

贾 颜,李 茜,李新艺,等. 含 ACC 脱氨酶的植物根际促生菌对月季切花品质与生理的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(16):147-153.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.16.022

# 含 ACC 脱氨酶的植物根际促生菌对月季切花品质与生理的影响

贾 颜,李 茜,李新艺,刘 松,李芹梅,黄美娟,黄海泉

(西南林业大学园林园艺学院/国家林业和草原局西南风景园林工程技术研究中心/

云南省功能性花卉资源及产业化技术工程研究中心/西南林业大学园林园艺花卉研发中心,云南昆明 650224)

**摘要:**研究含 ACC 脱氨酶(1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase)的植物根际促生菌(plant growth promoting rhizobacteria,简称 PGPR)对月季切花卡罗拉采后品质的影响,为菌种资源的开发利用及切花保鲜技术提供理论与技术支撑。以月季切花卡罗拉为材料,采用 4 株含 ACC 脱氨酶的 PGPR 菌株进行瓶插试验,以清水为对照,通过测定其鲜质量、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量、脯氨酸(PRO)含量和乙烯释放量(EP)等指标,探讨不同菌株对卡罗拉切花采后品质的影响。结果表明,含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对卡罗拉采后保鲜效果与 CK 相比均差异显著( $P < 0.05$ ),其中菌株 F195 保鲜效果最佳;菌株 F195 处理下切花鲜质量、花径和瓶插寿命分别提高了 66.78%、43.53% 和 68.56%;抗氧化酶 POD、SOD 和 CAT 活性分别增加了 173.54%、100.76% 和 32.25%;MDA 含量降低了 52.22%;细胞渗透调节物质中可溶性蛋白和可溶性糖含量分别增加了 123.36% 和 80.35%;脯氨酸含量减少了 72.95%;乙烯释放量(EP)降低了 30.71%。主成分分析和聚类分析结果表明,超氧化物歧化酶(SOD)及乙烯释放量(EP)可作为评价不同 PGPR 菌株对卡罗拉瓶插寿命的主要指标,可溶性糖(SS)、可溶性蛋白(SP)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)及丙二醛(MDA)可作为辅助指标。综合比较发现,菌株 F195 在瓶插过程中对月季切花卡罗拉采后品质的保持效果最好。

**关键词:**含 ACC 脱氨酶的 PGPR;月季切花;采后品质;生理指标

**中图分类号:** S685.120.9<sup>+</sup>3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)16-0147-07

月季(*Rosa chinensis* Jacq.)是蔷薇科蔷薇属植物,是常绿或半常绿低矮灌木植物,因四季开花而得名,是世界四大鲜切花之一<sup>[1]</sup>。切花月季因花型高雅、色彩艳丽,被称为“花中皇后”<sup>[2]</sup>,在各国花卉市场中占有重要地位,其中花型优美、颜色鲜艳的切花月季卡罗拉深受人们喜爱,且市场需求量较大<sup>[3]</sup>。切花月季采后易衰老、瓶插寿命短、花朵弯头、花瓣发生褐变等现象是影响其出口的主要限制

因素<sup>[4]</sup>。植物内生菌是指能与寄主一起生存却不影响寄主健康的微生物,主要包括细菌、真菌和放线菌<sup>[5]</sup>。植物内生细菌是一个庞大的群体,其中蕴含着丰富的资源。目前在植物内生细菌研究中,不同学者从不同植物材料中分离出大量内生细菌,其中含 ACC 脱氨酶活性的内生细菌能将 ACC 裂解成  $\alpha$ -丁酮酸和氨,降低植物体内乙烯合成,从而在促进植物生长、延缓植物衰老以及增强植物抗性等方面具有重要的潜力<sup>[6-7]</sup>。漫静等从羊草根际中分离筛选出具有 ACC 脱氨酶活性的内生细菌,通过回接试验发现其内生细菌对羊草生长具有促进作用<sup>[8]</sup>。Ali 等研究发现,含 ACC 脱氨酶活性的菌株对香石竹的瓶插效果显著,使用电镜扫描观察其在香石竹中的定殖情况,发现菌株能通过切口进入切花茎内<sup>[9]</sup>。邓超等研究发现,重瓣百合使用含 ACC 脱氨酶的 PGPR 菌株后能有效提高其鲜切花品质并延缓切花衰老进程<sup>[10]</sup>;Chaouachi 等从番茄植株中分离到的芽孢杆菌和肠杆菌能够改善番茄采后品质<sup>[11]</sup>;田建等从辣椒中分离筛选出的枯草芽孢杆菌能显

收稿日期:2021-10-28

基金项目:国家自然科学基金(编号:31760001);国家林业和草原局推广项目(编号:2020133126);云南省自然科学基金(编号:2011FB067);云南省高校园林植物与观赏园艺科技创新团队及云南省中青年学术和技术带头人培养项目(编号:2015HB046、2018HB024)。

