

切花菊远距离运输中水势变化及预处液研发

李 丽¹, 关 玥¹, 刘克信², 李春杰², 曾海鹏², 欧阳琳¹, 洪 波¹,
高俊平^{1,*}

(¹中国农业大学观赏园艺与园林系, 北京 100193; ²北京双卉新华园艺有限公司, 北京 102100)

摘 要: 以切花菊‘神马’为试材, 探索了远距离运输导致其花朵开放过速的原因, 并通过改良切花菊预处理液配方, 延长其远距离运输后的瓶插寿命。对经模拟远距离运输又复水后的切花菊花朵和叶片水势测定的结果表明, 长时间 2 °C 冷链运输后, 切花菊花朵和叶片水势下降可达 10×10^5 Pa。花朵的过速开放是由瓶插复水时水势骤变导致, 单位时间内水势差越大花朵开放速度越快。花枝在长途运输时逐渐失水, 增加了复水时花枝内外的水势差, 致使复水时水分供应快速, 促进花头花瓣快速扩展。在传统配方基础上添加适量的 N - 苯基 - N' - 1,2,3 - 噁二唑 - 5 - 脲 (TDZ) 可减缓花朵花冠直径增长速度、延缓叶片衰老, 改良后的最佳预处液配方为: $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 8 - 羟基喹啉 (8-HQ) + $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 柠檬酸 (CA) + $2 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 聚氧乙烯 - 8 - 辛基苯基醚 (Triton X-100) + $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 维生素 C + $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ TDZ + 1% 蔗糖, 在实践操作中该配方便使切花菊瓶插寿命比对照延长了 3 d。

关键词: 切花菊; 采后; 远距离运输; 保鲜技术

中图分类号: S 682.1⁺1

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2013) 11-2213-09

Change Pattern of Water Potential After Long-distance Transportation and Development of Pretreatment Solution for Cut Chrysanthemum

LI Li¹, GUAN Yue¹, LIU Ke-xin², LI Chun-jie², ZENG Hai-peng², OUYANG Lin¹, HONG Bo¹, and GAO Jun-ping^{1,*}

(¹Department of Ornamental Horticulture and Landscape Architecture, China Agricultural University, Beijing 100193, China; ²Beijing Shuanghui Xinhua Horticulture Co. Ltd., Beijing 102100, China)

Abstract: Cut chrysanthemum ‘Jinba’ was used in this study to investigate the possible reason for accelerated flower opening after long distant transportation. Its vase life was prolonged by using optimized pretreatment solution. Measurements of water potential the cut flowers after simulative long distance transportation in cold (2 °C) showed considerable drop (10×10^5 Pa) in water potential in both leaves and flowers during cold chain. The flower opening acceleration was likely due to abrupt change in water potential, and the level of water potential drop was consistent with enhanced flower opening rate. High water loss from branches of flowers during long distant transportation caused a drastic rise in water potential, which triggered rapid water absorption and simultaneously resulted in faster flower petals expansion. Adding appropriate amount of thidiazuron (TDZ) to original solution delayed leaf and

收稿日期: 2013 - 05 - 06; 修回日期: 2013 - 09 - 02

基金项目: 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (200903020); 农业部 ‘948’ 重点项目 (2011-G17)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: gaojp@cau.edu.cn; Tel: 010-62733848)

flower senescence. An efficient pretreatment solution was formulated, which contained $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 8-HQ + $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ CA + $2 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ Triton X-100 + $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ vitamin C + $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ TDZ + 1% sucrose. Pretreatment of this solution prolonged vase life of cut chrysanthemum by more than 3 days.

Key words: cut chrysanthemum; postharvest; long distance transportation; preservation technology

切花菊 (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) 在切花生产中占有很大的份额。中国切花菊的生产地分布比较集中, 异地之间的余缺互补主要通过远距离运输调节, 而远距离运输常常会导致花枝复水后花朵开放受阻或者开放过快, 引起花朵萎蔫、脱落, 叶片早衰、干枯, 茎叶黄化, 瓶插寿命减低等, 造成流通损耗严重 (高俊平和金基石, 2004)。

鲜切花采后贮藏运输期间的保鲜技术包括预冷处理 (高俊平 等, 1994, 1995)、低温冷藏 (罗红艺, 1998)、气调贮藏 (林艳和赵丽惠, 1997)、减压贮藏 (杨李欣, 2001)、抗蒸腾剂法 (杨立新, 2002)、聚乙烯薄膜包裹 (高俊平 等, 1995)、以及保鲜剂的使用 (于雪莹和杨轶华, 2003) 等。其中较为常用的低温冷藏是把鲜切花保存在低温环境下以延长鲜切花寿命。鲜切花采后瓶插寿命长短取决于吸水与失水间的平衡关系, 鲜切花采收后, 根系的水分供应被切断, 叶面蒸腾量大于吸水量造成失水胁迫 (侯勇 等, 1996), 加速了切花衰老。低温冷藏可降低鲜切花自身的呼吸消耗和代谢速率, 从而延缓切花寿命 (Rudnicki et al., 1986)。保鲜剂主要分为预处理液、催开液及瓶插液 3 类, 依据切花采后不同保鲜阶段而使用。其中预处理液是在鲜切花采收后, 贮藏运输前, 进行预处理所用的保鲜液, 主要目的是促进花枝吸水、提供营养物质、灭菌、降低乙烯生成量, 延缓鲜切花衰老 (何永进 等, 1997), 成分包括杀菌剂、高浓度糖以及可以调整 pH 的弱酸类物质等。

