引用格式:冯晓东,谢佳菲,李立,等. 高温胁迫下水杨酸对甜瓜幼苗耐热性的影响[J]. 延安大学学报(自然科学版),2026,45(3):17-23. [FENG X D,XIE J F,LI L,et al. Effect of salicylic acid on the heat tolerance in melon seedlings under high temperature stress[J]. Journal of Yan'an University(Natural Science Edition),2026,45(3):17-23.] **DOI**:10.13876/J.cnki.ydnse.260006

高温胁迫下水杨酸对甜瓜幼苗耐热性的影响

冯晓东[1,2*],谢佳菲[1],李　立[1],马紫晨[1],薛金翩[1]

(1. 延安大学 生命科学学院;2. 延安市设施果蔬工程技术研究中心,陕西 延安 716000)

摘　要:为探明高温胁迫下外源水杨酸对甜瓜幼苗耐热性的影响,研究以延安市宝塔区主栽的"星甜24"甜瓜为材料,利用人工气候箱模拟高温胁迫,采用叶片喷施不同浓度水杨酸(0、100、200、300、400、500 mg/L)的方式,研究了40 ℃胁迫48 h水杨酸对甜瓜幼苗生长和代谢的影响,试验结果表明,高温胁迫后,甜瓜幼苗的生长受到抑制,光合代谢显著下降,抗氧化能力减弱。200~300 mg/L水杨酸处理后,与高温胁迫处理相比较,不仅株高、茎粗、叶长、叶宽、根冠比、壮苗指数均显著升高,同时,总叶绿素含量、净光合速率和蒸腾速率也显著升高;200~300 mg/L水杨酸处理可以显著提高甜瓜幼苗的过氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化物酶活性,增加还原型谷胱甘肽和抗坏血酸的含量,并通过增加渗透调节物质含量,缓解高温带来的水分胁迫,提高甜瓜幼苗的耐热性和缓解膜脂氧化。因此,在实际生产中,叶面喷施200~300 mg/L水杨酸,尤其是300 mg/L水杨酸,可以提高甜瓜幼苗的抗高温胁迫能力,降低高温对甜瓜种植带来的危害。

关键词:甜瓜幼苗;水杨酸;高温胁迫;耐热性

中图分类号:Q945.78　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1004-602X(2026)03-0017-07

高温胁迫通过破坏植物细胞膜结构、干扰光合与呼吸作用、诱导活性氧大量积累等方式,严重影响植物的生长发育、生理代谢及最终产量与品质[1]。设施园艺作为现代农业生产的重要形式,虽能在一定程度上规避不利自然条件,但在夏季强日照下,密闭或通风不良的温室与拱棚内容易出现持续性极端高温环境,往往对栽培作物造成严重的热害。

甜瓜(*Cucumis melo* L.)作为广受消费者喜爱的园艺作物,其果实香甜、营养丰富,经济效益显著,在我国多地均有广泛栽培,尤其是在设施栽培中占有重要地位。然而,甜瓜属于喜温但不耐热作物,幼苗期是对高温较为敏感的时期之一,持续高温极易导致其幼苗生长受阻、叶片灼伤、光合效率下降、抗氧化系统失衡,进而影响后期的开花坐果与产量形成[2-3]。因此,探索有效提高甜瓜幼苗耐热性的栽培调控措施,对于保障设施甜瓜安全生产与稳定供应具有重要的现实意义。

水杨酸(Salicylic Acid, SA)是一种广泛存在于植物体内的内源性酚类化合物,已被证实是一种能够调控植物生长发育、并参与响应多种生物与非生物胁迫的关键信号分子[4]。大量研究表明,外源施加适宜浓度的水杨酸,可以通过激活植物的抗氧化防御系统(如提高SOD、POD、CAT等酶活性)[5]、诱导热激蛋白表达、维持细胞膜稳定性、调节渗透物质积累及光合性能等多条途径,显著增强植物对高温、干旱、盐碱等逆境的抵抗能力,即系统获得性抗性[6-8],这为利用外源物质调控作物耐热性提供了潜

收稿日期:2026-01-09
基金项目:国家级大学生创新创业训练计划项目(202410719049);陕西省重点研发计划项目(2025NC-YBXM-296)
作者简介:冯晓东(1968—),男,副教授,主要从事植物生理学研究。
*通信作者　E-mail:yananfxd@163.com

