

引用格式:

于航, 陈玉童, 成新琪, 陈鹏鹏, 李志博, 谢宗铭, 李有忠. 抗坏血酸对低温胁迫下棉花幼苗生长发育及光合特性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2026, 52(2): 20–26.

YU H, CHEN Y T, CHENG X Q, CHEN P P, LI Z B, XIE Z M, LI Y Z. Effects of ascorbic acid on growth, development and photosynthetic characteristics of cotton seedlings under low-temperature stress[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2026, 52(2): 20–26.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



抗坏血酸对低温胁迫下棉花幼苗生长发育及光合特性的影响

于航¹, 陈玉童², 成新琪³, 陈鹏鹏¹, 李志博², 谢宗铭¹, 李有忠^{1*}

(1. 新疆农垦科学院棉花研究所, 新疆 石河子 832000; 2. 石河子大学农学院, 新疆 石河子 832003;
3. 黄冈师范学院生物与农业资源学院, 湖北 黄冈 438000)

摘要: 为探究提高棉花幼苗耐冷性的措施, 以‘新陆早61号’为材料, 研究喷施不同质量浓度(0、50、100、200 mg/L)的抗坏血酸溶液对10 °C低温胁迫下棉花幼苗主要生长发育指标(株高、叶面积、叶片相对含水量、干物质含量)及光合参数(P_n 、 G_s 、 T_r)和叶绿素荧光参数(PI_{ABS} 、 F_m/F_0 、 F_v/F_m 、 ABS/RC)的影响。结果表明: 不同低温胁迫时间(0、1、3、5、7 d)下, 喷施抗坏血酸的棉花幼苗的部分生长发育指标和光合、荧光参数优于对照(不喷施抗坏血酸溶液处理)的, 其中喷施50 mg/L浓度的效果最佳; 与第0天相比, 50 mg/L抗坏血酸溶液处理7 d的棉花幼苗的株高、叶面积、干物质含量的增长率分别为14.59%、23.24%和17.18%, 主要光合参数 P_n 、 T_r 以及 F_v/F_m 在低温胁迫的前3天都保持较高的水平。综上, 外源喷施适宜质量浓度的抗坏血酸可使棉花幼苗保持较高的光合能力, 促进低温下棉花幼苗的生长发育, 从而提高棉花幼苗的耐冷性。

关键词: 棉花; 低温胁迫; 抗坏血酸; 生长发育; 光合特性

中图分类号: S562.01

文献标志码: A

文章编号: 1007–1032(2026)02–0020–07

Effects of ascorbic acid on growth, development and photosynthetic characteristics of cotton seedlings under low-temperature stress

YU Hang¹, CHEN Yutong², CHENG Xinqi³, CHEN Pengpeng¹, LI Zhibo², XIE Zongming¹, LI Youzhong^{1*}

(1. Cotton Biotechnology Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 2. College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China; 3. College of Biology and Agricultural Resources, Huanggang Normal University, Huanggang, Hubei 438000, China)

Abstract: To explore effective measures for improving the cold tolerance of cotton seedlings, cotton cultivar ‘Xinluzao 61’ was used as the experimental material. We investigated the effects of foliar application of ascorbic acid(AsA) at four concentrations (0, 50, 100, and 200 mg/L) on major growth and developmental indices (plant height, leaf area, leaf relative water content, and dry matter content), photosynthetic parameters (P_n , G_s , T_r), and chlorophyll fluorescence parameters (PI_{ABS} , F_m/F_0 , F_v/F_m , ABS/RC) in cotton seedlings under 10 °C low-temperature stress. The results showed that, at different stress durations (0, 1, 3, 5, and 7 d), the growth and developmental indices as well as photosynthetic and fluorescence parameters of cotton seedlings treated with AsA were superior to those of the control (without AsA application), and 50 mg/L AsA exhibited the optimal effect. Compared with the indicators on day 0, cotton seedlings treated with 50 mg/L AsA for 7 days under low-temperature stress showed increases of 14.59%, 23.24%, and 17.18% in

收稿日期: 2025–06–07

修回日期: 2026–05–21

基金项目: 新疆生产建设兵团科技计划项目(2022DB014、2024YD026-13); 湖北省教育厅科学技术研究项目(Q20222903); 石河子大学创新发展专项(CXFZ202308)

作者简介: 于航(1988—), 女, 新疆奎屯人, 硕士, 助理研究员, 主要从事棉花抗逆种质资源创制与应用研究, 18999323663@163.com;

*通信作者, 李有忠, 博士, 副研究员, 主要从事棉花抗逆种质资源创制及应用, 2529629871@qq.com

plant height, leaf area, and dry matter content, respectively. The main photosynthetic parameters(P_n , T_r) and F_v/F_m remained at relatively high levels during the first 3 days of low-temperature stress. In conclusion, exogenous application of an appropriate concentration of AsA can maintain high photosynthetic capacity of cotton seedlings, promote their growth and development under low-temperature stress, and thereby enhance the cold tolerance of cotton seedlings.