作者简介:贾 颜(1996—),女,山东泰安人,硕士研究生,主要从事园林植物资源与应用研究。E-mail:3282255098@qq.com。

通信作者:黄美娟,博士,教授,博士生导师,主要从事园林植物研究, E-mail:xmhhq2001@163.com;黄海泉,博士,教授,博士生导师,主要从事园林植物研究, E-mail:haiquanl@163.com。

著提高辣椒采后的保鲜品质<sup>[12]</sup>。目前,对含 ACC 脱氨酶的 PGPR 应用于切花月季采后品质方面的研究未见相关报道。因此,探讨含 ACC 脱氨酶的 PGPR 对切花月季采后品质方面的影响具有一定的理论和实践意义。本研究基于课题组前期分离的具 ACC 脱氨酶活性的 PGPR,以花卉市场中热销切花月季品种卡罗拉为试验材料,探讨具 ACC 脱氨酶活性的 PGPR 对其采后品质的影响,筛选出对切花月季卡罗拉保鲜效果较好的菌株,为其后续的开发利用及切花保鲜提供一定的基础数据及科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

瓶插试验于 2021 年 3—6 月在西南林业大学园林园艺学院实验室进行。本研究所用供试菌株为课题组前期分离筛选的具有 ACC 脱氨酶活性的 4 株菌株(分别为 *Pseudomonas* F195、*Stenotrophomonas* L74、*Bacillus* F11 以及 *Arthrobacter* F23)。月季切花卡罗拉于云南昆明斗南花卉市场购买(切花月季于花农处同一批采切,且未经任何处理)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 菌液制备 将试验菌株在无菌环境下分别接种于 TSB 液体培养基中,28 ℃、200 r/min 振荡培养 24 h 后于 4 ℃、8 000 r/min 离心 15 min,弃上层液体培养基,收集菌体。将收集到的菌株与纯水混合,充分摇匀,配制成  $D_{600\text{ nm}}$  为  $0.015 \pm 0.02$  的 PGPR 菌液备用。

1.2.2 试验设计 将开花一致的切花月季卡罗拉浸入纯水中,用无菌枝剪在水中斜面 45°剪切花枝,留枝长度约 30 cm,放入培养瓶中进行瓶插试验。处理分别为 F195、F23、L74、F11 以及对照(CK),共计 5 个处理,每个处理重复 3 次,分别每 2 枝插入 1 个装有 250 mL 处理液的培养瓶中,处理液为菌液和纯水,用保鲜膜将瓶口密封,根据培养瓶中剩余处理液的多少进行补充。

1.2.3 相关指标的测定 使用游标卡尺及电子天平对花径和鲜质量等指标进行测量;SOD、POD、CAT 活性和 MDA 含量参考李合生的方法<sup>[13]</sup>测定;脯氨酸(PRO)、可溶性糖(SS)和可溶性蛋白(SP)含量参考高俊凤的方法<sup>[14]</sup>测定;利用 CID CI-900 便携式乙烯气体分析仪测定花在 5 min 内的乙烯释放量(EP)。

### 1.3 数据处理

使用 Excel 2010 进行数据的整理及制图,使用

SPSS 26.0 软件对数据进行统计分析及多重比较, $P < 0.05$  代表差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对卡罗拉瓶插品质的影响

切花体内水分含量的多少对切花品质具有重要的影响。由图 1-A、图 1-B 可知,随着瓶插期的延长,不同菌株处理下鲜质量和花径的总体变化基本一致,均呈先升后降趋势。在瓶插期间,F195 菌株在所有的处理中均能显著抑制切花鲜质量的下降,在瓶插 8 d 达到了最大峰值,与 CK 相比显著增加了 66.78% ( $P < 0.05$ ) 且能显著推迟达到最大花径的时间,并延长瓶插寿命(图 1-C)。其中 F195 菌株与其他处理相比花径最大,在瓶插 8 d 时达到最大花径,并显著高于 CK,增加了 43.53%,达到最大花径的时间与 CK 相比延长了 4 d,瓶插寿命延长了 4~5 d,与 CK 相比均达到显著差异水平( $P < 0.05$ )。其他不同菌株处理下均能不同程度地抑制鲜质量的下降、增大花径,其中效果最好的是 F195 菌株。

### 2.2 含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对卡罗拉保护酶活性的影响

由图 2 可知,随着瓶插时间的延长,POD、SOD 和 CAT 活性总体变化一致,均呈先升后降趋势,变化幅度差别较大,且与 CK 相比存在显著性差异( $P < 0.05$ )。3 种抗氧化酶在菌株 F195 中均能保持高活性,在瓶插 6 d 达到了所有处理中的最大峰值,且与 CK 相比分别提高了 173.54%、100.76% 和 32.25%,在 6 d 后逐渐出现缓慢下降的趋势。除此之外,菌株 F23 与 L74 变化趋势基本一致,并分别对 POD 和 SOD 活性的促进作用次于菌株 F195,但高于 CK,分别高出 CK 1.18 倍、0.63 倍和 0.83 倍、0.79 倍,而在菌株 F11 处理 3 d 后 POD 活性开始呈下降趋势,且与 CK 相比趋势较为相似。由此说明,使用含 ACC 脱氨酶的菌株 F195 有助于显著提高切花月季卡罗拉 3 种保护酶的活性。