在的有效策略。

生产实践中,夏季棚室内高温胁迫问题日益凸显,严重威胁甜瓜幼苗的健壮生长与早期发育。目前,关于外源水杨酸在增强作物耐热性方面的研究已多见报道,但针对特定气候与设施环境条件下,水杨酸对温室大棚甜瓜幼苗耐热性调控效应的研究尚显不足,其适宜浓度、施用方式及具体的生理生化响应机制有待于结合本地生产实际进行深入探究。基于此,本研究以甜瓜幼苗为试验材料,在模拟温室大棚夏季高温胁迫条件下,研究不同浓度外源水杨酸处理对甜瓜幼苗生长指标、光合特性、抗氧化酶系统、渗透调节物质及膜脂过氧化程度等的影响。旨在探索分析水杨酸在缓解甜瓜幼苗热害中的作用效果,筛选出适宜的应用浓度,并从生理生化层面揭示其可能的耐热性机制,以期为设施甜瓜生产中缓解高温胁迫伤害、培育优质壮苗提供理论依据与技术参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试甜瓜品种选用延安宝塔区主栽的星甜24。种子经消毒、浸种、催芽后,在2025年4月播种于统一规格的育苗穴盘(50孔)中,基质为商用草炭营养土。

1.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计,共设置7个处理,即常温对照(CK,常温下无SA处理)以及高温下0、100、200、300、400、500 mg/L SA处理(分别表示为T_0,T_1,T_2,T_3,T_4,T_5),每个处理12株苗,设置3次生物学重复。

处理方法:当甜瓜幼苗长至2叶1心时,将试验用幼苗在适宜温度(昼/夜:28±2 ℃/20±2 ℃)下正常管理[9]。试验分两组处理,一组高温胁迫处理,使用小型喷雾器将不同浓度(下0,100,200,300,400,500 mg/L)SA溶液均匀喷施于幼苗叶片正反面至刚好滴液为止,连续喷施3 d后,将各处理幼苗移入人工气候箱,模拟夏季大棚午间高温,持续处理48 h,设置温度:昼/夜为(40±1) ℃/(30±1) ℃,光照周期14 h/10 h,相对湿度60%~70%;一组常温对照组,继续置于适宜温度(28 ℃/20 ℃)下生长,作为无胁迫对照,用于评估SA本身在常温下的效应及高温胁迫造成的伤害程度[10]。高温胁迫处理结束当天,立即取样测定各项指标,各指标的测量重复3次,每重复取样植株12株。

1.3 测量方法

株高、茎粗、叶长、叶宽使用游标卡尺直接测量;利用精度为0.001 g的电子天平称量地上部与根系干鲜重;壮苗指数=(茎粗/株高+根干重/地上部干重)×全株干重[11]净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间CO_2浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr)使用德国WALZGFS-3000便携式光合作用—荧光测量系统测定;叶绿素含量的测定采用分光光度法,利用分光光度计测定叶绿素提取液在最大吸收波长下的吸光值,用朗伯~比尔定律计算出提取液中叶绿素的含量[12];

采用氮蓝四唑光化还原法、愈创木酚法等[13]分别测定超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性;采用分光光度法测定还原型谷胱甘肽(GSH)含量及抗坏血酸(AsA)含量;采用蒽酮法、磺基水杨酸法[12]测定叶片中脯氨酸、可溶性糖含量;丙二醛含量的测定采用孔祥生等[14]的测定方法;相对电导率使用电导率仪测定溶液的初始电导率C_1,将样本连同浸泡液一起煮沸10 min,冷却至室温后测定溶液的电导率C_2,相对电导率=C_1/C_2。

1.4 数据处理与统计分析

采用SPSS软件(版本21.0)和Microsoft Excel 2010进行数据统计分析,试验数据表示为平均值±标准差。各处理的比较采用最小显著差数法(LSD)进行多重比较,其中$P>0.05$、$P<0.05$分别表示无显著差异、有显著差异,$P>0.01$、$P<0.01$分别表示无极显著差异、有极显著差异。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫下SA对甜瓜幼苗形态指标的影响

植株形态指标是反映逆境胁迫及外源物质缓解效果最直观的依据。为了明确高温胁迫对幼苗生长的影响及SA的调控作用,对株高、叶长、叶宽等形态指标进行了测定。由表1可知,高温胁迫下T_0处理的甜瓜幼苗株高、叶长、叶宽、根冠比、壮苗指数与适温条件下相比均下降,且差异明显($P<0.05$);茎粗也下降,但差异不明显,表明高温胁迫对甜瓜幼苗的形态造成了伤害。高温胁迫下,与T_0处理相比,各喷施SA处理甜瓜幼苗形态指标均不同程度增加,并随着SA浓度升高均表现出先升高后降低的趋势,且均在T_3处理时达到最高值。其中,T_2和T_3处理的株高和壮苗指数显著高于T_0($P<0.05$),壮苗指数提高最显著,