切花菊采后保鲜处理主要采用预处理液处理, 但经远距离运输导致的叶片衰老和花朵开放加速、瓶插寿命缩短仍然是切花菊采后保鲜的严重问题。本研究中针对切花菊远距离运输的保鲜预处理需求, 通过测定不同冷藏处理的切花菊复水后的水势变化, 观察花朵开放速度和瓶插寿命, 初步探索了长时间低温处理引起的花枝水势变化模式与瓶插寿命的关联, 并研发了切花菊采后远距离运输的保鲜预处理技术。

1 材料与方法

1.1 植物材料

‘神马’切花菊由北京双卉新华园艺公司提供, 2012 年 4 月在大棚内种植, 7 月中旬至 8 月中旬采收, 花枝采切长度为 70 cm, 花蕾大小约 2 ~ 3 cm, 以花萼包裹花头 1/2 为准。

1.2 试验方法

1.2.1 切花菊模拟长途运输试验

将采收后的切花菊放置冷库内模拟长途运输, 冷藏时间为 18 d, 冷藏温度为 2°C 。取当日采收的新鲜切花作为对照 1 (CK1)。对冷藏 18 d 的花枝进行复水瓶插并测量瓶插寿命、花冠直径和花朵开放级别, 每处理 10 枝重复。

对 2°C 冷藏 4、12 和 18 d 的切花菊样本分别进行花枝复水 0、15 min、2 h、1 d、2 d、4 d 和 8 d, 测定相应的花朵水势和叶片水势。每处理 10 枝重复, 自瓶插日开始, 测定瓶插寿命、花冠直径和花朵开放级别。

1.2.2 切花菊最佳预处理液的筛选试验

在预处理液基本成分(M: 200 mg · L⁻¹ 8-HQ + 200 mg · L⁻¹ CA + 2 mL · L⁻¹ Triton X-100 + 100 mg · L⁻¹ 维生素 C) 基础上设计 A1 ~ A4 种处理(表 1), 以经冷藏的花枝清水处理为对照 2 (CK2)。在 A3 配方的基础上, 对 TDZ 浓度进行优化, 设置 A3-1 和 A3-2 (表 1)。

将采收的切花菊花枝进行以上不同预处理液处理 12 h 后, 放置 2 °C 冷库中模拟实际生产的长途运输情况, 18 d 后取出室温 24 °C 下置于水中瓶插, 每天在水中剪枝 1 次, 每次剪掉花茎约 2 cm, 记录瓶插寿命、叶色、花冠直径以及花朵开放级别。每处理 10 枝重复。

1.2.3 预处理液模拟长途运输试验

选择能促进花朵开放的保鲜预处理液 A2 (200 mg · L⁻¹ 8-HQ + 200 mg · L⁻¹ CA + 2 mL · L⁻¹ Triton X-100 + 100 mg · L⁻¹ 维生素 C + 20 mg · L⁻¹ GA + 1% 蔗糖) 和能有效维持叶片颜色且延缓花朵开放预处理液 A3-2 配方 (200 mg · L⁻¹ 8-HQ + 200 mg · L⁻¹ CA + 2 mL · L⁻¹ Triton X-100 + 100 mg · L⁻¹ 维生素 C + 0.05 mg · L⁻¹ TDZ + 1% 蔗糖), 对切花菊复水后水势变化模式进行探索。对田间采回的切花菊分别用两种预处理液 A2 和 A3-2 瓶插处理 12 h, 以生产上采用的清水处理 CK2 为对照, 冷藏 18 d 后, 将切花菊从冷库中取出, 置于水中瓶插, 以不经冷藏的新鲜花枝 CK1 为对照, 分别测量 0、15 min、2 h、1 d、2 d、4 d、8 d 各时间点的花朵水势和叶片水势, 并测定花冠直径, 确定花朵开放级别及瓶插寿命, 每处理 10 枝重复。

1.2.4 预处理液的实际远距离运输试验

以筛选出的最佳配方 A3-2 对花卉企业实际出口日本的切花菊进行预处理, 对日方用户反馈切花保鲜效果进行统计分析。共实际处理切花菊 4 批次, 每批次 300 枝, 共用材 1 200 枝。

