

叶面喷施 ALA 对切花月季“卡罗拉”周年生产及冬季耐低温胁迫的影响

冯博^{1,2}, 寇亚平¹, 贾瑞冬¹, 赵鑫¹, 朱应雄³, 赵和文², 葛红¹, 杨树华^{1*} (1. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 农业农村部花卉生物学与种质创制重点实验室(北方), 北京 100081; 2. 北京农学院园林学院, 北京 100096; 3. 云南鑫海汇花业公司, 云南通海 652702)

摘要 以切花月季“卡罗拉”(Rosa hybrida ‘Carola’)为试验材料,在不同季节进行5-氨基乙酰丙酸(ALA, 100 mg/L)溶液叶面喷施,研究ALA对“卡罗拉”周年生产以及冬季耐低温胁迫的影响。结果表明,叶面喷施ALA处理可以提高各个季节的花枝产量,全年平均增产14.8%;在夏季和冬季能显著提高“卡罗拉”花枝长度、花枝粗度和花枝重量等品质;花瓣数和花蕾大小在冬季显著增加,在夏季则显著减少,而在春秋两季各指标的变化不显著。同时ALA处理在夏、秋和冬季显著改善了“卡罗拉”花枝等级,对冬季切花等级的提高最大,冬季“卡罗拉”A、B级花率提高了186.7%,同时D级花率降低了73.1%。在冬季进行ALA喷施处理,不仅可以显著增加叶片叶绿素、精氨酸、脯氨酸和总氨基酸含量,还可以降低根际土壤碱解氮、有效磷、速效钾和有机质含量。该研究表明,ALA喷施处理可以明显在夏、冬两季提高切花月季“卡罗拉”的品质和产量,其中冬季品质和产量的提升可能与ALA可以提高其冬季低温胁迫能力有关。

关键词 切花月季; 5-氨基乙酰丙酸; 品质; 产量; 低温胁迫

中图分类号 S685.12 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)19-0046-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.19.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Effects of ALA on Annual Production and Winter Cold Tolerance of Cut Rose ‘Carola’

FENG Bo^{1,2}, KOU Ya-ping¹, JIA Rui-dong¹ et al (1. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Flower Crops (North China), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 2. School of Landscape Architecture, Beijing University of Agriculture, Beijing 100096)

Abstract The effects of 5-aminolevulinic acid (ALA) on annual production and winter cold tolerance were conducted by spraying ALA solution (100 mg/L) on the leaves of Rosa hybrida ‘Carola’ in four different seasons. The results showed that the yield of cut roses increased by ALA treatment in all four seasons with the average increasing rate of 14.8%. Moreover, ALA spraying on leaves significantly improved the branch length, branch weight and branch diameter in summer and winter. The petal numbers and bud sizes significantly increased in winter but decreased in summer, while did not alter in spring and autumn after ALA treatments. At the same time, ALA treatment significantly improved the flowering branch grade of ‘Carola’ in summer, autumn and winter, and the improvement of cut flower grade in winter was the largest. In winter, the flower rate of ‘Carola’ grades A and B increased by 186.7%, while the flower rate of grade D decreased by 73.1%. The spray of ALA also significantly increased the concentrations of chlorophyll, arginine, proline and total amino acid in the leaves of flower branches. It could also have an influence on the changes of alkaline hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, available potassium and organic matter content in the rhizosphere soil. The study indicated that ALA treatment could improve the flower quality and yield of cut rose ‘Carola’ in summer and winter, and the improvement in winter should be associated with the increased cold tolerance in the leaves after the ALA spray.

Key words Cut rose; 5-aminolevulinic acid; Quality; Yield; Low temperature stress

月季(Rosa hybrida)为蔷薇科蔷薇属四季开花的多年生灌木,其花型丰富,花色艳丽,被誉为中国十大传统名花中的“花中皇后”。因其具有抗逆性强、容易管理等优良特性,所以在园林绿化中也是不可多得的好素材,在世界花卉产业中占据极其重要的地位^[1-2]。目前切花月季正逐步建立规范化生产模式和商品化销售体系,以满足日益增长的鲜切花市场需求。但目前国内切花月季产量和品质仍有巨大的提升空间,尤其是在冬季低温条件下,其产量和品质较其他季节下降更为显著^[3]。为此,提出有效提高切花产量和品质的方法对于花卉企业生产和市场竞争力意义重大。