### 2.3 含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对卡罗拉 MDA 含量的影响

由图 3 可知,不同菌株对切花月季卡罗拉的瓶插处理结果表明,其 MDA 含量均呈上升趋势,且经过不同菌株处理后 MDA 含量与 CK 相比存在显著性差异( $P < 0.05$ )。在瓶插 12 d 时,不同菌株处理

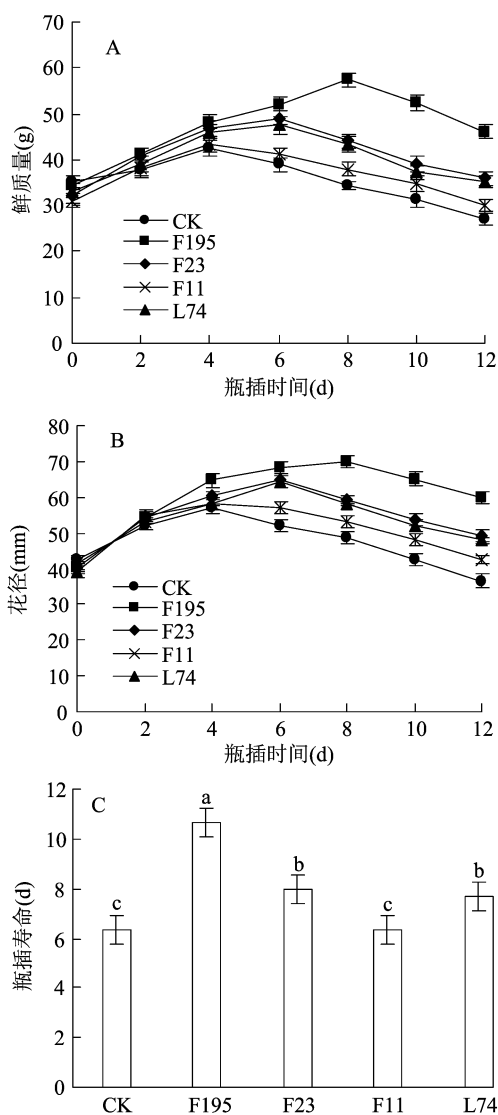


图1 含 ACC 脱氢酶的不同 PGPR 菌株对切花月季卡罗拉瓶插品质的影响

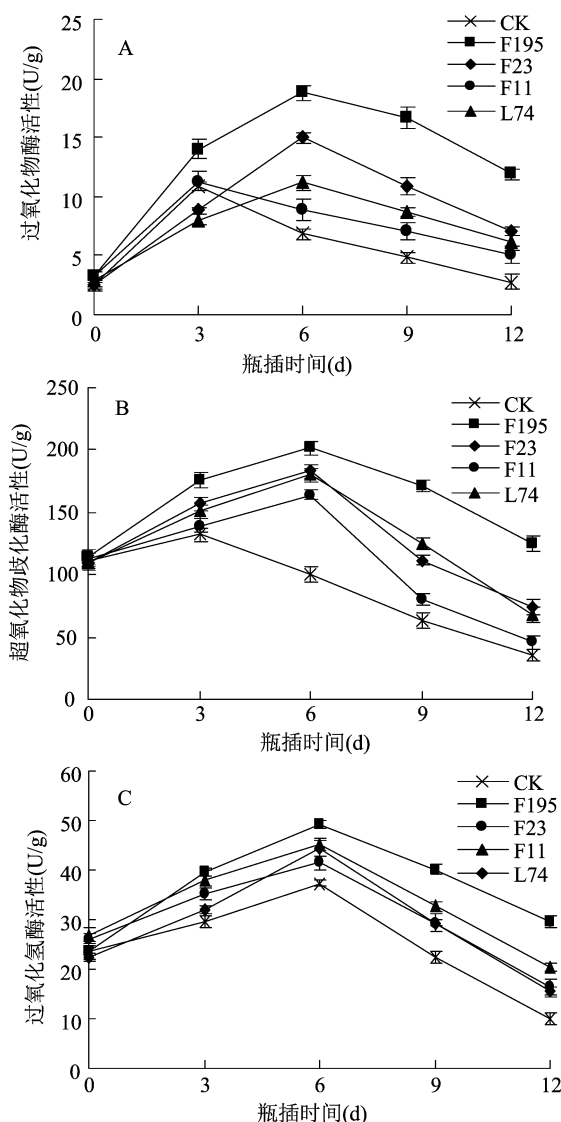


图2 含 ACC 脱氢酶的不同 PGPR 菌株对切花月季卡罗拉保护酶活性的影响

与 CK 相比分别降低了 52.22%、31.72%、23.99% 和 37.57%，其中，菌株 F195 处理时 MDA 含量上升较缓慢，一直处于较低水平，且总体波动不大，而其他菌株处理 MDA 含量则在 CK 与菌株 F195 之间波动，其 MDA 含量高于菌株 F195 并一直随时间的延长而递增，且菌株 F23 和 L74 表现较为相似。由此说明，菌株 F195 可以在一定程度上降低卡罗拉瓶插期间的 MDA 含量，延缓细胞膜系统损伤程度，增强其抗逆性。