1.3 指标测定

花朵开放级别的确定: 花朵开放级别参照关玥 (2012) 的标准, 针对目前市场需求, 将切花菊花朵开放级别划分为 11 级 (图 1): 1 级, 萼片包裹花头 2/3, 花瓣紧抱; 2 级, 萼片包裹花头 1/2, 花瓣紧抱; 3 级, 萼片包裹花头 1/3, 花瓣紧抱; 4 级, 花瓣有 1 ~ 3 片翘起, 其他花瓣紧抱; 5 级, 花头松散, 但不露心; 6 级, 花瓣外层微展, 可略微看到花心; 7 级, 花瓣外几层趋于立起, 露出大部分花心; 8 级, 外层花瓣完全立起, 花心全部露出; 9 级, 外 3 层花瓣舒展, 整体花头成杯状; 10 级, 外层花瓣水平展开, 高度低于次外层花瓣, 内层花瓣蜷缩; 11 级, 外层花瓣下垂, 内层花瓣全部伸展。采切时期一般为 1 ~ 3 级, 冷藏运输到货时要求花朵开放程度不高于 5 级, 对于鲜切花来说, 5 ~ 10 级为可观赏级别, 其中 9 级为最佳观赏级别。

瓶插寿命的测定: 采用目测统计法。自瓶插之日起, 至外缘花瓣萎蔫、花朵开放大于 10 级, 且叶片衰老和黄化程度达到 3 级时所用的天数。

花冠直径的测定: 用游标卡尺以“双十字法”测定花冠最大直径。

叶片颜色测定: 用英国皇家园艺学会比色卡 (RHSCC) 为参照, 将叶片颜色分为: 墨绿、绿、浅绿、黄绿、黄、褐色, 标记其分值由 5 至 1。

花朵和叶片水势测定: 采用 SAPS II 便携式植物水势仪 (3115 型) 测定。将花头整齐切下, 测定距离切口长 1.5 cm 处水势值; 从花头向下数第 8 ~ 10 片叶片, 测定叶柄距切口长 2.0 cm 处水势值。

表 1 用于切花菊 ‘神马’ 的预处理液成分配方表

Table 1 Ingredients of pretreatment solution for cut chrysanthemum ‘Jinba’

处理 Treatment	基本成分 Basic composition	蔗糖/% Sucrose	GA/ (mg · L ⁻¹)	TDZ/ (mg · L ⁻¹)
A1	M	1	-	-
A2	M	1	20	-
A3	M	1	-	0.10
A3-1	M	1	-	0.02
A3-2	M	1	-	0.05
A4	M	-	-	0.10
CK2	清水冷藏处理 Water and cold treatment			
CK1	清水不冷藏处理 Water without cold treatment			

M: 200 mg · L⁻¹ 8-HQ + 200 mg · L⁻¹ CA + 2 mL · L⁻¹ Triton X-100 + 100 mg · L⁻¹ vitamin C.



图1 切花菊‘神马’花朵开放级别的划分

Fig. 1 Division of flower opening index for cut chrysanthemum 'Jinba'

2 结果与分析

2.1 低温贮藏对切花菊水势和瓶插寿命的影响

低温冷藏会加速切花菊花朵瓶插复水后的开放，缩短瓶插寿命。如图2，A所示，经冷藏18 d的花枝在复水后瓶插的前4 d里花冠直径即迅速增大，8 d时达到最大值7.6 cm，随后开始萎蔫，观赏期结束。而对照1（CK1）不经冷藏的鲜花花枝在复水瓶插的过程中花冠直径缓慢增大，瓶插寿命可延长至13 d。图2，B也显示了冷藏花枝复水后的开放速度明显快于鲜花瓶插对照，在瓶插7 d时冷藏处理花朵级别达到9级而对照1花朵级别仅为7级。

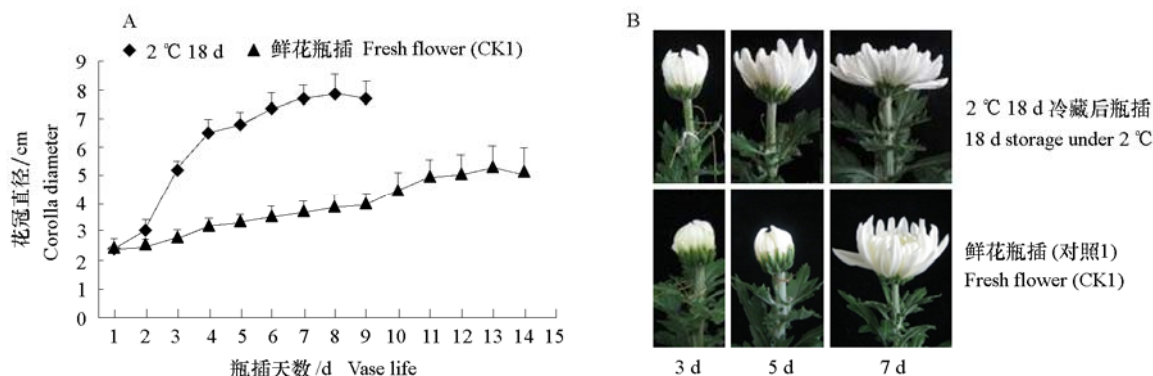


图2 冷藏对切花菊花朵开放速度的影响

Fig. 2 Effect of low temperature storage on flower opening of cut chrysanthemum

通过测定低温储藏不同时间下的花枝叶片和花梗的水势值，发现冷藏对切花菊花朵开放速度的影响与切花菊复水后的水势变化具有很大的相关性。冷藏时间越长，叶片、花朵的水势值越低，复水时产生的水势差越大，花朵开放速度越快（图3）。