5-氨基乙酰丙酸(5-aminolevulinic acid,简称ALA),是一种植物体内广泛存在的非蛋白质类氨基酸,是参与植物叶绿素合成十分重要的物质,具有缓解逆境胁迫的重要作用^[4]。ALA在低浓度时能够调节植物生长发育,促进光合作用,提高抗逆性如抗冷性^[5]和耐盐性^[6];高浓度条件下可以作为除草剂或杀虫剂^[7],因此ALA被认为是一种新型内源

生长调节物质^[8]。

研究表明,低温或干旱等逆境胁迫下,外源喷施ALA能通过调控不同作物的生理生化特性来提高作物的耐寒性或者耐旱性,从而保证作物在低温或干旱的环境下能正常生长和发育^[9-10]。因此ALA在园艺生产上具有广阔的应用前景。研究表明,100~300 mg/L ALA处理能显著减轻1.5% NaCl处理对棉花^[11]的盐害,与对照相比减轻了70%~80%;将水稻^[12]幼苗根系浸泡在1 mg/L ALA溶液中24 h,幼苗存活率比对照提高了30%,干物质量比对照提高了72%;30~100 mg/L ALA溶液处理可促进小型四季萝卜^[8]地上部和地下部的生长,而处理后使植株鲜重增加20%~35%。目前在黄瓜^[13]、生菜^[14]、小麦^[15]、小白菜^[16]、马铃薯^[17]、绿豆^[18]、番茄^[19]、玉米^[20]等植物中都有相关报道。

目前ALA在作物、蔬菜增产和抗逆性方面研究较多,而应用于花卉生产方面研究较少。因此,笔者以联栋大棚生产的切花月季“卡罗拉”为研究对象,在不同季节进行ALA溶液叶面喷施处理,研究ALA对切花月季“卡罗拉”周年生产及冬季耐低温胁迫的影响,为ALA在切花月季生产中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与处理 试验于2019—2021年在云南省通海县鑫

基金项目 国家重点研发计划项目(2019YFD1001805)。
作者简介 冯博(1997—),男,河北张家口人,硕士研究生,研究方向:园林植物与观赏园艺。*通信作者,研究员,从事月季种质资源与遗传育种研究。
收稿日期 2022-03-23

海汇花业公司基地连栋温室大棚进行,供试材料为切花月季“卡罗拉”(Rosa hybrida ‘Carola’)。试验材料于2019年1月种植,采用高畦双行栽种方式和单因子随机区组设计方案,在大棚种植墒中划分20个小区,对照组和处理组各10个小区,每小区10株苗。待植株长至45~60 cm,茎粗达0.3~0.5 mm,叶片成熟且枝干半木质化时进行压枝处理,压枝时间一般于晴天14:00—17:00进行,压枝部位选在离土表高度4 cm处,以促使地上部2~3个芽眼的萌发,一般母株压3~5条壮枝,其余弱枝剪掉。当新枝长至5~10 cm时开始第一次试验处理,对照组叶面喷施等量清水,处理组叶面喷施100 mg/L ALA溶液,于傍晚对花枝和营养枝同时进行叶面喷施,以全株湿润,但不滴液为宜。25 d后再进行第二次喷施处理。在叶片喷施后根据不同季节(茬口)情况,60~90 d对符合切花要求的花枝进行采集,测定其品质和产量,全年累计开展4次切花采收,具体试验处理和花枝采收时间见表1。其中,在冬季茬口花枝采收的第1天,即2021年3月4日采集花枝上部的完全展开叶进行叶绿素、可溶性糖和氨基酸含量等生理指标测定,同时采集根际土壤进行有机质、碱解氮、有效磷以及速效钾含量等土壤理化性质测定。

表1 切花月季叶面喷施试验处理

Table1 Treatment of leaf-spray experiments of <i>R. hybrida</i> ‘carola’			
试验茬数 The harvesting batches	ALA 处理时间 Treatment time	花枝采收时间 Collection time	大棚温度 Temperature ℃
春季 Spring	2020-04-13—05-08	2020-05-15—05-23	15~28
夏季 Summer	2020-06-08—07-03	2020-07-09—07-15	20~35
秋季 Autumn	2020-09-05—09-30	2020-10-26—11-10	15~28
冬季 Winter	2020-12-04—12-29	2021-03-04—03-20	10~25