Keywords: cotton; low-temperature stress; ascorbic acid; growth and development; photosynthetic characteristics

棉花为喜温作物,对低温较为敏感,低温冷害已成为限制棉花生长发育与丰产栽培的主要因素。研究^[1-4]表明,低温多雨和冷害天气常导致棉花幼苗烂种、烂秧,受害严重时还需要重新播种。当低温(日平均气温 $\leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$)胁迫强度增加、低温时间延长,棉花苗期冷害加重,植株多表现为叶片萎蔫、叶缘发黄,当冻害程度达到13%,棉花的生育期延迟,产量显著下降^[5]。李侃等^[6]研究认为,苗期低温弱光环境直接引发棉花蕾期至花铃期的抗逆生理响应,表现为超氧化物歧化酶(SOD)活性显著升高,丙二醛(MDA)积累增加,同时影响棉花株高生长与干物质积累;张宁等^[7]研究发现,长江流域夏播棉苗期遇低温阴雨,阻碍蕾铃分化,影响成铃的分布与产量构成;覃业玲等^[8]与张荣等^[9]发现,播期气温变动易让棉花苗期遭遇早春低温阴雨环境,制约棉株生殖生长,打乱成铃分布规律,进而影响铃重等产量构成指标。综上可知,苗期低温胁迫可从生理代谢、形态建成、生殖发育多层次抑制棉花生长,最终对产量造成不可逆的负面影响。

北疆棉区是新疆棉区的重要组成部分,棉花生产占全疆棉花生产的40%左右,但由于其独特的地理位置和环境条件,在生长季中该区棉花极易受到倒春寒和早霜等低温冷害的影响。因此,针对新疆尤其是北疆棉区,研究低温胁迫对棉花幼苗生长发育的影响,筛选耐冷抗寒棉花资源,探究棉花耐冷机制对提高棉花的耐冷性具有重要意义。

抗坏血酸(AsA)是植物体内重要的抗氧化物质,可以清除体内的活化氧,减轻细胞膜损伤,是动植物生长发育和繁殖所必需的物质^[10]。研究^[11-12]发现,喷施抗坏血酸溶液能够增强植株的抗氧化能力和耐盐碱性,有效缓解衰老、低温及重金属等多种逆境胁迫对植株的伤害,维持植株体内活性氧代谢平衡,稳定细胞膜结构,提高抗逆性等。然而,外源喷施抗坏血酸提高棉花幼苗耐冷性的相关机制与调控效果尚不明确。为此,本研究以北疆棉区主栽棉花品种‘新陆早61号’为材料,通过喷施不同

质量浓度的抗坏血酸溶液,探究低温胁迫下外源抗坏血酸对棉花幼苗生长发育、光合特性和叶绿素荧光特性的影响,旨在筛选最佳的抗坏血酸溶液喷施浓度,揭示抗坏血酸调控棉花幼苗低温耐受的生理机制,为棉花苗期低温灾害防控及抗逆栽培技术优化提供理论依据与实践参考。

1 材料与方法

1.1 材料

北疆棉区主栽品种‘新陆早61号’,由新疆农垦科学院提供。

1.2 方法

1.2.1 棉花幼苗培养及处理

盆栽试验:选取籽粒饱满、经硫酸脱绒并冲洗干净的棉花种子,采用0.4%高锰酸钾溶液消毒后,选用口径32 cm $\times$ 25 cm、高16 cm的花盆进行播种。基质中营养土与蛭石的质量比为3:1,每个花盆种植7株,种植深度约1.5 cm,每个处理种植3盆,置于人工气候箱内正常培养,昼夜光周期16 h/8 h,昼夜温度25 $^{\circ}\text{C}$ /20 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度75%,光照度40 000 lx,每隔4 d适量浇水。

幼苗处理:配备0、50、100、200 mg/L抗坏血酸溶液(分别标记为T1、T2、T3、T4),待棉花幼苗长至三叶期时进行首次叶面喷施,以叶片表面均匀湿润、无液滴滴落为标准^[13-14],连续喷施7 d。喷施过程中人工气候箱环境保持不变。