由图3，A可看出，不经冷藏的鲜花CK1在瓶插的8 d里叶柄水势变化幅度很小。冷藏4 d、12 d、18 d的花枝，叶柄水势降幅巨大，分别为 -6.5×10^5 、 -8.5×10^5 和 -12.5×10^5 Pa；在复水2 h后均接近 -3×10^5 Pa，随后逐渐下降至 -8×10^5 Pa左右。由图3，B可看出，冷藏时间越久，花梗的初始水势越低。CK1的花朵初始水势为 -0.5×10^5 Pa，瓶插过程中缓慢下降，降幅约 2×10^5 Pa。而冷藏4 d、12 d、18 d的花朵在复水初期水势分别为 -5×10^5 、 -5.5×10^5 和 -8×10^5 Pa，在复水2 h后都升至 -2×10^5 Pa，随后下降至 -7×10^5 Pa左右，其中冷藏18 d的花枝水势下降速度最快。图3，C表明，花冠直径的增长速度也是随冷藏时间的延长而加快。上述结果表明，低温贮藏过程中切花失水，水势下降，复水时巨大的水势差导致花枝快速吸水，从而花朵迅速开放。

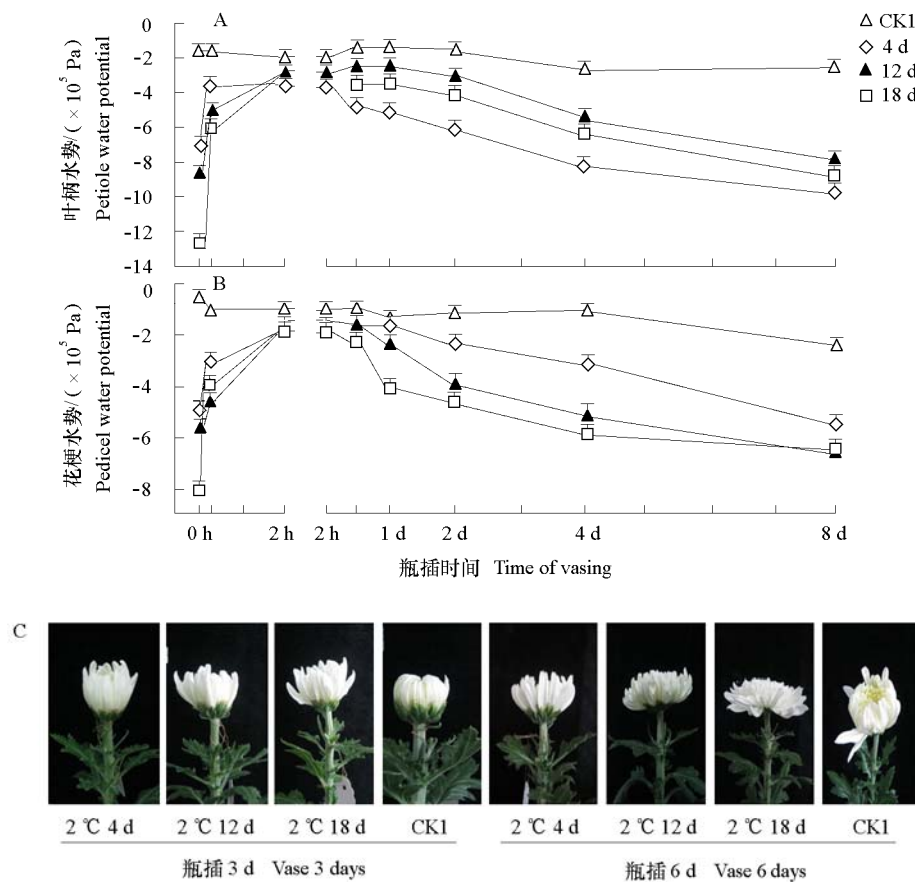


图 3 不同冷藏时间对切花菊瓶插期间花枝水势和花朵开放速度的影响
Fig. 3 Effects of storage times on water potential and flowering process of cut chrysanthemum in vase

2.2 预处理液对切花菊观赏品质和瓶插寿命的影响

蔗糖能有效保持切花菊叶片鲜度，是预处理液中的必要成分。GA 可延长叶片寿命，但会促进花朵开放，不利于冷藏后瓶插。适量的添加 TDZ 和蔗糖能有效改善冷藏处理后的切花菊的瓶插品质。

由图 4 和表 2 可见，分别用 4 种预处理液和清水 (CK2) 在预处理 12 h 后经过 2 °C 18 d 冷藏的花枝，在瓶插复水后，A1、A2 和 A4 预处理液处理的花朵观赏期与清水 CK2 相比小幅度延长 1 d，



图 4 不同预处理液处理的切花菊瓶插寿命
Fig. 4 Vase life of cut chrysanthemums under different pretreatments