1.2 测定项目与方法

1.2.1 花枝产量和品质。切花品质采用花枝长度、花枝粗度、花枝重量、花瓣数、花蕾大小和切花等级等指标来衡量。切花产量按10个小区合计的花枝总数统计产量。随机挑选3个小区作为一个重复,每个重复均测定3次,各项指标均经过实地测量获得。按计划采收时间分别进行采收,于08:00—09:00采集花枝,采收后立即测定花枝品质。花枝长度用卷尺(精确度:±0.1 cm)测定花枝底部到花蕾顶端的长度;花枝粗度用游标卡尺(精确度:±0.2 cm)测定枝长1/2处花枝粗度;花枝重量为天平称量的单支花枝重量;花瓣数为记录切花的正常花瓣数,雄蕊瓣化花瓣不记;花蕾大小通过游标卡尺(精确度:±0.2 cm)测定花托到花蕾顶部的高度及花蕾最宽处直径,以花蕾高和花蕾直径的平均值定义花蕾大小。

切花等级鉴定:根据昆明花卉国际拍卖市场制定的标准进行鉴定,分为A级品、B级品、C级品和D级品,花枝等级优劣是A>B>C>D。

1.2.2 叶片叶绿素、可溶性糖与氨基酸含量。冬季喷施ALA后,在采收花枝的第1天(2021年3月4日)分别取试验组和对照组“卡罗拉”的叶片。各小区进行混合取样,分别取ALA处理组和对照组中花枝中部相同叶位的复叶,锡箔纸包

好,立即放入液氮保存待测。

用混合提取液(丙酮:无水乙醇:蒸馏水=4.5:4.5:1)浸提法测定其叶绿素含量^[21],根据改良的Arnon法^[22]计算叶绿素浓度和含量;用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[23],各项指标均重复测定3次。

叶片中氨基酸含量的测定采用盐酸水解法^[28]和氨基酸自动分析仪检测“卡罗拉”叶片的脯氨酸、精氨酸及氨基酸总含量,各项指标均重复测定3次。将液氮保存的叶片研磨成粉末,取500 mg干粉加入盐酸水解,并经过脱盐过程,获得氨基酸混合液,将混合液稀释至刻度,吸取10 μL稀释后的产物于5 mm×50 mm小试管中,真空抽干,加入20 μL衍生缓冲液,振荡30 s,加入衍生剂,振荡30 s,在60℃烘箱中烘干30 min,冷却后加入130 mL平衡缓冲液,振荡30 s,然后用氨基酸自动分析仪对“卡罗拉”叶片中氨基酸含量进行检测。

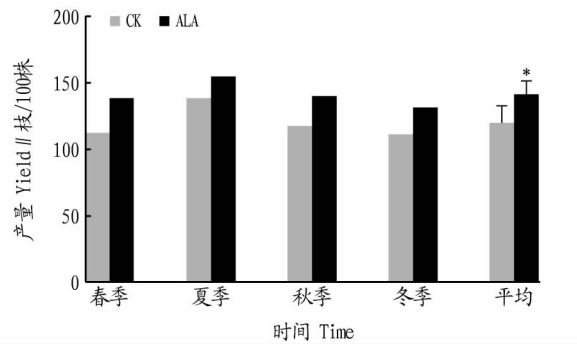
1.2.3 根际土壤理化性质。在冬季施喷ALA后,于2021年3月4日分别取试验组和对照组“卡罗拉”根际土样进行各成分检测,测定土壤有机质含量、碱解氮、有效磷以及速效钾含量。对于根际土壤pH的测定采用森林土壤pH的测定方法(LY/T 1239—1999);通过电导法测定土壤电导率;对于土壤有机质含量的测定选用土壤有机质测定法(NY/T 85—1988);碱解氮按照LY/T 1229—1999森林土壤水解性氮的标准进行测定;有效磷的测定采用酸性石灰性土壤有效磷测定法(NY/T 148—1990);速效钾含量通过原子吸收光谱仪测定,其前处理参照土壤速效钾测定法(NY/T 889—2004)进行。

1.3 数据处理 数据均取3次重复的平均值,采用Microsoft Excel 2003进行统计,通过SPSS 18.0进行方差分析,并运用Duncan’s检验法对数据的显著性差异($P<0.05$)进行分析,图形制作软件采用GraphPad Prism9(<https://www.graphpad-prism.cn>)。

2 结果与分析

2.1 不同季节叶面喷施ALA对“卡罗拉”花枝产量的影响 根据不同季节10个小区的花枝总数来统计花枝产量,ALA对“卡罗拉”花枝产量的影响见图1。由图1可知,从全年平均来看,ALA处理后花枝产量较对照显著提高($P<0.05$),4个季节平均增产了14.8%。对于不同季节,对照和ALA处理后夏季的花枝产量均最高,春季和秋季次之,冬季产量最低。ALA处理后春季、夏季、秋季和冬季的花枝产量与对照相比均有明显提高,产量表现为夏季>秋季>春季>冬季;而增产率则是春季最高,为23.1%,秋、冬季次之,夏季增产最少,为12.2%。