#### 2.4 含 ACC 脱氢酶的不同 PGPR 菌株对卡罗拉乙烯释放量的影响

由图 4 可知，不同菌株处理均能降低卡罗拉乙烯释放量，同时也延缓了乙烯释放量最大峰值的发生。在瓶插 6 d 时对照的乙烯释放量达到高峰，峰

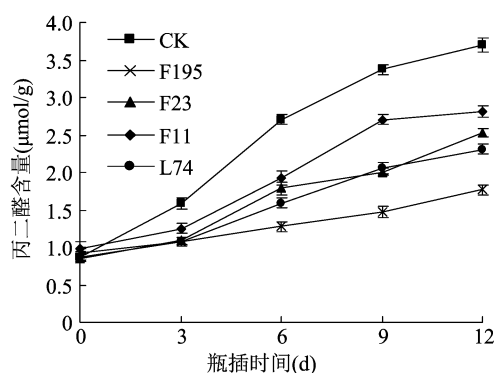


图3 含 ACC 脱氢酶的不同 PGPR 菌株对切花月季卡罗拉 MDA 含量的影响

值为 1.6  $\mu\text{L/L}$ ，而其他菌株处理在瓶插 9 d 时达到高峰，峰值分别为 0.88、1.03、1.11、1.22  $\mu\text{L/L}$ ，对照中乙烯释放量显著高于其他菌株处理 ( $P <$

0.05),同时各不同菌株处理间乙烯释放量差异显著( $P < 0.05$ ),其中在瓶插 9 d 时菌株 F195 处理乙烯释放量最低,比 CK 低 30.71%;F11、F23 和 L74 次之,分别比 CK 低 3.94%、18.90% 和 12.60%,可见含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对卡罗拉的乙烯释放量均有抑制作用,其中最佳菌株为 F195。

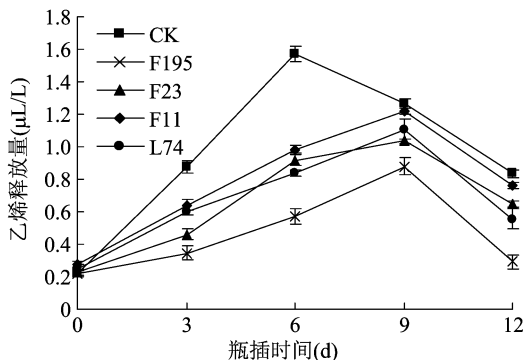


图4 含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对切花月季卡罗拉乙烯释放量的影响

## 2.5 含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对卡罗拉细胞渗透调节物质含量的影响

由图 5 - A、图 5 - B 可知,不同菌株对切花月季卡罗拉瓶插处理期间,可溶性蛋白和可溶性糖含量均呈现先升后降的趋势,且与 CK 存在显著性差异( $P < 0.05$ )。从图 5 - A 可以看出,CK 于瓶插后 3 d 可溶性蛋白达到高峰后开始逐渐下降,峰值为 11.36  $\mu\text{g/g}$ ,而其他菌株处理在瓶插 6 d 时达到高峰后才开始逐渐下降,较 CK 峰值分别增加 123.36%、76.80%、42.57% 和 55.13%,其中菌株 F195 的含量最高,为 25.38  $\mu\text{g/g}$ 。而可溶性糖含量中 CK 和菌株 F11 二者均于瓶插处理后 3 d 达到高峰后开始逐渐下降,其中 CK 下降幅度较大,峰值分别为 9.85、11.31  $\text{mg/g}$ ,而其他 3 株菌株处理时在瓶插 6 d 达到高峰后呈现不同程度下降,且显著高于 CK,其中以菌株 F195 为最高,较 CK 峰值增加 80.35% (图 5 - B)。由此表明,含 ACC 脱氨酶的 PGPR 菌株在一定程度上可以有效缓解卡罗拉的可溶性蛋白和可溶性糖含量减少,延缓蛋白水解,从而达到延缓切花衰老并提高其观赏品质的目的。

由图 5 - C 可知,卡罗拉在瓶插期间,不同处理间脯氨酸含量总体呈现上升趋势,随着瓶插时间延长而逐渐升高,且 CK 增幅最快,经过不同菌株处理后脯氨酸含量与 CK 相比存在显著性差异( $P < 0.05$ ),在处理 12 d 时,分别比对照降低了 72.95%、61.20%、28.42% 和 51.37%,但在菌株 F23 和 L74

处理下的脯氨酸含量呈现相似的变化趋势。从瓶插处理开始后,使用菌株处理的脯氨酸含量始终低于 CK 处理,其中以菌株 F195 处理最低,且与其他处理间差异均达到显著水平,由此说明,菌株处理能延缓卡罗拉中脯氨酸的积累,进而改善水分平衡,其中以菌株 F195 处理时效果最为显著。