对叶片寿命和叶色均起到一定的促进作用, A3 处理花朵开放速度较为平缓, 花朵观赏期可以达到 9 d, 最接近新鲜切花直接瓶插的对照 1, 叶片寿命和叶色得到改善, 综合评级为优秀。因此, A3 配方可为优选预处理液配方。

表 2 不同预处理液处理的切花菊保鲜效果综合评价

Table 2 Comprehensive evaluation of freshness maintenance under different pretreatment solutions

处理 Treatment	蔗糖/% Sucrose	GA/ (mg · L ⁻¹)	TDZ/ (mg · L ⁻¹)	叶片寿命/d Leaf life	叶色级别 Leaf colour stage	花朵观赏期/d Flower ornamental period	评价 Integrate judgement
A1	1	-	-	9	4	8	良 Good
A2	1	20	-	13	5	8	良 Good
A3	1	-	0.10	11	4	9	优秀 Excellent
A4	-	-	0.10	10	3	7	良 Good
CK2	清水冷藏处理 Water and cold treatment			8	3	7	差 Bad
CK1	清水不冷藏理 Water without cold treatment			15	5	14	优秀 Excellent

注: 配置 TDZ 时, 需要以 1 mol · L⁻¹ 的 NaOH 溶解后加水定容。

Note: 1 mol · L⁻¹ NaOH solution is used to dissolve TDZ.

参考 A3 中浓度的设定, 对 TDZ 浓度进一步调整。

如图 5 所示, A3-2 处理相对 A3-1、A3 处理花朵开放速度相对较慢, 可延长切花瓶插寿命 1 d。由此说明 TDZ 最适浓度为 0.05 mg · L⁻¹, 切花菊远距离运输最优的保鲜预处理液配方为: 200 mg · L⁻¹ 8-HQ + 200 mg · L⁻¹ CA + 2 mL · L⁻¹ Triton X-100 + 100 mg · L⁻¹ 维生素 C + 0.05 mg · L⁻¹ TDZ + 1% 蔗糖。

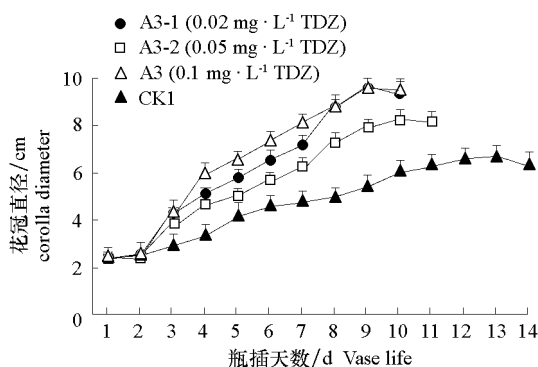


图 5 不同 TDZ 浓度对切花菊瓶插中花冠直径的影响

Fig. 5 Effect of pretreatments with different TDZ concentrations on corolla diameters of cut chrysanthemum

2.3 预处理液对冷藏后切花水势和瓶插寿命的影响

使用能延缓花朵过速开放的预处理液 A3-2 配方处理切花菊, 以含 GA 成分的 A2 配方为参照, 测定了两种预处理液处理后经长期低温贮藏的下花枝水势的变化, 结果表明预处理液的使用能减少花枝失水, 而花梗水势的变化幅度可能是决定花朵开放速率的重要因素。

CK1 花枝的初始水势为 -1.5×10^5 Pa, A2 和 A3-2 处理的叶片初始水势为 -8×10^5 Pa, CK2 花枝叶柄初始水势为 -12.5×10^5 Pa, 表明在冷藏前用 A2 和 A3-2 预处理液处理有利于减少贮藏期间花枝的失水 (图 6, A)。CK1 花枝在 8 d 的瓶插过程中花梗水势在 -1.5×10^5 与 -2.5×10^5 Pa 之间变化, 整体趋势稳定。含有 GA 的 A2 配方处理的花枝水势降到 -7×10^5 Pa, 2 h 内水势上升至 -0.5×10^5 Pa, 水势差为 6.5×10^5 Pa, CK2 花枝在 2 h 内水势差为 6×10^5 Pa, 而 A3-2 的水势差仅有 1×10^5 Pa, 与 CK1 接近 (图 6, B), 可见预处理液 A3-2 可有效降低花枝水势差值。花朵开放的速率与花梗处水势变化幅度直接相关, A2 处理的花枝在瓶插时产生的水势差最大 (6.5×10^5 Pa), 复水后花朵开放速度也最快; 而 A3-2 处理的花枝瓶插时产生水势差较小 (1×10^5 Pa), 其花朵开放级别也最接近 CK1 花枝 (图 6, C)。瓶插复水第 6 天 (图 6, D), A2 处理的花冠直径最大, 而 A3-2 处理花朵开放程度最接近对照 2。与不经低温贮藏的 CK1 相比, 经预处理液处理的花枝失水较少, 整体叶片挺立, 而清水处理的 CK2 花枝叶片呈现萎蔫状态。表明采用预处理液 A3-2 处理, 可以有效的改善切花菊 ‘神马’ 花朵开放过速问题。