2.2 不同季节叶面喷施ALA对“卡罗拉”花枝品质的影响 ALA对“卡罗拉”花枝品质的影响见表2。由表2可知,从全年平均来看,ALA处理后各项花枝品质与对照并无显著变化。对于不同季节而言,无论对照或ALA处理,枝长在冬季最小且显著低于其他3个季节;枝粗在秋、冬季显著低于春、夏季;ALA处理后,花枝重量在秋季最小,花瓣数在夏季最低,二者均显著低于春季各项指标;花蕾大小在各季节均



注：* 表示 ALA 与对照差异显著 ($P<0.05$)

Note: * indicated significant difference between ALA and control at 0.05 level

图 1 ALA 处理对切花月季“卡罗拉”花枝产量的影响

Fig 1 Effect of ALA on cut flowering production of *R. hybrida* ‘Carola’

差异显著,表现为冬季>夏季>秋季>春季。与对照相比,ALA 喷施处理“卡罗拉”各花枝品质指标在春季和秋季基本无明显变化,只是花蕾大小在春季显著减小 ($P<0.05$);但所有指

标在夏季和冬季较对照均发生显著变化。其中,ALA 处理后,枝长在夏季和冬季分别增长了 8.4%和 9.8%;枝粗和枝重的增长率分别在夏季和冬季达到最高,为 8.1%和 25.3%;花瓣数和花蕾大小均在冬季显著增加,分别增长了 9.2%和 7.1%,而在夏季花瓣数显著减少 ($P<0.05$);花蕾大小显著减少 ($P<0.05$)。

ALA 对“卡罗拉”切花等级的影响见表 3。由表 3 可知,从全年平均来看,ALA 处理后切花等级较对照并无显著变化。对于不同季节,无论对照或 ALA 处理,A 级花率在秋季最高,在夏季和春季较低,冬季最低;C、D 级花率在夏季和冬季最高,明显高于春秋两季。与对照相比,ALA 喷施处理,不同程度地提高了 A 级花率,冬季增长率最高,为 127.0%,秋季和夏季次之,春季增长率最低,为 5.5%;B 级花率在春季出现明显下降,降低了 37.6%,而在冬季提高最多,增长了 59.7%;C 级花率在冬季、夏季变化较小,但在春季明显增加,在秋季明显下降;D 级花率在夏季、冬季出现明显下降,冬季降低了 73.1%,而夏季降低了 84.5%。

表 2 叶面喷施 ALA 对全年切花月季“卡罗拉”花枝形态指标的影响

Table 2 The effect of leaf-spray with ALA on the morphological traits of flowering branches of *R. hybrida* ‘Carola’ during annual production

时间 Time	处理 Treatment	枝长 Branch length//cm	枝粗 Branch diameter mm	花枝重量 Branch weight//g	花瓣数 Petal number 片	花蕾大小 Bud size mm
春季 Spring	对照	99.3±5.7 b	8.0±0.4 c	56.7±5.4 cd	30.3±1.3 c	33.5±1.5 f
	ALA 处理	97.5±2.6 b	8.0±0.2 c	54.7±2.4 d	30.4±1.0 c	32.4±0.8 g
夏季 Summer	对照	97.7±4.4 b	8.6±0.7 b	66.6±5.5 b	28.1±0.8 d	38.6±2.0 c
	ALA 处理	105.9±3.3 a	9.3±0.1 a	73.8±4.5 a	26.3±1.3 e	37.6±1.7 d
秋季 Autumn	对照	102.9±3.4 a	6.8±0.3 de	47.6±3.4 e	27.0±0.5 e	34.9±0.6 e
	ALA 处理	104.3±1.8 a	6.9±0.2 de	47.9±2.1 e	26.5±0.4 e	35.2±0.6 e
冬季 Winter	对照	75.6±2.7 d	6.6±0.6 e	47.5±3.3 e	34.7±1.2 b	43.4±0.5 b
	ALA 处理	83.0±3.2 c	7.1±0.3 d	59.5±4.1 c	37.9±1.9 a	46.5±0.8 a
全年平均 Annual average	对照	93.9±6.2	7.5±0.5	54.6±4.5	30.0±1.7	37.6±2.2
	ALA 处理	97.7±5.2	7.8±0.5	58.9±5.5	30.3±2.7	37.9±3.0