分别提高了 32.33% 和 38.23%；茎粗、叶长、叶宽高于T_0，但差异不显著（P>0.05）。表明在高温下，适宜浓度 SA 处理显著提高甜瓜幼苗的生物量和株高，起到缓解高温对甜瓜幼苗生长的不利影响。

表 1　不同浓度 SA 对甜瓜幼苗形态指标的影响

处理	株高/cm	茎粗/mm	叶长/cm	叶宽/cm	根冠比	壮苗指数
CK	9.2±0.8a	4.3±0.2a	8.3±0.6a	9.1±0.7a	0.318a	0.052a
T_0	6.8±0.8d	3.7±0.2a	7.5±0.6b	7.6±0.7b	0.296ab	0.034c
T_1	7.8±0.6bc	3.9±0.2a	7.4±0.5b	7.8±0.8b	0.182bc	0.036c
T_2	8.4±0.7b	4.1±0.2a	7.6±0.7b	8.2±0.7b	0.210b	0.045b
T_3	8.9±0.9b	4.2±0.2a	8.1±0.6ab	8.3±0.9ab	0.286b	0.047b
T_4	7.9±0.6bc	3.9±0.2a	7.5±0.8b	8.1±0.7b	0.278b	0.039c
T_5	7.3±0.8c	3.8±0.2a	7.2±0.5b	7.5±0.8b	0.192bc	0.037c

注：表中不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著性。下图中意义相同，不再赘述。

2.2　高温胁迫下不同浓度 SA 对甜瓜幼苗光合特性的影响

由图 1 可知，高温胁迫下甜瓜幼苗的总叶绿素含量、胞间CO_2浓度、气孔导度、净光合速率和蒸腾速率与适温条件下相比均下降，且差异明显（P<0.05），表明高温胁迫对甜瓜幼苗的光合作用造成了伤害。高温胁迫下，外施不同浓度 SA 对甜瓜幼苗光合指标的影响不一样，对总叶绿素含量（图 1A）、胞间CO_2浓度（图 1B）和气孔导度（图 1C）的影响表现为T_1~T_5处理下均有显著的促进作用，且差异显著（P<0.05），总体趋势随 SA 浓度的增大表现为先升高后下降的趋势，其中，T_2和T_3处理下影响作用较大，对总叶绿素含量分别提高了 33.3% 和 25.8%；胞间CO_2浓度分别提高了 26.8% 和 33.9%；气孔导度分别提高了 45.3% 和 51.2%。对光合速率（图 1D）和蒸腾速率（图 1E）的影响表现为T_2~T_4处理下均有显著的促进作用，且差异显著（P<0.05），其中，对光合速率的提高分别为 75.1%、79.3% 和 65.2%；对蒸腾速率的提高分别为 16.6%、44.3% 和 27.7%；T_1和T_5处理下没有显著差异（P>0.05）。表明在高温胁迫下，适宜浓度的 SA 处理能有效恢复甜瓜幼苗的光合代谢能力。