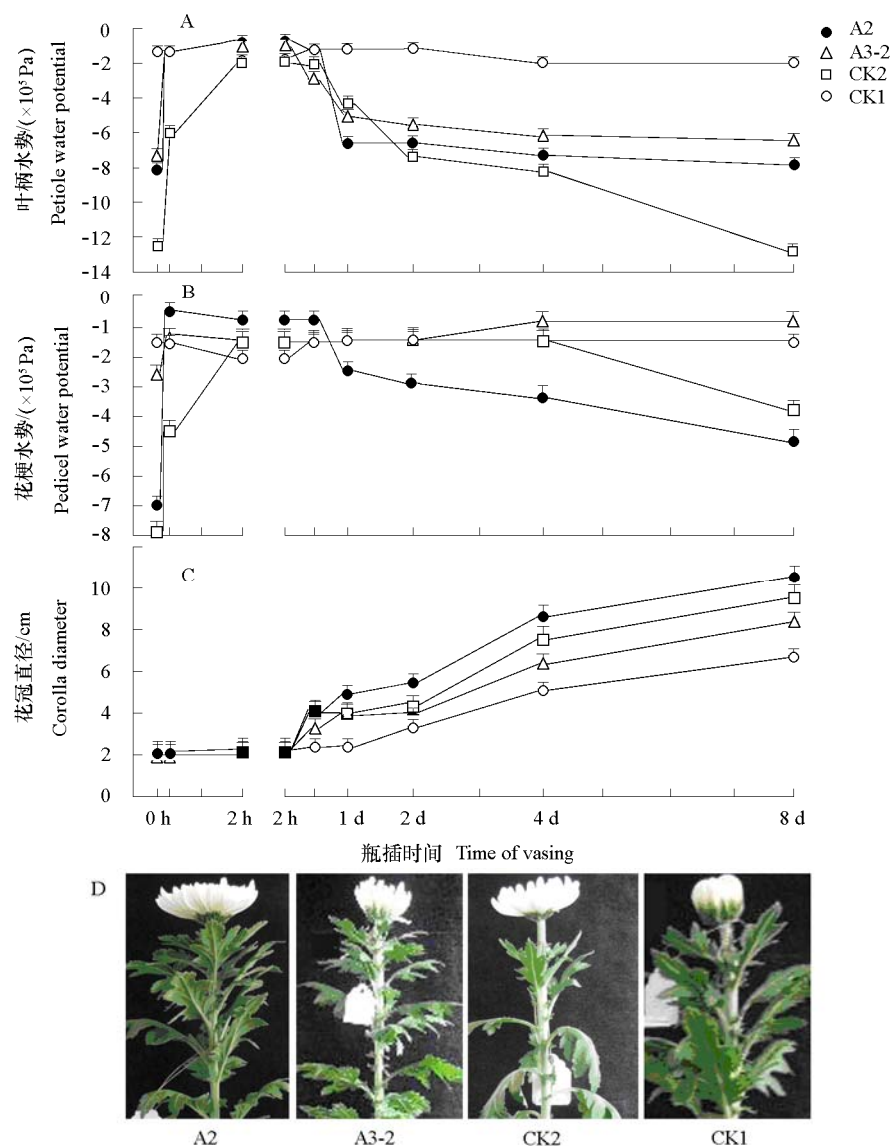


图 6 不同预处理液对切花菊冷藏后叶柄花梗水势和花朵开放速度的影响

Fig. 6 Effect of different pretreatments on leaf and bud water potential and flower opening process of cut chrysanthemum in vase

2.4 预处理液在实际远距离运输中的应用

北京信采种养殖有限公司在切花菊出口的产销中,使用了 A3-2 配方处理运输前的切花。切花试验箱随同生产货物通过船运到达日本大阪,途中经由冷链运输 12 d,再经由日本的花卉销售商转到各公司、花店等,共历时 16 d。从日方反馈的表 4 中可见,经 16 d 冷链运输后,预处理液处理的花枝在开箱时花头仅为 3 级,小于清水处理 CK2 (5 级),同等条件下瓶插,开放速度慢于 CK2,并且在花朵和叶片的保鲜度上优于清水处理 CK2,瓶插寿命延长了 3 d,与模拟试验的结果相一致。

表 4 切花菊经船运到日本大阪市场后保鲜情况反馈表

Table 4 Feedback of freshness maintenance of cut chrysanthemums from flower market of Osaka, Japan after ship transportation

处理 Treatment	预处理液成分 Pretreatment solution	花朵开放级数 Flower stage	花朵开放速度 Flower opening rate	花头新鲜度 Flowerbud freshness	叶片新鲜度 Leaf freshness	花朵观赏期/d Flower ornamental period
A3-2	M + 0.05 mg · L ⁻¹ TDZ + 1% 蔗糖 Sucrose	3	慢 Slow	优 Excellent	优 Excellent	10
CK2	清水 Water	5	快 Fast	良 Good	良 Good	7