低温胁迫:喷施7 d抗坏血酸溶液后,将棉花幼苗转入光照培养箱进行低温胁迫处理,条件如下:温度10 $^{\circ}\text{C}$,光照度12 000 lx,昼夜光周期16 h/8 h,相对湿度65%。测定第0、3、5、7天的各项指标^[15-16]。

1.2.2 指标测定

于处理第0、3、5、7天(2024年3月2日、3月5日、3月7日和3月9日)在每个花盆中选取5株长势基本一致的幼苗,参照文献^[17]的方法测定株高、叶面积、叶鲜质量、叶干质量、植株干质量和鲜质量

等, 计算叶片相对含水量和植株干物质含量。

采用美国LI-COR公司生产的Li-6400便携式光合系统分析仪于处理第0、1、3、5、7天(2024年3月2日、3月3日、3月5日、3月7日和3月9日) 9:00—11:00测定各处理棉花植株上部第2片功能叶的气孔导度(Gs)、净光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr)^[18]。采用植物效率分析仪(Handy PEA)于处理第0、1、3、5、7天(2024年3月2日、3月3日、3月5日、3月7日和3月9日)6:00—7:00测定光系统II最大光化学效率(F_v/F_m)、PSII反应中心电子传递效率(F_m/F_0)^[17]、单位反应中心吸收的光能(ABS/RC)和以光能吸收为基础的性能指数(PI_{ABS})等参数^[19]。测定前棉花叶片充分暗适应30 min。

1.2.3 数据处理

采用Excel 2010 进行数据统计分析与处理; 采用SigmaPlot 12进行绘图。

2 结果与分析

2.1 抗坏血酸处理对棉花幼苗形态的影响

2.1.1 抗坏血酸喷施处理对棉花株高的影响

由表1可知, 不同质量浓度抗坏血酸溶液处理的幼苗株高差异明显, T2、T3、T4处理的显著高于T1的, 并随着AsA质量浓度增加, 株高呈先增加后减小的趋势。与第0天相比, T2处理第3、5、7天的株高增长率分别是5.24%、9.35%、14.59%, 高于T1处理的增长率; T3处理第3、5、7天的株高增长率分别是4.18%、7.51%、11.24%; 而T4处理第3、5、7天的株高增长率分别为4.21%、6.35%、9.16%。可以看出T2处理更有利于棉花植株生长, T3处理次之, T4处理效果较差。以上结果表明, 低浓度外源抗坏血酸处理能缓解低温胁迫对棉花幼苗生长的抑制, 但高浓度的抗坏血酸则可能对幼苗生长产生抑制。

表1 抗坏血酸处理后棉花株高及株高增长率

Table 1 Plant height and relative growth rate of cotton after ascorbic acid treatment					
处理	指标	第0天	第3天	第5天	第7天
T1	株高/cm	(16.80±0.35)c	(17.26±0.28)c	(17.85±0.38)c	(18.57±0.32)c
	增长率/%		(2.74±0.18)c	(6.25±0.28)c	(10.54±0.35)c
T2	株高/cm	(18.50±0.25)a	(19.47±0.35)a	(20.23±0.38)a	(21.20±0.42)a
	增长率/%		(5.24±0.22)a	(9.35±0.32)a	(14.59±0.38)a
T3	株高/cm	(17.70±0.30)b	(18.44±0.26)b	(19.03±0.30)b	(19.69±0.33)b
	增长率/%		(4.18±0.19)b	(7.51±0.29)b	(11.24±0.36)b
T4	株高/cm	(17.80±0.32)b	(18.55±0.29)b	(18.93±0.31)b	(19.43±0.30)b
	增长率/%		(4.21±0.20)b	(6.35±0.27)c	(9.16±0.33)d

注: 同一指标同列不同小写字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.1.2 抗坏血酸处理对棉花幼苗叶面积及干物质含量的影响