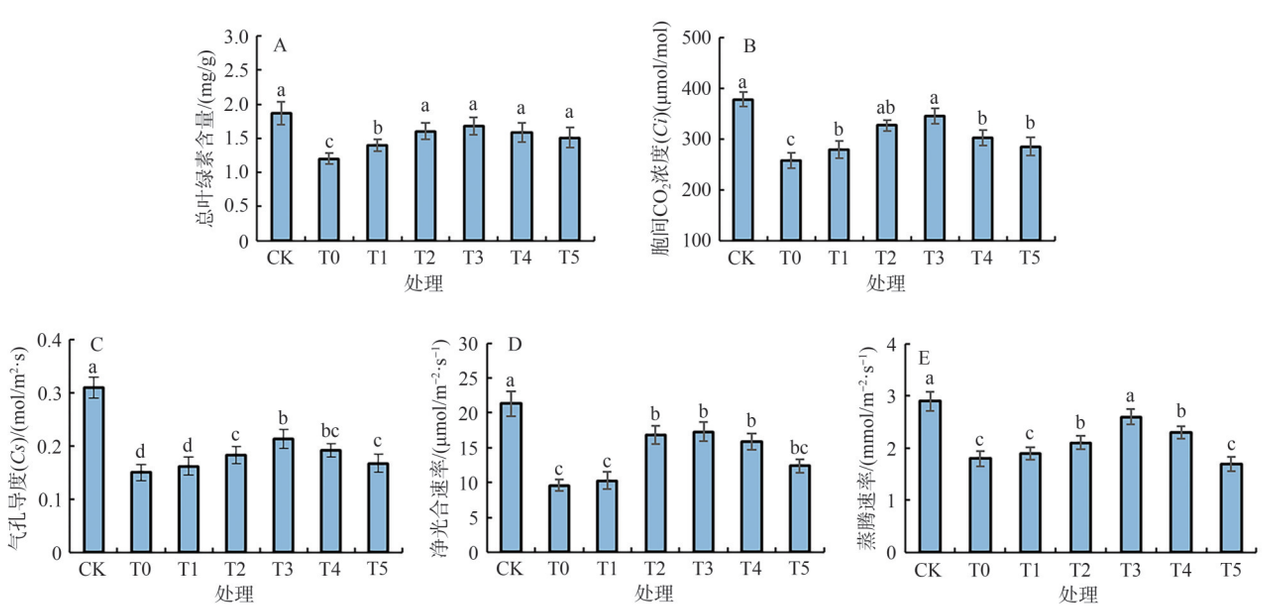


图 1　不同浓度 SA 对甜瓜幼苗光合特性的影响

2.3　高温胁迫下 SA 对甜瓜幼苗抗氧化系统的影响

由图 2 可知，高温胁迫下甜瓜幼苗的 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、GSH 含量和 AsA 含量与适温条件下相比均有所升高，没有明显差异（P>0.05），表明甜瓜幼苗在抗氧化方面对高温胁迫造成的伤害不敏感。高温胁迫下，外施不同浓度 SA 后，

甜瓜幼苗的抗氧化系统发生显著的变化，T_2~T_4处理下各项抗氧化指标均高于高温对照T_0，且差异显著(P<0.05)。其中SOD活性(图2A)、POD活性(图2B)、GSH含量(图2D)和AsA含量(图2E)在T_2和T_3处理下升高较大，SOD活性分别升高了64.5%和55.2%，POD活性分别升高了48.4%和58.4%，增加幅度较大；抗氧化物质GSH含量分别增加了33.2%和26.4%，AsA含量分别增加了39.2%和33.4%；而CAT(图2C)的活性T_3~T_5处理下与T_0相比较有显著差异(P<0.05)。表明在高温胁迫下，适宜浓度的SA处理能提升甜瓜幼苗抗氧化的代谢能力。

