1714-1718.
- [16] Mookherjee B D, Trenkle R W, Wilson R A, et al. Fruits and flowers;

- live vs dead-which do we want? [J]. *Developments in Food Science*, 1988, 18: 415-424.
- [17] Spikman G. The effect of water stress on ethylene production and ethylene sensitivity of freesia inflorescences [J]. *Acta Horticulturae*, 1986, 181: 134-140.
- [18] 苏军, 叶文, 李招文. 小苍兰切花不完全开放的原因探讨及防止措施[J]. *亚热带植物科学*, 1992(1): 7.
- [19] 王雅鑫, 王海英, 周乾, 等. 氮营养对香石竹切花保鲜效果的研究[J]. *广东农业科学*, 2009(9): 81-84.
- [20] Spikman G. Development and ethylene production of buds and florets of cut freesia inflorescences as influenced by silver thiosulphate, aminoethoxyvinylglycine and sucrose[J]. *Scientia Horticulturae*, 1989, 39(1): 73-81.
- [21] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 184-185, 267-268.
- [22] Bielecki R L. Fructan hydrolysis drives petal expansion in the ephemeral daylily flower[J]. *Plant Physiology*, 1993, 103(1): 213-219.
- [23] 郝建军, 康宗利, 于洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 141-142.
- [24] 汤章城. 现代植物生理学实验指南[M]. 上海: 科学出版社, 1999: 303, 308-309.
- [25] 何生根, 植物学, 冯常虎. 切花生产与保鲜[M]. 北京: 农业出版社, 1996.
- [26] 刘玉冬, 杨静慧, 陈琛. 不同药剂处理对玫瑰鲜切花瓶插寿命的影响[J]. *天津农林科技*, 2002(5): 4.
- [27] Marissen N. Source-sink relations in cut rose during vase life [J]. *Acta Horticultural*, 1995, 404: 81-88.
- [28] 王荣华, 王素芳. 不同保鲜剂对非洲菊切花保鲜效果的研究[J]. *江苏林业科技*, 2006, 33(1): 16-18.
- [29] 程诚, 张虎平, 孙军利. 鲜切花保鲜利用的方法[J]. *世界农业*, 2005(7): 43-45.
- [30] Woodson W R. Postharvest handling of bud-cut freesia flowers[J]. *Hort Science*, 1987: 22.
- [31] 高勇, 吴绍锦. 月季(Lady X)切花水分平衡, 鲜重变化和瓶插寿命的相关性研究初报[J]. *南京农业大学学报*, 1989, 12(3): 87-88.
- [32] Otsubo M, Iwaya-Inoue M. Trehalose delays senescence in cut gladiolus spikes[J]. *Hort Science*, 2000, 35(6): 1107-1110.
- [33] Doi M, Reid M S. Sucrose improves the postharvest life of cut flowers of a hybrid Limonium[J]. *Hort Science*, 1995, 30(5): 1058-1060.
- [34] 陈靠山, 张承烈, 梁厚果. 菜豆叶片衰老期间叶绿体被膜脂与脂肪酸组分的变化[J]. *植物生理与分子生物学学报*, 1991(2): 4.
- [35] Borochoy A, Woodson W R. Physiology and biochemistry of flower petal senescence[J]. *Horticultural Reviews*, 1989(11): 15-43.
- [36] 李江遐, 林文丽. 不同保鲜剂对玫瑰切花的保鲜效果[J]. *安徽农业科学*, 2002, 30(1): 103-104.
- [37] 袁媛, 余忆冬, 连芳青, 等. 小苍兰切花瓶插生理研究[J]. *园艺学报*, 2011, 38(3): 579-586.
- [38] 王华, 张继澍. 小苍兰花朵发育与衰老过程中膜脂过氧化研究[J]. *西北农业大学学报*, 1994, 22(2): 72-75.
- [39] Harman D. The free radical theory of aging[J]. *Antioxidants and Redox Signaling*, 2003, 5(5): 557-561.
- [40] 莱谢姆, 胡文玉. 植物衰老过程和调控[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1990: 150-165.
- [41] 王宝山. 生物自由基与植物膜伤害[J]. *植物生理学通讯*, 1988(2): 12-16.
- [42] 舒祯. 香雪兰花朵衰老的生理生化研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [43] 李柏林, 梅慧生. 燕麦叶片衰老与活性氧代谢的关系[J]. *植物生理与分子生物学学报*, 1989, 15(1): 6-12.
- [44] 李霞, 张玉刚, 郑国生, 等. 芍药切花瓶插期衰老进程及膜脂过氧化研究[J]. *园艺学报*, 2007, 34(6): 1491-1496.
- [45] Droillard M J, Paulin A, Massot J C. Free radical production, catalase and superoxide dismutase activities and membrane integrity during senescence of petals of cut carnations (*Dianthus caryophyllus*) [J]. *Physiologia Plantarum*, 1987, 71(2): 197-202.
- [46] 薛秋华, 孙玲, 潘东明. 百合切花衰老过程中生理变化初报[J]. *中国农业学报*, 2005, 21(11): 179-181.
- [47] 于凤鸣. 紫丁香花开放与衰老中几项生化指标的研究[J]. *河北职业技术学院学报*, 2000, 14(3): 36-38.
- [48] 林如, 薛秋华. 唐菖蒲鲜切花瓶插衰老过程中抗氧化酶活性和膜脂过氧化水平初探[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2002, 31(3): 352-355.
- [49] Pauls K P, Thompson J E. Evidence for the accumulation of peroxidized lipids in membranes of senescing cotyledons[J]. *Plant physiology*, 1984, 75(4): 1152-1157.