3 讨论

水分是影响切花菊瓶插寿命的主要因素。切花在贮藏期间长时间缺水,植物组织内水势低,在复水过程中,由于蒸腾作用,叶片和花朵中水分快速上升,导致花枝内部水势差值增大和花朵开放速度加快。在本试验中,花枝的失水程度影响着瓶插寿命,复水时水势差越大,花朵在瓶插后期的开放速度越快。采用保鲜剂预处液处理可以有效的缓解冷藏时切花菊水势降低的程度,从而减慢切花菊开放速度,减缓叶片衰老,延长瓶插寿命。但由于传统保鲜剂可以促进鲜切花在复水过程中的吸水,所以经常导致花朵开放速度加快,虽然瓶插寿命被延长,但可观赏寿命并未延长,没有提升切花的商品经济价值。大量研究证明在保鲜液中加入蔗糖可有效地补充鲜切花在贮藏中对养分和能量的需要,从而提高切花菊的贮后品质(高勇和吴绍锦,1990)。但蔗糖浓度偏高,瓶插寿命反而会缩短,这是因为高浓度的蔗糖不利于切花水分平衡的保持。

叶片亦是切花重要的质量指标(Halevy, 1995)。与其它类别的鲜切花相比,菊花的瓶插寿命相对比较长,其质量下降主要还由于水分运输受阻导致叶片膨压下降,叶绿素解体,提前萎蔫黄化。因此,克服菊花叶片早衰是切花菊保鲜中要考虑的重要问题。本试验在解决花朵开放过速问题的同时,充分考虑了保持叶片鲜度的问题,经多次预试验确定了1%的蔗糖浓度设置。

植物中的细胞分裂素与植物衰老密切相关,能降低细胞和组织中的活性氧,阻止细胞膜脂质氧化,维持细胞膜结构,并调控乙烯和 ABA 对植物衰老的作用,从而延缓叶片或其他植物组织的衰老(杨晓红等,2006)。由于根部是合成细胞分裂素主要器官,细胞分裂素不足的叶片和花朵容易衰老。TDZ 是一种高效生物调节剂,能维持细胞膜结构(Capelle et al., 1983; Visser et al., 1992),抑制脂质过氧化作用和叶绿体的降解(You et al., 1992),并通过调控细胞分裂素和生长素来增加切花的瓶插寿命(徐晓峰和黄学林,2003)。在我们的研究中发现,TDZ 影响细胞内水势变化,对延迟切花菊花朵开放有着较好的效果,证明了 TDZ 能较好的调节细胞膜结构的结论。本研究中预处液 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 8-HQ + $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ CA + $2 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ Triton X-100 + $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 维生素 C + $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ TDZ + 1%蔗糖使切花菊‘神马’叶片寿命由 8 d 延长至 11 d,也证明了 TDZ 在缓解叶绿素降解方面具备一定功能。

由叶片水势的测定可知,几种不同处理的花枝在初始复水时产生的水势差较大,且都在 2 h 左右达到最大水势值。切花菊采后瓶插初期,在切口附近被空气充满的导管会很快被水溶液替代,瓶插液和切口以上的导管之间的水分运输被重新连接起来,复水能力也会逐渐恢复;瓶插数小时后产生的气泡会部分或全部溶解在周围的水溶液中,水分运输也会逐渐通畅(Van Meeteren & van Nijse, 2002)。在瓶插后期,由于导管被细菌堵塞或因自然衰老而丧失有效运输功能,导致蒸腾和供水平衡被打破,使得花枝叶片水势与花梗水势都降低。伴随着叶柄水势逐渐下降,叶片出现衰老萎蔫现象,但水势的下降速度与复水前期的水势差大小无正向关系。经长时间冷链运输后,花枝失水严重,瓶插复水时花朵水势差越大,花朵开放速度越快。叶片水势值的上升与花朵水势值上升时期一致,表明水经由蒸腾作用被吸上花枝顶部后,使花瓣基部细胞膨大,改变弯曲角度,从而使花瓣展开。但外层花瓣与内层花瓣复水顺序仍不明确,相关研究还有待进一步探索。

References

- Capelle S C, Mok D S, Kirchner S C. 1983. Effects of TDZ on cytokinin autonomy and the metabolism of N6-(DELTA2-isopen-tenyl) [8-14C] adenosine in callus tissues of *Phaseolus lunatus* L. *Plant Physiol*, 73: 796 - 802.
- Gao Jun-ping, Sun Zi-ran, Zhou Shan-tao. 1995. Main ways to reduce loss of fresh cut flower in long-distance transportation in China. *Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis*, 21: 84 - 88. (in Chinese)