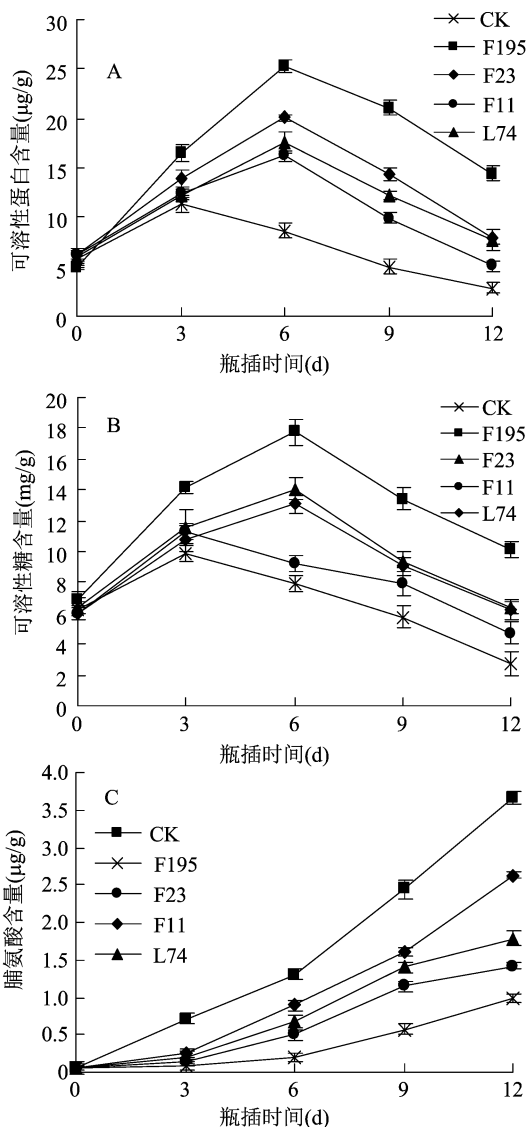


图5 含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对切花月季卡罗拉细胞渗透调节物质含量的影响

## 2.6 含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对卡罗拉采收后品质的综合评价

2.6.1 含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对卡罗拉生理生化指标的主成分分析 将含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对卡罗拉的 8 个生理生化指标进行主成分分析,综合反映不同 PGPR 菌株对卡罗拉瓶插寿命状态的影响。由表 1 可知,共提取了 2 个主成分 (PC1、PC2),主成分 1 (PC1) 的贡献率为

64.11%,主成分 2(PC2)的贡献率为 27.84%,提取的前 2 个主成分的累计贡献率为 91.95%,其中 SOD(0.43)在成分 1 中载荷最高,其次 SS(0.42)、SP(0.40)、CAT(0.40)及 POD(0.37)在成分 1 中也

具有较高的载荷;EP(0.60)在成分 2 中载荷最高,其次 MDA(0.52)在成分 2 中载荷也较高,因此抗氧化酶活性(SOD)及乙烯释放量(EP)可作为评价不同 PGPR 菌株对卡罗拉瓶插寿命的首选指标。

表 1 含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对切花月季卡罗拉生理指标的主成分分析

主成分	载荷								特征值	贡献率 (%)	累积贡献率 (%)
	CAT	MDA	POD	SOD	EP	SP	SS	PRO			
PC1	0.40	-0.27	0.37	0.43	-0.05	0.40	0.42	-0.31	5.13	64.11	64.11
PC2	0.16	0.52	0.30	-0.042	0.60	0.23	0.13	0.43	2.23	27.84	91.95

2.6.2 含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对卡罗拉生理生化指标的聚类分析 为了进一步确定不同菌株对切花月季卡罗拉的采后保鲜效果,对其最具代表性的瓶插 6 d(盛花期)中不同处理下生理生化指标进行进一步的聚类分析(图 6),从图中可以看出,在欧氏距离为 25 时,可以将不同的处理聚为 3

类,其中以保鲜效果较差的 CK 为第Ⅰ类,保鲜效果中等的菌株 F23、L74 和 F11 为第Ⅱ类,保鲜效果较好菌株 F195 为第Ⅲ类,说明含 ACC 脱氨酶的 PGPR 菌株在不同程度上能较好地延长其瓶插寿命,其中菌株 F195 处理效果最好。