注:同列不同小写字母表示不同季节的花枝品质差异显著 ($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference of flowering quality between different seasons ($P<0.05$)

表 3 叶面喷施 ALA 对全年切花月季“卡罗拉”切花等级的影响

Table 3 The effects of leaf-spray with ALA on the grades of flowering branches of *R. hybrida* ‘Carola’ during annual production %

时间 Time	处理 Treatment	A 级花率 The percentage of A level	B 级花率 The percentage of B level	C 级花率 The percentage of C level	D 级花率 The percentage of D level
春季 Spring	对照	22.0	40.7	31.9	5.5
	ALA 处理	23.2	25.4	42.8	8.7
夏季 Summer	对照	16.5	35.1	38.1	10.3
	ALA 处理	29.8	37.1	31.5	1.6
秋季 Autumn	对照	22.5	38.7	31.5	7.2
	ALA 处理	35.4	39.8	19.2	5.6
冬季 Winter	对照	7.4	25.8	37.1	29.7
	ALA 处理	16.8	41.2	34.0	8.0
全年平均 Annual average	对照	17.1	35.1	34.7	13.2
	ALA 处理	26.3	35.9	31.9	6.0

2.3 冬季叶面喷施 ALA 对“卡罗拉”叶绿素、可溶性糖及氨基酸含量的影响

ALA 处理对冬季生长的“卡罗拉”部分生

理生化指标的影响见表 4。由表 4 可知,叶绿素 a 含量较叶绿素 b 含量更高,为叶绿素 b 含量的 4~5 倍。喷施 ALA 后

“卡罗拉”花枝叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均显著高于对照 ($P<0.05$), 其中叶绿素 a 和 b 分别提高了 39.1% 和 63.6%, 但 Chl a/b 在 ALA 处理后低于对照。对于花枝叶片中可溶性糖含量测定后发现, ALA 处理较对照显著

上升, 提高了 68.3%, 脯氨酸含量较对照显著上升, 精氨酸含量较对照显著提高了近 2 倍, 氨基酸总量较对照显著提高了约 33.3%。

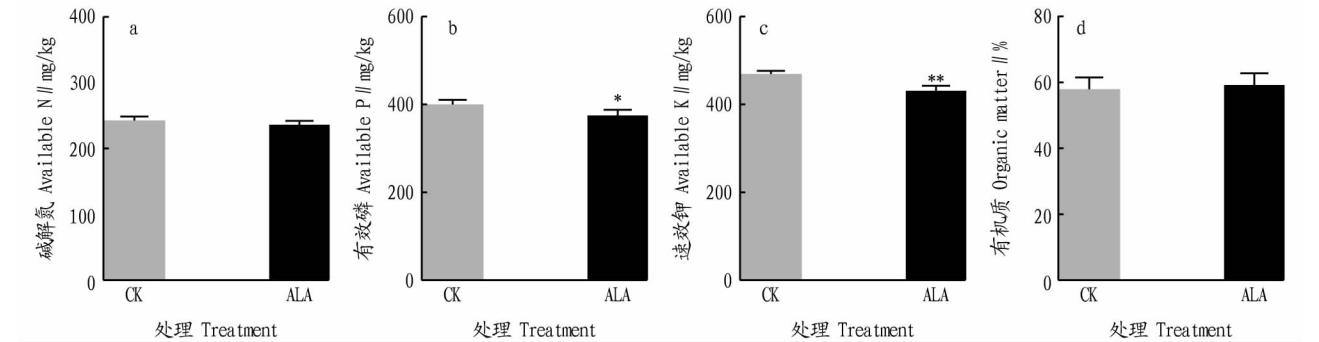
表 4 ALA 对冬季生长的“卡罗拉”部分生理生化指标的影响
Table 4 The effect of ALA on cut flowering productivity of *R. hybrida* ‘Carola’ growing in winter

处理 Treatment	叶绿素 a Chl a mg/kg	叶绿素 b Chl b mg/kg	叶绿素 a+b Chl a+b mg/kg	叶绿素 a/b Chl a/b	可溶性糖 Soluble sugar mg/g	脯氨酸 Proline mg/g	精氨酸 Arginine mg/g	氨基酸总量 Total amino acids/mg/g
对照 Control	603.22±10.03 b	127.00±4.57 b	730.21±13.45 b	4.76±0.13 a	3.34±0.28 b	3.41±0.60 b	2.45±1.33 b	45.97±3.06 b
ALA 处理 ALA treatment	838.88±66.75 a	207.78±26.39 a	1046.66±90.90 a	4.11±0.32 ab	5.62±0.04 a	7.76±0.84 a	7.60±2.61 a	61.30±1.51 a