从表2可以看出, 随着抗坏血酸质量浓度增加, 棉

花幼苗叶面积呈先增加后降低的趋势, T2处理幼苗叶面积均显著高于其他处理的, T3、T4处理与T1处理的差异不显著。与第0天相比, T2处理第3、5、

表2 抗坏血酸处理后棉花幼苗叶面积、叶面积增长率及干物质含量

Table 2 Leaf area, leaf area growth rate and dry matter content of cotton seedlings after ascorbic acid treatment					
处理	指标	第0天	第3天	第5天	第7天
T1	叶面积/cm ²	(61.05±3.30)b	(61.64±1.11)b	(67.30±0.03)b	(71.06±1.14)b
	叶面积增长率/%		(0.97±0.50)c	(10.24±1.20)b	(16.40±0.80)c
	植株干物质含量/%	(12.53±0.29)c	(13.03±0.70)c	(13.50±1.30)c	(13.71±0.90)c
T2	叶面积/cm ²	(66.62±14.71)a	(70.51±2.79)a	(77.52±25.77)a	(82.10±0.60)a
	叶面积增长率/%		(5.84±0.60)a	(16.36±0.70)a	(23.24±0.50)a
	植株干物质含量/%	(13.10±0.71)a	(14.01±0.49)a	(14.82±1.06)a	(15.35±0.33)a
T3	叶面积/cm ²	(63.00±5.07)b	(65.59±2.07)b	(72.59±12.04)b	(76.66±1.00)b
	叶面积增长率/%		(4.11±0.40)b	(15.22±0.60)b	(21.68±0.40)b
	植株干物质含量/%	(12.93±0.47)b	(13.62±0.74)b	(13.90±0.80)b	(14.20±0.75)b
T4	叶面积/cm ²	(63.58±7.06)b	(66.27±2.95)b	(72.93±12.22)b	(77.19±0.72)b
	叶面积增长率/%		(4.23±0.50)b	(14.71±0.80)b	(21.41±0.60)b
	植株干物质含量/%	(12.87±0.70)b	(13.75±0.58)b	(14.07±1.00)b	(14.20±0.40)b

注: 同一指标同列不同小写字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

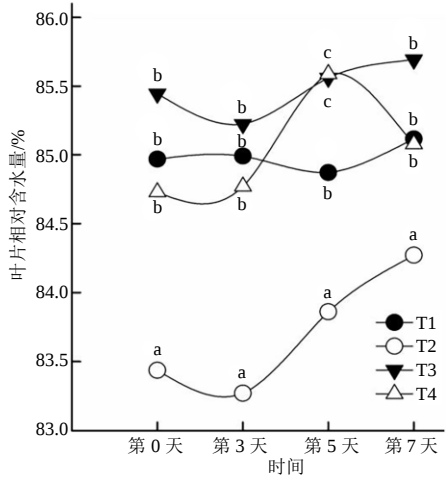
7天的叶面积增长率分别是5.84%、16.36%、23.24%，显著高于T1、T3、T4处理的增长率。由此可见，T2处理对低温胁迫下棉花叶面积生长具有较好的促进作用，适宜浓度抗坏血酸能够缓解低温胁迫对幼苗叶片生长的抑制。

由表2可知，低温胁迫下，各抗坏血酸处理组幼苗植株干物质含量随胁迫时间延长呈上升趋势，经抗坏血酸处理的幼苗植株干物质含量具有明显的差异，其中T2处理的效果最佳。与第0天相比，T2处理第7天的植株干物质含量增长率最高，达17.18%。以上结果表明，低浓度抗坏血酸可促进棉花幼苗营养物质积累，有效缓解低温伤害，起到壮苗效果，随着AsA质量浓度升高，其对物质积累的促进效应总体减弱，高浓度AsA对幼苗生长的正向调控作用下降。

2.1.3 抗坏血酸处理对棉花幼苗叶片相对含水量的影响

由图1可知，低温胁迫下，经过不同抗坏血酸溶液处理的棉花幼苗叶片相对含水量具有明显差异。T1处理第0、3、5、7天的叶片相对含水量分别为84.97%、85.00%、84.87%、85.15%；T2处理第0、3、5、7天的叶片相对含水量分别为83.42%、83.24%、83.86%、84.27%；T3处理第0、3、5、7天的叶片相对含水量分别为85.45%、85.20%、85.56%、85.72%；T4处理第0、3、5、7天的叶片相对含水量分别为84.73%、84.77%、85.58%、85.08%。T1、T3、T4处理组的叶片相对含水量均显著高于T2处理的；T3处理的叶片相对含水量始终处于较高水平。不同质

量浓度抗坏血酸处理对叶片相对含水量的影响存在差异，其中T2处理的作用效果与其他处理不同，其对棉花幼苗抗逆性的调控机制有待结合其他生理指标作进一步分析。



同一时间不同小写字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。
图1 抗坏血酸处理后棉花幼苗叶片的相对含水量
Fig. 1 Relative water content of cotton seedling leaves under ascorbic acid spray treatment