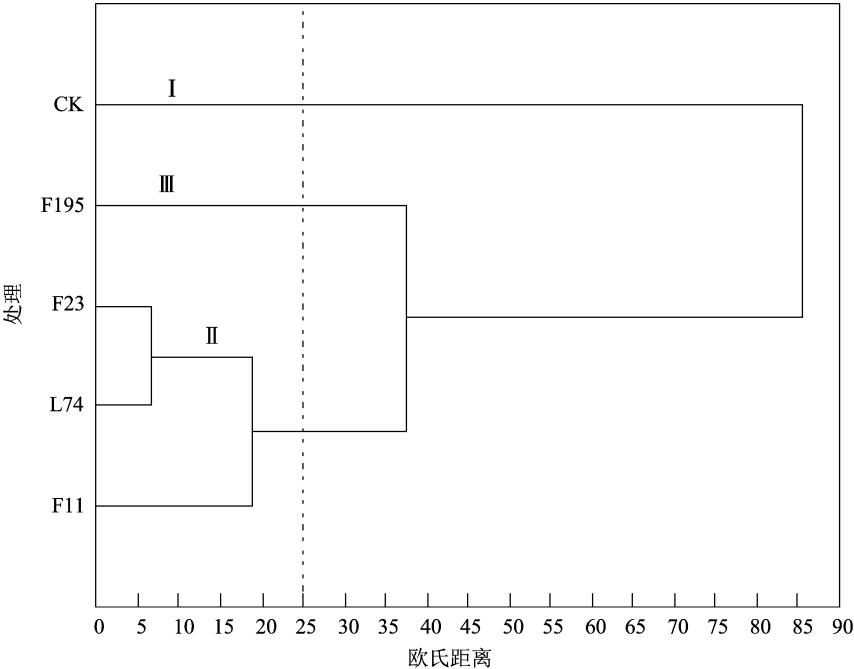


图 6 含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对切花月季卡罗拉生理指标的聚类分析

3 结论与讨论

具 ACC 脱氨酶活性的 PGPR 菌株可以缓解乙烯对植物的伤害,因此在促进植物的生长、提高植物的抗性以及延缓植物的衰老等方面具有广阔的应用前景,现已成为目前国内外的研究热点之一<sup>[6]</sup>。Naing 等使用阴沟肠杆菌 (*Enterobacter cloacae*) 提高了香石竹瓶插寿命<sup>[15]</sup>;Carlson 等研究发现了 2 株菌 (*Pseudomonas fulva* 和 *Escherichia coli*)

可以提高切花百日菊采后品质<sup>[16]</sup>。本研究通过使用课题组前期筛选出的含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对切花月季卡罗拉进行瓶插处理,结果表明不同的菌株处理与 CK 相比能有效提高卡罗拉的瓶插寿命,其中菌株 F195 对卡罗拉的各项生理生化指标综合表现效果为最佳,能较好地延缓切花衰老进程,提高其观赏品质。

切花植物的瓶插寿命、鲜质量和花径等是评价其观赏价值的重要指标<sup>[17]</sup>。本研究发现在不同菌

株的处理下鲜质量和花径均呈先升后降趋势,且均高于 CK,与章志红等使用保鲜液处理对切花牡丹鲜质量和花径的研究结果<sup>[18]</sup>相似。在不同处理中切花的瓶插寿命差别较大,其中菌株 F195 处理下切花瓶插寿命最长,可达 12 d 左右,均优于其他处理,这与张溢等使用植物生长调节剂 6-BA 对切花月季瓶插寿命的研究结果<sup>[19]</sup>基本一致。因此可以看出,菌株 F195 显著地提高了切花的观赏品质,对延长切花的瓶插寿命起到了重要的作用。切花体内含有的抗氧化酶活性较高代表切花中有较好的抵御自由基等有毒害物质的能力,能够降低膜脂过氧化的损伤,从而减少 MDA 含量的积累<sup>[20-21]</sup>。本研究发现,在 CK 和不同菌株处理下 SOD、POD 和 CAT 活性变化趋势均呈先升后降,彼此间变化幅度差别较大,且差异显著( $P < 0.05$ ),与罗琦等使用保鲜剂对香石竹<sup>[22]</sup>及胡小京等使用水杨酸对金鱼草切花保鲜中的抗氧化酶活性处理趋势<sup>[23]</sup>相似。在瓶插期间,刚开始活性先上升可能是因为切花脱离母体后需要一个适应过程,所以导致活性增高<sup>[24]</sup>,在不同处理下 CK 和菌株 F11 所呈现的 POD 活性在瓶插 3 d 达到最大峰值后呈逐渐下降趋势,而其他菌株处理在瓶插 6 d 后开始呈现下降趋势,与 CK 相比,不同菌株处理的 3 个活性均保持在高水平,这可能是由于含 ACC 脱氨酶活性的 PGPR 可以使其抗氧化酶系统迅速做出反应,彼此之间相互协调共同抵御或清除自由基,从而延缓切花衰老<sup>[25]</sup>。MDA 活性随时间的延长呈不断上升趋势,与邓超等使用促生菌对重瓣百合<sup>[10]</sup>和年林可等使用保鲜剂对牡丹切花 MDA 含量的处理结果<sup>[26]</sup>相似,均呈上升趋势,其中 CK 的 MDA 含量一直高于其他菌株处理,菌株 F195 上升较缓慢,一直处于较低水平,这说明使用含 ACC 脱氨酶活性的菌株处理可以减轻膜损伤的程度。主成分分析表明,SOD、POD 和 CAT 在主成分 1 中有较高载荷,而 MDA 活性在主成分 2 中有较高载荷,这表明抗氧化酶活性及 MDA 活性可作为评价对卡罗拉保鲜效果的重要指标。