注: 同列不同字母表示 ALA 处理与对照差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters indicated significant difference between ALA treatment and control ($P<0.05$)

2.4 冬季叶面喷施 ALA 对“卡罗拉”根际土壤理化性质的影响 由图 2 可知, 喷施 ALA 对根际土壤有机质含量并无显著影响。对于根际土壤中碱解氮、有效磷以及速效钾的含量测定结果表明, 土壤中速效钾含量最高, 有效磷含量次之, 碱解氮含量最低。ALA 处理后三者含量均呈下降趋势, 与

对照组相比, 土壤中有有效磷和速效钾含量在 ALA 处理后显著和极显著下降, 其中速效钾含量下降较有效磷含量下降更为显著, 但土壤中碱解氮含量在 ALA 处理后并未出现显著变化。



注: * 表示 ALA 与对照差异显著 ($P<0.05$); * * 表示 ALA 与对照差异极显著 ($P<0.01$)
Note: * indicated significant difference between ALA and control at 0.05 level; * * indicated extremely significant difference between ALA and control at 0.01 level

图 2 ALA 处理对切花月季“卡罗拉”根际土壤参数的影响
Fig. 2 Effect of ALA on rhizosphere soil parameters of *R. hybrida* ‘Carola’

3 讨论

季节变化对切花月季的产量和品质有明显影响, 其中温度对月季枝条生长发育的影响最为明显。一般而言, 春、秋季气温适宜, 月季的花枝品质较高; 在夏季高温强光条件下, 月季的花芽发育时间缩短, 可形成较高产量, 但同时高温强光也易造成月季花枝品质下降; 随着冬季气温的降低, 花枝发育速度减慢, 切花产量下降, 会出现花蕾变黑、花瓣萎缩等现象, 影响切花品质^[24]。该研究结果进一步证实, 季节变化明显影响切花月季“卡罗拉”的花枝品质及产量, 在气温适宜的春秋两季, “卡罗拉”花枝品质最好, 产量适中; 对于夏季高温和冬季低温环境, 枝粗和枝重显著高于冬季, 但花蕾及花瓣数明显比冬季少。各季节中, 花枝产量夏季最高, 春秋季次之, 冬季最低; 花枝品质春季最好, 冬季最差。

从全年总效果看, 与对照相比, ALA 喷施处理对“卡罗拉”花枝品质未产生显著影响, 在春季和秋季进行 ALA 喷施也无明显效果; 但在夏季、冬季两季喷施 ALA 能显著提高“卡罗拉”的花枝品质, 在夏、冬两季枝长、枝粗及枝重各项指

标均显著提高 ($P<0.05$), 花瓣数和花蕾大小在冬季也显著提高, 在夏季则显著降低。尤其是在冬季, 各项花枝品质的增长率均最高; 同时在夏季和冬季喷施 ALA 显著改善了“卡罗拉”的花枝等级, 显著提高了冬季的 A、B 级花率。推测是由于夏季温度较高, “卡罗拉”植株以营养生长为主^[25], 花枝的直径(粗度)和重量明显增加, 相应的花瓣数减少, 花蕾变小; 而冬季气温较低, “卡罗拉”以生殖生长为主^[26], 花枝的直径(粗度)和重量均相对减少, 相应的花瓣数增加, 花蕾变大, 而 ALA 喷施使这一效应更明显。该研究结果表明, 叶面喷施 ALA 可在全年各季节显著提高“卡罗拉”花枝产量, 且在夏季达到最高, 冬季最低; 但增产率为春季最高, 秋冬季次之, 夏季增产最少。

从上述结果可以看出, 在夏冬两季的温度胁迫下, 叶面喷施 ALA 能够有效增加“卡罗拉”生物量的积累, 显著提高枝长、枝粗、枝重等指标; 并明显改善花枝等级, 尤其是对冬季生长的“卡罗拉”花枝切花等级的影响极为显著。其中, 对照的 A 级和 B 级花率为 32.2%, 但 ALA 处理后的 A 级和 B