- 高俊平, 孙自然, 周山涛. 1995. 我国鲜切花远距离流通中减少损耗的基本途径. 北京农业大学学报, 21: 84 - 88.
- Gao Jun-ping, Sun Zi-ran, Zhou Shan-tao. 1994. Studies on the water loss and compensation of cut rose during process of vacuum precooling. *Acta Horticulturae Sinica*, 21 (4): 381 - 385. (in Chinese)
- 高俊平, 孙自然, 周山涛. 1994. 月季切花真空预冷水分损失与补充的研究. 园艺学报, 21 (4): 381 - 385.
- Gao Jun-ping, Jin Ji-shi. 2004. Cut flower production in China and the postharvest circulation status analysis. *Storage and Process*, 4 (5): 1 - 2. (in Chinese)
- 高俊平, 金基石. 2004. 我国鲜切花生产与采后流通现状浅析. 保鲜与加工, 4 (5): 1 - 2.
- Gao Yong, Wu Shao-jin. 1990. Studies on the physiological changes and senescence of cut rose during vase-holding life. *Acta Horticulturae Sinica*, 17 (1): 71 - 75. (in Chinese)
- 高 勇, 吴绍锦. 1990. 月季切花瓶插期间生理变化与衰老关系的研究. 园艺学报, 17 (1): 71 - 75.
- Guan Yue. 2012. The development of perseveration technology of long distance transportation of cut chrysanthemum 'Jinba' [M. D. Dissertation]. Beijing: China Agricultural University. (in Chinese)
- 关 玥. 2012. 切花菊 '神马' 采后远距离运输保鲜技术研究[硕士论文]. 北京: 中国农业大学.
- Halevy A H. 1995. The use of plant bioregulators in ornamental crops. *Acta Horticulturae*, 393: 37 - 43.
- He Yong-jin, Zhang Ji-hua, Rao Si-jun. 1997. Cut flower preservative types and application technology. *Agriculture Products Development*, 1: 38 - 40. (in Chinese)
- 何永进, 章继华, 饶思军. 1997. 切花保鲜剂种类及应用技术. 农牧产品开发, 1: 38 - 40.
- Hou Yong, Zhang Jing, Ma Guo-rui, Xia Zhong-mei, Tong Feng. 1996. Mechanism and technique of preserving fresh for cut flower. *Resource Development & Market*, 12 (6): 246 - 248. (in Chinese)
- 侯 勇, 张 静, 马国瑞, 夏中梅, 童 风. 1996. 切花保鲜原理与保鲜技术. 资源开发与市场, 12 (6): 246 - 248.
- van Meeteren Ieperen W, van Nijse U J. 2002. Embolism repair in cut flower stems: A physical approach. *Postharvest Biology and Technology*, 25 (1): 1 - 14.
- Lin Yan, Zhao Li-hui. 1997. Declining cut flowers physiological changes and preservation techniques. *Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, 9 (3): 45 - 48. (in Chinese)
- 林 艳, 赵丽惠. 1997. 切花采后衰败的生理变化及保鲜技术. 河北林业科技, 9 (3): 45 - 48.
- Luo Hong-yi. 1998. General principles of keeping cut flower fresh and technology. *Higher Correspondence Education: Natural Science Version*, (1): 39 - 43. (in Chinese)
- 罗红艺. 1998. 切花保鲜的一般原理与技术. 高等函授学报: 自然科学版, (1): 39 - 43.
- Rudnicki R M, Goszczynska D, Nowak J. 1986. Storage of cut flowers. *Acta Horticulturae*, 181: 285 - 297.
- Visser C, Qurseni J A, Gill R. 1992. Morphoregulatory role of TDZ. Substitution of auxin and cytokinin requirement for the induction of somatic embryogenesis in geranium hypocotyls cultures. *Plant Physiol*, 99: 1704 - 1707.
- Xu Xiao-feng, Huang Xue-lin. 2003. TDZ: An efficacious plant growth regulator. *Chinese Bulletin of Botany*, 20 (2): 227 - 237. (in Chinese)
- 徐晓峰, 黄学林. 2003. TDZ: 一种有效的植物生长调节剂. 植物学通报, 20 (2): 227 - 237.
- Yang Li-xin. 2001. Postharvest handling of cut flowers and fresh. *Journal of Henan Forestry Science and Technology*, 21 (3): 29 - 31. (in Chinese)
- 杨李欣. 2001. 切花的采后处理与保鲜方法. 河南林业科技, 21 (3): 29 - 31.
- Yang Li-xin. 2002. The Reason of cut flowers aging and effective measures to anti-aging. *Dandong Textile College*, 9 (2): 9 - 10. (in Chinese)
- 杨立新. 2002. 鲜切花的衰老原因及延缓衰老的有效措施. 丹东纺专学报, 9 (2): 9 - 10.
- Yang Xiao-hong, Chen Xiao-yang, Liu Ke-feng. 2006. The role of cytokinins in retarding of senescence in plants. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 14 (3): 256 - 262. (in Chinese)
- 杨晓红, 陈晓阳, 刘克锋. 2006. 细胞分裂素对植物衰老的延缓作用. 热带亚热带植物学报, 14 (3): 256 - 262.
- You S P, Liang S H, Xu L G. 1992. The effect of TDZ on senescence and some physiological processes in detached leaves of barley. *Journal of Hangzhou University*, 19 (3): 352 - 353.
- Yu Xue-ying, Yang Yi-hua. 2003. Fresh flower foods summary. *Territory & Natural Resources Study*, (2): 95 - 96. (in Chinese)
- 于雪莹, 杨轶华. 2003. 鲜切花保鲜剂研究概述. 国土与自然资源研究, (2): 95 - 96.