2.2 抗坏血酸处理对棉花幼苗光合特性的影响

由表3可知，低温胁迫后，随着处理时间延长，T2、T3、T4处理的净光合速率Pn并非持续单向下降，而是整体呈先升后降的变化趋势。T2处理的Pn于胁迫第1天达到峰值，第1~7天的Pn显著高于其他处理的，后期指标回落、下降趋势平缓。T4处理的Pn整体偏低。由此可见，适宜浓度抗坏血酸可缓解低温对棉花幼苗光合系统的抑制，T2处理提升净光合速率的效果最优。

表3 低温胁迫下棉花幼苗的光合特性

Table 3 The photosynthetic characteristics of cotton seedlings under low-temperature stress						
指标	处理	第0天	第1天	第3天	第5天	第7天
Pn/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	T1	(6.22±0.46)a	(0.72±0.26)c	(1.92±1.18)b	(-0.91±0.28)c	(-1.39±0.16)b
	T2	(4.03±0.73)b	(5.93±0.50)a	(2.10±0.55)a	(-0.42±0.34)a	(-1.22±0.16)a
	T3	(2.60±0.41)c	(3.02±1.24)b	(0.09±0.08)d	(-0.51±0.37)b	(-1.62±0.08)c
	T4	(0.32±0.10)d	(0.75±0.32)c	(0.16±0.13)c	(-0.57±0.14)b	(-1.34±0.14)b
Gs/($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	T1	(0.08±0.03)a	(0.01±0.01)b	0.03±0.02	0.01±0.00	0.01±0.01
	T2	(0.04±0.03)b	(0.07±0.03)a	0.03±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01
	T3	(0.03±0.01)b	(0.05±0.03)a	0.02±0.01	0.01±0.01	0.01±0.00
	T4	(0.01±0.00)b	(0.02±0.02)b	0.02±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01
Tr/($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	T1	(2.50±0.70)a	(0.53±0.31)c	(1.04±0.97)a	0.41±0.17	0.54±0.23
	T2	(1.53±0.95)b	(2.43±0.76)a	(0.67±0.41)b	0.56±0.48	0.55±0.25
	T3	(1.02±0.26)c	(1.59±1.14)b	(0.62±0.42)b	0.54±0.45	0.47±0.18
	T4	(0.38±0.12)d	(0.51±0.43)c	(0.45±0.34)c	0.39±0.25	0.49±0.35

注：同一指标同列不同小写字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

低温胁迫后T2、T3的Gs均呈先升后降趋势，且胁迫前3 d维持在较高水平，T4的Gs始终偏低，调控效果较差。第0、1天，T2的Gs高于T3的，第3、5、7天的Gs持平。综合来看，喷施抗坏血酸处理对低温胁迫下棉花幼苗气孔导度没有明显的改善效果。

低温胁迫后，随着处理时间延长，喷施抗坏血酸的幼苗Tr整体呈先升后降的趋势，且下降速率缓慢。T4处理Tr全程处于较低水平。T2、T3的Tr在第0、1日均保持较高的水平，且T2的Tr高于T3的。由此说明，T2对低温胁迫棉花幼苗蒸腾生理的保护作用最优。

2.3 外源抗坏血酸对低温胁迫下棉花幼苗叶绿素荧光参数的影响

F_m/F_0 是叶绿素荧光动力学分析中的一个重要参数，可表征光系统II(PSII)的潜在光化学活性，可以反映PSII反应中心的电子传递效率。由表4可知，胁迫前各处理组棉花幼苗的 F_m/F_0 比较接近(0.19~0.21)，胁迫第1天，抗坏血酸处理组植株的 F_m/F_0 显著高于T1处理的，第7天各处理的 F_m/F_0 基本处于同一水平(0.66~0.70)，说明抗坏血酸可以缓解低温胁迫对棉花幼苗光化学活性的影响，但是具有一定的响应时期和作用时间。