级花率达 58%, 几乎增加了 1 倍。因此, 叶面喷施 ALA 对于冬季切花品质的影响最为显著。进一步开展了冬季花枝叶片和根际土壤生理指标的测定。结果发现, 冬季喷施 ALA 显著提高了叶片叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量, 总可溶性糖含量也显著上升, 推测 ALA 喷施可能促进了叶绿素的合成, 并提高了植物的光合作用能力, 为冬季花枝生长发育积累更多的碳水化合物^[34]。此外, 叶绿素 a/b 下降, 说明叶绿素 b 含量大于叶绿素 a, 这可能是由于 ALA 影响了叶绿素合成途径中某些关键酶活性^[27]。

可溶性糖和脯氨酸等物质还可以作为植物抵御逆境胁迫的渗透调节物质^[28]。该试验结果发现, 在冬季叶面喷施 ALA 显著提高了切花月季“卡罗拉”花枝叶片中可溶性糖和脯氨酸含量, 表明 ALA 处理促进了植株体内渗透调节物质的累积, 提高了植物耐受低温胁迫的能力。此外, 研究发现精氨酸可与硝酸盐结合, 从而减轻低温胁迫对植物细胞膜的损伤^[29], 该试验采用 ALA 处理显著增加了冬季“卡罗拉”花枝叶片中精氨酸含量, 这将有利于其在冬季低温胁迫下维持细胞膜的完整性。最后, 对植株冬季根际土壤理化性质的测定发现, 冬季 ALA 处理后根际土壤中碱解氮、有效磷以及速效钾含量均显著下降, 推测可能是喷施 ALA 增强了植株对土壤中碱解氮、有效磷以及速效钾的有效吸收, 以维持月季“卡罗拉”在冬季低温胁迫环境下的正常生长发育, 并促进可溶性糖和氨基酸等渗透调节物质的合成, 从而提高植物对低温的耐受性。

综上所述, 叶面喷施 ALA 可以明显提高全年各季节的切花月季“卡罗拉”花枝产量, 并能显著提升夏季和冬季“卡罗拉”的花枝品质, 特别是冬季花枝等级改善效果最好。这主要是由于 ALA 促进了植株叶片的叶绿素合成, 提高了植物的光合作用能力, 产生了更多的可溶性糖等碳水化合物; 与此同时, ALA 还可能增强了植株根系对于氮、磷、钾的吸收能力, 并通过这些初生代谢产物和矿质营养元素, 进一步合成了脯氨酸、精氨酸等响应低温胁迫的次生代谢产物, 从而提高了切花月季“卡罗拉”的冬季耐低温能力。该研究为推广 ALA 叶面喷施技术提高切花月季生产水平提供了良好的试验依据, 但 ALA 处理如何提高其耐低温胁迫的相关机理研究仍有待深入。

参考文献

- [1] 邓甜, 胡婷, 晏丽. 切花月季栽培技术研究进展[J]. 现代园艺, 2019(21): 18-20.
- [2] 陈琦. 月季及其在园林绿化中的应用[J]. 现代农业科技, 2021(15): 154-156.
- [3] 张东旭, 刘天生. 月季抗寒性研究综述[J]. 种子科技, 2021, 39(16): 7-8.
- [4] SASAKI K, WATANABE M, TANAKA T, et al. Biosynthesis, biotechnological production and applications of 5-aminolevulinic acid[J]. Applied microbiology and biotechnology, 2002, 58(1): 23-29.
- [5] 吴玲玲, 朱哲逸, 雷宇航, 等. 植物对低温和干旱胁迫的生理响应及 5-氨基乙酰丙酸缓解胁迫响应的研究进展[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(17): 26-29.
- [6] NAEEM M S, JIN Z L, WAN J L, et al. 5-aminolevulinic acid improves