Effect of Exogenous Sugars on Active Oxygen Balance of Cut *Freesia* Flowers

LIU Ya-jie, CHANG Ping, TANG Dong-qin

(School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

Abstract: Taking cut flowers of *Freesia hybrid* 'Shangnong Jinhuanhou' as material, being immersed in 6% glucose solution (treatment group) and distilled water (control), respectively, the changes of antioxidant enzyme activity and membrane lipid peroxidation level in petals during vase holding were studied. The results showed that the vase life of a whole inflorescence was about 10 d, while an individual floret was less than one week. Water absorption content in petals changed obviously during the vase holding, with a decrease in the early stage and picking up after 7 d. Soluble protein content in control showed a trend of gradual decline, while a peak was observed at 4 d in treatment group followed by a constant decrease up to the end of vase holding. Superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) activities had a consistent trend, rising early and then decreasing during the vase holding. However, peroxidase (POD) activity presented a constant increase trend. Meanwhile, a significant difference in POD activity was observed at different position of freesia

采后不同钙浓度处理对贮藏期间 苹果硬度及果胶含量的影响

贺 芬 芬, 刘 成 连, 原 永 兵, 王 永 章, 沈 俊 岭

(青岛农业大学 园艺学院, 山东 青岛 266109)

摘 要:以“富士”苹果为试材,采用 0%、2%、3%、4% 4 种不同浓度的 CaCl_2 浸泡果实,研究了苹果采后不同浓度钙处理对贮藏期间苹果果实硬度和不同种类果胶含量的影响,以期探明莱西地区“富士”苹果采后钙处理的最适应浓度。结果表明:随着贮藏时间的延长,苹果果实的硬度下降,水溶性果胶(WSP)含量增加,共价结合果胶(CSP)含量减少,离子型果胶(ISP)含量变化不大;苹果果实硬度与 WSP 含量呈极显著负相关,与 CSP 含量呈极显著正相关,与离子型果胶(ISP)无显著相关性;与对照相比,不同浓度的钙处理都能改善贮藏期间苹果果实的硬度,能减缓 WSP 含量的增加和 CSP 含量的减少;4 种浓度的钙处理中以 2% CaCl_2 处理的效果最好;采后钙处理能有效保持苹果在贮藏期间的硬度,有效减缓 WSP 含量的增加和 CSP 含量的减少,从而延缓了果实的软化,延长了苹果的货架寿命。

关键词:苹果;钙;硬度;果胶

中图分类号:S 641.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)09-0147-04

我国是世界上水果生产大国,苹果是我国水果中主要的品种之一。随着生活水平的提高,人们对苹果的品质要求也越来越高。如何保持采后果实的品质,已成为近年来的研究热点。果实采后仍然是一个活体,可以进行生理代谢活动。果实软化是贮藏期间果实主要的生理表现,也是衰老的主要特征之一,是决定果实能否长期贮藏的关键因素,与细胞膜和细胞壁特性的关系

较为密切^[1]。外源钙延缓果实衰老,可以保持较高的果实硬度^[2]。钙是细胞壁的重要组成部分, Ca^{2+} 与细胞壁果胶多糖形成络合物,增强细胞壁强度,保护细胞壁不受降解酶影响,从而稳定细胞壁结构^[3]。果实补钙的方式一般有采前补钙和采后补钙。据报道,采后补钙可以提高贮藏期间苹果^[4]和桃^[5]的硬度,同时还提高了贮藏过程中果实细胞壁不溶性果胶/可溶性果胶的比例^[6],并能改善甜瓜^[7]、梨^[8]、李^[9]、蜜柑^[10]和甜樱桃^[11]的果实品质。

该试验主要采用 0%、2%、3%、4% 4 种不同浓度的 CaCl_2 浸泡果实,研究采后不同钙浓度处理对贮藏期间苹果果实硬度及不同种类果胶含量的影响,以了解莱西地区“富士”苹果采后钙处理的最适应浓度,以为当地采后苹果品质的保持提供一定的理论依据。

第一作者简介:贺芬芬(1988-),女,山东潍坊人,硕士研究生,现主要从事果树栽培与生理等研究工作。E-mail: feng.169.love@163.com.

责任作者:刘成连(1956-),男,山东栖霞人,教授,研究方向为果树栽培生理与分子生物学。E-mail: fmdb@qau.edu.cn.

收稿日期:2013-12-10

inflorescence, the highest activity and the lowest activity presented in base floret and upper floret at the same vase time, respectively. The content of Malondialdehyde (MDA) accumulated gradually during vase holding, and the higher MDA content was observed in base floret than that in middle floret and upper floret at the same vase time, respectively. The content of super oxygen free radicals (O_2^-) increased obviously at 2 d followed by a drop at 4 d, and then increased up to the end of vase holding. Change trend of treatment group was consist with control, but O_2^- content was varied in different periods and disparate positions of the inflorescence. The results revealed that the water loss, decreased activity of antioxidant enzymes, the accumulation of O_2^- and the rising of membrane lipid peroxidation level were considered to be the main causes of senescence of cut *Freesia* flowers.

Key words: *Freesia hybrid*; vase holding; petals aging; active oxygen balance