表4 低温胁迫下棉花幼苗的叶绿素荧光参数变化

Table 4 Changes in chlorophyll fluorescence parameters in cotton seedlings under low-temperature stress						
指标	处理	第0天	第1天	第3天	第5天	第7天
F_m/F_0	T1	0.19±0.01	(0.18±0.00)c	(0.68±0.11)a	0.67±0.09	0.68±0.07
	T2	0.21±0.09	(0.42±0.02)b	(0.59±0.07)b	0.70±0.12	0.67±0.08
	T3	0.20±0.11	(0.51±0.03)a	(0.68±0.05)a	0.71±0.09	0.66±0.02
	T4	0.19±0.01	(0.51±0.05)a	(0.62±0.14)b	0.69±0.08	0.70±0.08
F_v/F_m	T1	0.81±0.01	(0.82±0.00)a	(0.32±0.09)b	0.33±0.09	0.32±0.07
	T2	0.81±0.01	(0.58±0.02)b	(0.41±0.07)a	0.30±0.10	0.33±0.07
	T3	0.82±0.13	(0.49±0.04)c	(0.33±0.06)b	0.29±0.08	0.34±0.02
	T4	0.80±0.27	(0.49±0.05)c	(0.38±0.13)b	0.31±0.08	0.30±0.08
ABS/RC	T1	(1.49±0.08)c	(1.27±0.07)b	(3.96±1.56)a	(4.20±1.18)b	(4.18±0.87)b
	T2	(1.60±0.22)b	(1.71±0.04)a	(2.93±0.51)c	(4.37±1.35)a	(4.04±1.06)c
	T3	(1.77±0.61)b	(1.78±0.18)a	(3.45±0.57)b	(4.26±1.29)b	(3.53±0.23)d
	T4	(1.99±0.51)a	(1.83±0.15)a	(3.44±1.49)b	(4.06±0.81)c	(4.49±1.22)a
PI _{ABS}	T1	(5.49±1.13)a	(5.39±0.91)a	0.03±0.02	0.02±0.01	0.01±0.00
	T2	(4.52±0.98)b	(0.16±0.01)b	0.04±0.02	0.02±0.01	0.02±0.01
	T3	(4.33±0.85)b	(0.13±0.03)b	0.03±0.01	0.02±0.01	0.02±0.00
	T4	(4.17±0.67)c	(0.12±0.02)b	0.04±0.03	0.01±0.00	0.02±0.01

注：同列不同字母表示同一时间点不同处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

F_v/F_m 是反映植物叶片遭受干旱、强光、高温、低温等胁迫造成光合机构受损的重要生理指标。由表4可以看出，胁迫前各处理的 F_v/F_m 基本相同，随着低温胁迫时间的延长，各处理组棉花叶片的 F_v/F_m 整体呈下降趋势。第1天时，T2、T3、T4处理组植株的 F_v/F_m 显著低于T1的，下降速度较快；第5、7天各个处理的 F_v/F_m 基本处于同一水平(0.29~0.34)，说明抗坏血酸对植株PSII具有一定的保护作用，但需要一定的响应时期和作用时间。在第1、3天，T2处理的 F_v/F_m 均处于较高的水平，下降速度较缓。由此可见，T2处理的效果最佳。

ABS/RC表示单位反应中心的光能吸收量，能够反映光合机构比活性。胁迫前期各组ABS/RC差

异相对较小，随着低温胁迫持续，ABS/RC整体呈先上升后缓慢下降趋势。胁迫第1天，抗坏血酸处理组的ABS/RC均高于T1处理的。后续3~5 d所有处理的ABS/RC均大幅攀升，组间差距逐步缩小。由此可见，喷施抗坏血酸未降低幼苗单位反应中心的光能吸收量，各组缓解效果无明显差异。

PI_{ABS}表示幼苗的光合性能指数。由表4可知，胁迫前各个处理PI_{ABS}均处于较高水平(4.17~5.49)，低温胁迫显著降低了PI_{ABS}。在第1天时T1处理下降得较为缓慢，T2、T3、T4处理下降比较明显，1 d后不同处理的PI_{ABS}无显著差异。整体来看，低温条件下，外源喷施抗坏血酸并未提升棉花幼苗的光合性能指数，处理组植株表现不及对照组。

3 结论与讨论

低温冷害作为影响棉花生产的关键气象灾害,其强度与持续时间共同抑制幼苗生长,导致光合机构损伤、矿物质吸收受阻及活性氧(ROS)代谢失衡,进而引发产量下降与品质劣化^[20]。研究表明,低温胁迫会破坏棉花细胞膜稳定性,诱导ROS过量积累,抑制光合碳同化关键酶活性,并阻碍根系对矿物质元素的吸收,最终导致生理代谢网络失调^[21]。外源抗坏血酸(AsA)通过直接清除ROS(如H₂O₂)、激活抗氧化酶系统(如提升APX、GR等AsA-GSH循环酶活性),维持氧化还原稳态,显著增强植物的低温耐受性^[22-25]。分子机制上,AsA可诱导L-半乳糖合成途径关键基因(*GalDH*、*GalLDH*)的表达,促进内源AsA合成^[26],同时可通过协同bZIP-MYB转录复合体(如猕猴桃中的AcePosF21/AceMYB102)激活抗寒基因的表达^[27],这一调控模式在茶树^[28](CsCIPK20-CsVTC1模块)和忍冬^[29](*LjLAPX*等基因)等植物中得到验证。