- photosynthetic gas exchange capacity and ion uptake under salinity stress in oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Plant soil, 2010, 332(1/2): 405-415.
- [7] AVERINA N G, NEDVED' E L, SHCHERBAKOV R A, et al. Role of 5-aminolevulinic acid in the formation of winter rape resistance to sulfonylurea herbicides[J]. Russian journal of plant physiology, 2014, 61(5): 679-687.
- [8] HARA M, TAKAHASHI I, YAMORI M, et al. Effects of 5-aminolevulinic acid on growth and amylase activity in the radish taproot[J]. Plant growth regulation, 2011, 64(3): 287-291.
- [9] ANWAR A, YAN Y, LIU Y M, et al. 5-aminolevulinic acid improves nutrient uptake and endogenous hormone accumulation, enhancing low-temperature stress tolerance in cucumbers[J]. International journal of molecular sciences, 2018, 19(11): 1-16.
- [10] 王鹏, 王铁兵, 王瑞, 等. 外源 5-氨基乙酰丙酸对干旱胁迫下玉米幼苗生理特性及抗氧化酶基因表达的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(1): 75-81.
- [11] WATANABE K, TANAKA T, HOTTA Y, et al. Improving salt tolerance of cotton seedlings with 5-aminolevulinic acid[J]. Plant growth regulation, 2000, 32(1): 99-103.
- [12] HOTTA Y, TANAKA T, TAKAOKA H, et al. Promotive effects of 5-aminolevulinic acid on the yield of several crops[J]. Plant growth regulation, 1997, 22(2): 109-114.
- [13] CHAKRABORTY N, TRIPATHY B C. Involvement of singlet oxygen in 5-aminolevulinic acid-induced photodynamic damage of cucumber (*Cucumis sativus* L.) chloroplasts[J]. Plant physiology, 1992, 98(1): 7-11.
- [14] HÄRTEL H, WALTER G, HANKE T. Photoinduced damage in leaf segments of wheat (*Triticum aestivum* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) treated with 5-aminolevulinic acid I. Effect on structural components of the photosynthetic apparatus[J]. Journal of plant physiology, 1993, 142(2): 230-236.
- [15] LOU B S, HOTTA Y, QU Y L, et al. Effects of 5-aminolevulinic acid on the growth and ripening of wheat[J]. Journal of pesticide science, 1998, 23(3): 300-303.
- [16] WANG L J, JIANG W B, LIU H, et al. Promotion by 5-aminolevulinic acid of germination of pakchoi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* var. *communis* Tsen et Lee) seeds under salt stress[J]. Journal of intergrative plant biology, 2005, 47(9): 1084-1091.
- [17] ZHANG Z J, LI H Z, ZHOU W J, et al. Effect of 5-aminolevulinic acid on development and salt tolerance of potato (*Solanum tuberosum* L.) microtubers *in vitro* [J]. Plant growth regulation, 2006, 49(1): 27-34.
- [18] 赵金玺, 尤颖, 姜凯阳, 等. 外源性 5-氨基乙酰丙酸对 NaCl 胁迫下绿豆萌发及幼苗生长的影响[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(18): 21-25.
- [19] 杨世春. 外源 5-氨基乙酰丙酸(ALA)对亚低温胁迫下番茄幼苗光抑制保护和离子吸收分配研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [20] 程红玉, 王俊科, 肖占文, 等. 5-氨基乙酰丙酸(ALA)对玉米幼苗盐胁迫的缓解效应研究[J]. 农业开发与装备, 2021(2): 149-150.
- [21] 刘遵春, 冯爱英, 扈惠灵. 柿树叶片叶绿素含量测定方法比较研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2014, 42(3): 12-15.
- [22] 李松, 李枝林, 唐开学, 等. 五个切花月季品种的抗寒生理分析测定[J]. 西南农业学报, 2012, 25(4): 1232-1237.
- [23] 沈施岐. 不同切花月季品种生长发育规律的调查研究[J]. 新农业, 2018(10): 34.
- [24] 吴鹏夫, 李世超, 杨树华, 等. 季节变化对切花月季“卡罗拉”花枝品质及产量的影响[J]. 湖南农业科学, 2013(9): 99-102.
- [25] 姚德宏, 朱以明, 项春龙, 等. 切花月季生长的温度特征及其应用解析[J]. 上海农业学报, 2006, 22(3): 16-20.
- [26] 马新才, 胡天升, 李瑞昌, 等. 切花月季在北方冬暖式大棚生长发育规律[J]. 北方园艺, 1999(2): 40-41.
- [27] 孙阳, 王焱, 孟瑶, 等. 外源 5-氨基乙酰丙酸对低温胁迫下玉米幼苗生长及光合特性的影响[J]. 作物杂志, 2016(5): 87-93.
- [28] 王丹, 宣继萍, 郭海林, 等. 结缕草的抗寒性与体内碳水化合物、脯氨酸、可溶性蛋白季节动态变化的关系[J]. 草业学报, 2011, 20(4): 98-107.
- [29] LAHDESMÄKI P, PAKONEN T, SAARI E, et al. Changes in total nitrogen, protein, amino acids and NH_4^+ in tissues of bilberry, *Vaccinium myrtillus*, during the growing season[J]. Ecography, 1990, 13(1): 31-38.