切花体内可溶性糖和可溶性蛋白的含量是决定其观赏品质的重要指标<sup>[27]</sup>。一般来说,可溶性糖和可溶性蛋白含量越高,说明切花中所含的营养成分也越多,观赏品质也越高<sup>[28]</sup>。在本研究中发现,可溶性糖和可溶性蛋白含量均呈先升后降趋势,但 CK 一直处于较低水平,与韩琴等使用保鲜剂对山茶鲜切花可溶性糖及可溶性蛋白的处理<sup>[29]</sup>相似,呈

先升后降的趋势。在瓶插过程中,经 CK 和菌株 F11 处理后可溶性糖含量在瓶插 3 d 后开始下降,而其他菌株处理在瓶插 6 d 后开始呈现下降趋势,说明在瓶插过程中,糖含量先升高后降解,降解速度越快,切花衰老速度也越快。通过其他菌株处理后可以不同程度地延缓切花体内可溶性糖和可溶性蛋白含量的减少,从而延缓切花衰老,特别是菌株 F195 处理对提高可溶性糖和可溶性蛋白的效果最为显著。脯氨酸作为有效的渗透调节物质之一,可以反映切花失水程度<sup>[30]</sup>。本研究发现,脯氨酸含量随着瓶插时间延长总体呈上升趋势,且 CK 一直处于最高水平,菌株 F195 一直处于最低水平,与杨景雅等采用化学保鲜技术对绣球花中脯氨酸处理结果<sup>[31]</sup>相似,一直呈上升趋势。随着瓶插时间的不断延长,失水程度越严重,导致脯氨酸含量上升也越快,因此,菌株 F195 处理与其他处理相比失水较少,从而增加切花的保鲜效果。主成分分析表明,可溶性糖和可溶性蛋白在主成分 1 中具有较高载荷,这表明可溶性糖和可溶性蛋白也可作为评价卡罗拉保鲜效果的重要指标。

乙烯作为一种植物体内普遍存在的内源激素,与切花衰老密切相关,而月季属于典型的乙烯敏感性花卉<sup>[32]</sup>。本研究发现,乙烯释放量随着时间延长总体呈现先升后降的趋势,与魏富娟等使用生长调节剂对百合切花处理中的乙烯释放量处理结果<sup>[33]</sup>相似,而与叶迪等使用可利鲜对切花牡丹的研究结果<sup>[34]</sup>存在一定差异,切花牡丹中的乙烯释放量呈先下降后上升的趋势,这可能与不同植物对乙烯的敏感程度不同有关<sup>[35]</sup>。在瓶插过程中,CK 在 6 d 时达到乙烯释放量的最大峰值,而不同菌株处理在 9 d 时达到最大峰值,其中 CK 一直处于最高水平,而菌株 F195 处于最低水平,因此,菌株 F195 与其他处理相比可以较好地抑制乙烯释放,其他菌株与 CK 相比也可以不同程度地延缓乙烯释放的时间,从而能够延缓切花衰老。主成分分析表明,乙烯释放量在主成分 2 中载荷最高,由此也可以说明乙烯释放量可作为评价切花衰老的重要指标。聚类分析表明,菌株 F195 对卡罗拉的保鲜效果最为显著,可以进一步证明菌株 F195 抑制乙烯的效果最佳,同时也可以表明菌株 F195 在延缓切花卡罗拉衰老的进程中起到重要作用。

综上所述,含 ACC 脱氨酶的不同 PGPR 菌株对切花月季卡罗拉保鲜效果的影响参差不一,适宜的

菌株可以有效地提高切花抗氧化酶活性及具有降低自由基损伤的能力,从而达到延缓切花衰老,延长其瓶插寿命。因此,对于不同的花卉植物应探索不同的内生菌及其菌株应用效果,以便进一步提高切花的采后品质,达到更为理想的保鲜效果,为不同功能性菌种资源的开发利用及花卉保鲜技术提供一定的基础数据和理论依据。