本研究结果显示,50 mg/L(T2)抗坏血酸处理对缓解棉花低温胁迫的效果最优。在形态指标上,该浓度处理的株高、叶面积及干物质含量显著高于对照组(T1)及高浓度组(T4)的,表明低浓度AsA有效缓解了低温胁迫造成的棉花幼苗生长抑制。有研究表明,AsA可通过精准平衡ROS清除与信号保留功能,显著降低植株体内H₂O₂和丙二醛(MDA)的过量积累,减轻膜脂过氧化损伤,同时激活APX、GR等抗寒基因的表达,提升AsA-GSH循环中关键抗氧化酶(APX、DHAR、GR)的活性,维持植株体内较高的AsA/DHA与GSH/GSSG比值,保障抗氧化代谢稳定运行^[30-33]。光合保护方面,50 mg/L抗坏血酸处理有效减缓了低温引发的净光合速率(Pn)与叶绿素荧光参数下降,维持光系统II(PSII)功能。

基于本研究结果(50 mg/L AsA在苗期有显著抗寒效果),建议在棉花出苗期遭遇骤冷(<15 °C)前24 h进行叶面喷施,每公顷用量为1 200~1 500 L药液,并避免高温时段施用以防光解,且需规避与强碱性农药混用。但本研究仅从幼苗形态生长与光合指标方面,初步探究了AsA缓解棉花幼苗低温胁迫的调控效应,尚未深入解析棉花幼苗的生理生化调控机制。后续研究可结合多组学技术系统解析AsA介导的棉花抗寒分子调控通路,阐明AsA与ABA、

H₂O₂信号的互作网络,同时优化AsA喷施浓度梯度与处理条件,精准筛选适配棉花苗期抗寒栽培的最佳施用剂量,为其在棉花生产中的推广应用提供更完善的理论依据与技术支撑。

参考文献:

- [1] 李娟,沙晓梅,帕提古力·阿不力孜,等. 低温胁迫对棉花幼苗生长的影响[J]. 耕作与栽培, 2019(4): 1-5.
- [2] 赵宇萱,苗纪元,胡伟,等. 苗期低温对棉花花芽分化和棉株产量的影响[J]. 中国农业科学, 2025, 58(7): 1311-1320.
- [3] 楚现周,楚菲,黄涛,等. 棉花种子田间出苗率低的原因分析及对策[J]. 中国棉花, 2025, 52(2): 57-59.
- [4] 周小云,张军高,梁晶,等. 低温和水分胁迫条件下萎锈灵对棉花种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 新疆农业科学, 2024, 61(12): 3051-3060.
- [5] 王俊娟,陆许可,王延琴,等. 陆地棉遗传标准系TM-1的特性及其耐冷性[J]. 中国农业科学, 2022, 55(8): 1503-1517.
- [6] 李侃,谢章书,何玉玺,等. 播期和种植密度对不同熟性棉花生理特性及产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(3): 260-267.
- [7] 张宁,许豆豆,刘玉杰,等. 夏播短季栽培对棉花成铃时空分布特征及产量构成的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(1): 15-22.
- [8] 覃业玲,谢章书,李佳芮,等. 播期和种植密度及施氮量对短季直播棉成铃时空分布及产量形成的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(5): 8-14.
- [9] 张荣,张学瀚,张立涛. 影响棉花生产的气象灾害和防御对策[J]. 新农业, 2024(8): 10-11.
- [10] 黄文敏,邢伟,李敦海,等. 外源抗坏血酸对烟草细胞生长及衰老的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1157-1161.
- [11] 徐建伟,闫紫欣,朱金成,等. 抗坏血酸提高棉花种子萌发耐盐性及其生理机制[J]. 中国农学通报, 2024, 40(33): 53-60.
- [12] 于月华,祁颖萱,田梦,等. 棉花抗坏血酸过氧化物酶基因*GhAPX2*的克隆与表达模式分析[J/OL]. 分子植物育种. (2023-08-15). <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20230815.1407.010>.
- [13] 李艺寒,陈玉童,刘芯邑,等. 外源抗坏血酸对棉花种子萌发耐冷性的影响[J]. 种子, 2019, 38(3): 77-80.
- [14] 蔡肖,江振兴,甄军波,等. 水杨酸对低温胁迫下棉花种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 河南农业科学, 2016, 45(7): 39-43.
- [15] 刘菲菲,魏亦农,李志博. 低温胁迫对棉花幼苗叶片光合特性的影响[J]. 石河子大学学报, 2011, 29(1): 11-14.

- [16] 忠智博, 王淑虹, 何帅, 等. 水盐胁迫对不同品种棉花苗期光合和荧光参数的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2024, 42(5): 157–166.
- [17] 蔡庆生. 植物生理学实验[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013.
- [18] RAJENDRAKUMAR C S V, REDDY B V B, REDDY A R. Proline-protein interactions: protection of structural and functional integrity of M4 lactate dehydrogenase[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 1994, 201(2): 957–963.
- [19] 闫成川, 曲延英, 陈全家, 等. 基于无人机多光谱影像的棉花SPAD值及叶片含水量估测[J]. 农业工程学报, 2023, 39(2): 61–67.
- [20] 孙帅, 李顺澳, 王森, 等. 近60年新疆棉花苗期低温冷害时空变化规律[J]. 中国农业气象, 2024, 45(6): 678–688.
- [21] 史俊东, 李新民, 辛永红, 等. 低温持续期与低温强度对棉花种子发芽率的影响[J]. 北京农业, 2014(21): 5–6.
- [22] 颜志明, 孙锦, 郭世荣, 等. 外源脯氨酸对盐胁迫下甜瓜幼苗根系抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响[J]. 植物科学学报, 2014, 32(5): 502–508.
- [23] HASANUZZAMAN M, BHUYAN M H M B, ANEE T I, et al. Regulation of ascorbate-glutathione pathway in mitigating oxidative damage in plants under abiotic stress[J]. Antioxidants, 2019, 8(9): 384.
- [24] LI S C. Novel insight into functions of ascorbate peroxidase in higher plants: more than a simple antioxidant enzyme[J]. Redox Biology, 2023, 64: 102789.
- [25] 杜昕, 李博, 毛鲁泉, 等. 褪黑素对干旱胁迫下大豆产量及AsA-GSH循环的影响[J]. 作物杂志, 2022(1): 174–178.
- [26] MISHRA S, SHARMA A, SRIVASTAVA A K. Ascorbic acid: a metabolite switch for designing stress-smart crops[J]. Critical Reviews in Biotechnology, 2024, 44(7): 1350–1366.
- [27] JIANG Z Y, ZHONG Y, ZHENG J, et al. L-ascorbic acid metabolism in an ascorbate-rich kiwifruit (*Actinidia Eriantha* Benth.) cv. ‘White’ during postharvest[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2018, 124: 20–28.
- [28] DI T M, WU Y D, WANG J, et al. CsCIPK20 improves tea plant cold tolerance by modulating ascorbic acid synthesis through attenuation of CsCSN5-CsVTC1 interaction[J]. Plant, Cell & Environment, 2025, 48(5): 3337–3351.
- [29] 孙楠, 黄璐瑶, 杨盛, 等. 忍冬功能基因挖掘研究进展[J]. 遗传, 2024, 46(11): 920–936.
- [30] 黄文敏, 邢伟, 李敦海, 等. 外源DMSO和ASA对微囊藻毒素胁迫下烟草细胞ROS生成和抗氧化系统的影响[J]. 水生生物学报, 2007(6): 869–873.
- [31] SHAN C J, ZHANG S L, OU X Q. The roles of H₂S and H₂O₂ in regulating AsA-GSH cycle in the leaves of wheat seedlings under drought stress[J]. Protoplasma, 2018, 255(4): 1257–1262.
- [32] JIANG Z Z, ZHU H G, ZHU H Y, et al. Exogenous ABA enhances the antioxidant defense system of maize by regulating the AsA-GSH cycle under drought stress[J]. Sustainability, 2022, 14(5): 3071.
- [33] LIU T, HU X H, ZHANG J, et al. H₂O₂ mediates ALA-induced glutathione and ascorbate accumulation in the perception and resistance to oxidative stress in *Solanum lycopersicum* at low temperatures[J]. BMC Plant Biology, 2018, 18(1): 34.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 罗 维