#### 参考文献:

- [1] Li Y, Li L N, Wang S, et al. Magnesium hydride acts as a convenient hydrogen supply to prolong the vase life of cut roses by modulating nitric oxide synthesis[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 177:111526.
- [2] 向丽钧,魏冰瑶,晏 丽. 环保型保鲜剂对月季切花保鲜效果研究进展[J]. *现代园艺*, 2019(21):21-23.
- [3] Huang S, Gong B, Wei F J, et al. Pre-harvest 1-methylcyclopropane application affects post-harvest physiology and storage life of the cut rose cv. Carola[J]. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2017, 58(2):144-151.
- [4] Hashemabadi D, Torkashvand A M, Kaviani B, et al. Effect of *Mentha pulegium* extract and 8-hydroxy quinoline sulphate to extend the quality and vase life of rose (*Rosa* hybrid) cut flower[J]. *Journal of Environmental Biology*, 2015, 36(1):215-220.
- [5] Hallmann J, Quadt-Hallmann A, Mahaffee W F, et al. Bacterial endophytes in agricultural crops[J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 1997, 43(10):895-914.
- [6] Faria D C, Dias A C F, Melo I S, et al. Endophytic bacteria isolated from orchid and their potential to promote plant growth[J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2013, 29(2):217-221.
- [7] 费诗萱,张 敏,王 迎,等. 具有 ACC 脱氨酶活性的红枣根际促生菌株的分离筛选及其促生效果研究[J]. *西北林学院学报*, 2019, 34(6):140-146.
- [8] 漫 静,唐 波,邓 波,等. 羊草根际促生菌的分离筛选及促生作用研究[J]. *草业学报*, 2021, 30(1):59-71.
- [9] Ali S, Charles T C, Glick B R. Delay of flower senescence by bacterial endophytes expressing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2012, 113(5):1139-1144.
- [10] 邓 超,邓 洁,黄美娟,等. 含 ACC 脱氨酶的植物根际促生细菌菌株对重瓣百合‘Belonica’采后品质及生理特性的影响[J]. *北方园艺*, 2019(12):63-67.
- [11] Chaouachi M, Marzouk T, Jallouli S, et al. Activity assessment of tomato endophytic bacteria bioactive compounds for the postharvest biocontrol of *Botrytis cinerea* [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 172:111389.
- [12] 田 建,周红丽,易有金,等. 辣椒炭疽病菌拮抗内生菌筛选及其对辣椒采后保鲜效果的研究[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(5):151-160.
- [13] 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.
- [14] 高俊凤. 植物生理生化实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [15] Naing A H, Win N M, Han J S, et al. Role of nano-silver and the bacterial strain *Enterobacter cloacae* in increasing vase life of cut carnation ‘Omea’[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8:1590.
- [16] Carlson A S, Dole J M, Matthysse A G, et al. Bacteria species and solution pH effect postharvest quality of cut *Zinnia elegans* [J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 194:71-78.
- [17] 朱政财,朱报著,李文业,等. 不同保鲜液对美丽异木棉鲜切花保鲜效果的影响[J]. *广西林业科学*, 2021, 50(4):397-402.
- [18] 章志红,季 节,蒋联芳. 不同保鲜液对切花牡丹观赏品质和生理的影响[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(13):212-215.
- [19] 张 溢,袁雅珍,余露霞,等. 植物生长调节剂对月季切花保鲜效果的影响[J]. *南方农业学报*, 2016, 47(3):454-458.
- [20] 姚馨婷,张 璐,李婷婷,等. 苯甲酸与赤霉素对中国水仙切花保鲜效果的影响[J]. *热带作物学报*, 2020, 41(1):184-191.
- [21] Saeed T, Hassan I, Abbasi N A, et al. Effect of gibberellic acid on the vase life and oxidative activities in senescing cut *Gladiolus* flowers[J]. *Plant Growth Regulation*, 2014, 72(1):89-95.
- [22] 黄文江,罗 琦,周守标. 不同保鲜剂对香石竹切花保鲜的影响[J]. *西北农业学报*, 2006, 15(2):141-143, 151.
- [23] 胡小京,赵 云,关元静. 水杨酸对金鱼草切花保鲜效果的影响[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(8):213-218.
- [24] 杨运英,唐希荣,王廷芹. 不同浓度赤霉素对蜘蛛兰切花的保鲜效应[J]. *江西农业学报*, 2021, 33(6):29-33.
- [25] 钱 前,瞿礼嘉,袁 明,等. 2012 年中国植物科学若干领域重要研究进展[J]. *植物学报*, 2013, 48(3):231-287.
- [26] 年林可,孟海燕,苏笑林,等. 瓶插液添加二氧化氯对牡丹切花的保鲜效果[J]. *植物生理学报*, 2017, 53(11):2022-2030.
- [27] 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, 36(8):81-84.
- [28] 刘 俊,耿兴敏,芦建国,等. GA<sub>3</sub> 预处理对百合切花保鲜效果的影响[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(26):14776-14778, 14786.
- [29] 韩 琴,于勇杰,张 晶,等. 保鲜剂对山茶花切花保鲜效果的研究[J]. *中国野生植物资源*, 2015, 34(1):1-4.
- [30] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 4 版. 北京:高等教育出版社, 2001.
- [31] 杨景雅,赵艳娟,张 静,等. 绣球切花采后保鲜技术的研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2020(2):61-72.
- [32] 宋军阳,张 显. 1-MCP 对东方百合开放与衰老的影响[J]. *武汉植物学研究*, 2010, 28(1):109-113.
- [33] 魏富娟,黄 帅,弓 弼,等. 采前生长调节剂处理对百合切花保鲜的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2017, 45(11):93-99.
- [34] 叶 迪,施 江,高双成,等. 乙烯促进牡丹‘洛阳红’切花花瓣脱落与内源生长素的关联性分析[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(23):5097-5109.
- [35] 贾培义,李春娇,董 丽. 乙烯抑制剂在采后观赏植物中的应用研究进展[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(2):246-251.