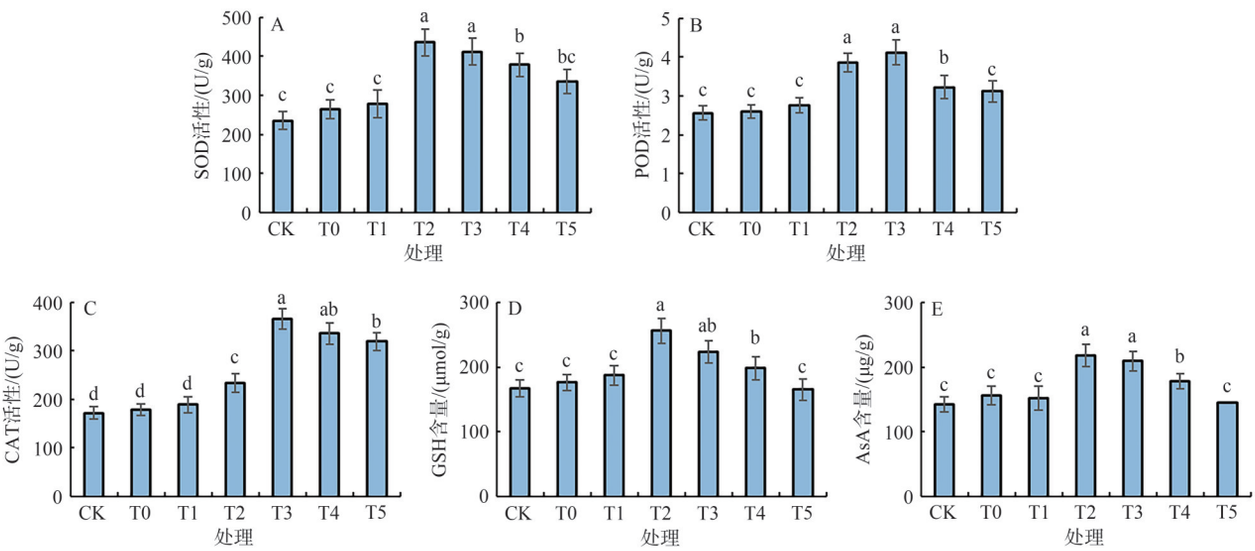


图2 不同浓度SA对甜瓜幼苗抗氧化系统的影响

2.4 高温胁迫下SA对甜瓜幼苗渗透调节的影响

由图3可知，高温胁迫下甜瓜幼苗的脯氨酸含量(图3A)与适温条件下相比有显著升高，差异明显(P<0.05)，而可溶性糖含量(图3B)与适温条件下相比有显著下降，差异明显(P<0.05)。高温胁迫下，随着水杨酸浓度的提高甜瓜幼苗的脯氨酸含量和可溶性糖含量均呈先增加后降低的趋势，T_2~T_5处理下脯氨酸含量和可溶性糖含量均高于高温对照T_0，且差异显著(P<0.05)，其中，T_3处理下脯氨酸含量和可溶性糖含量均达到最大，分别为41.3 μg/g和7.86 mg/g。表明在高温胁迫下，适宜浓度的SA处理能促进甜瓜幼苗产生渗透调节物质，有利于缓解胁迫带来的伤害。

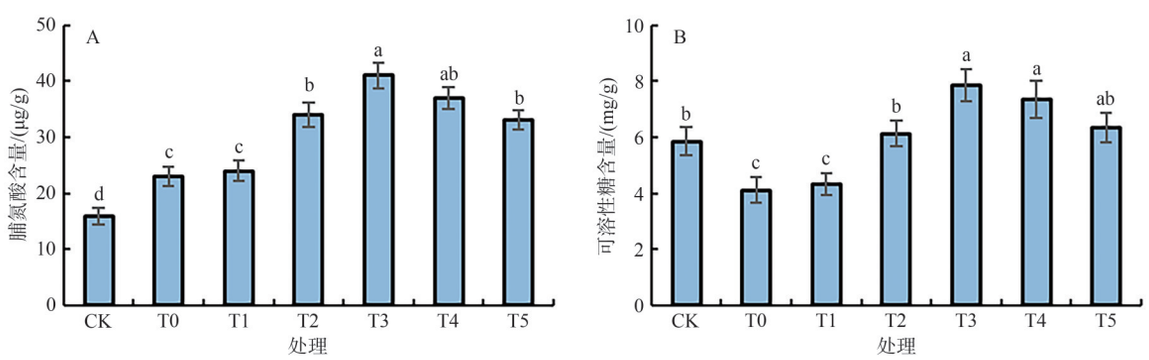


图3 不同浓度SA对甜瓜幼苗渗透调节物质含量的影响

2.5 高温胁迫下SA对甜瓜幼苗细胞膜脂的影响

由图4可知，高温胁迫下甜瓜幼苗的丙二醛含量(图4A)和相对电导率(图4B)与适温条件下相比均有所升高，且差异明显(P<0.05)，表明高温胁迫对甜瓜幼苗叶片细胞膜造成伤害。高温胁迫下，随着水杨酸浓度的提高甜瓜幼苗的丙二醛含量和相对电导率均呈先增加后降低再升高的趋势，T_3处理下脯氨酸含量和可溶性糖含量均高于高温对照T_0，且差异显著(P<0.05)，其中，T_3处理下丙二醛含量和相对电导率均降到最低，分别为2.65 nmol/g和0.52，表明在高温胁迫下，适宜浓度的SA处理能降低甜瓜幼苗的丙二醛含量和相对电导率，缓解胁迫带来的细胞膜脂氧化程度。

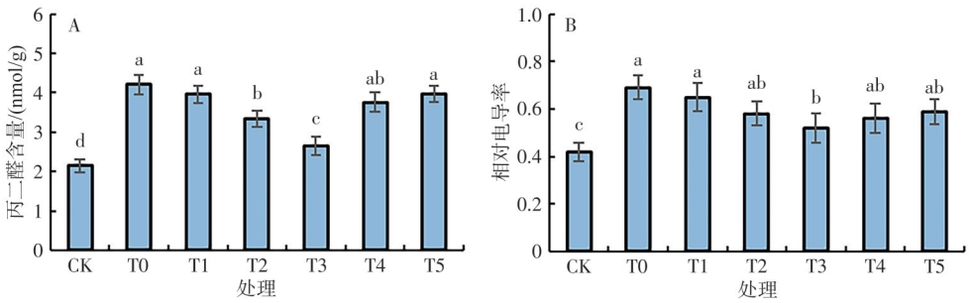


图4　不同浓度SA对甜瓜幼苗膜脂氧化的影响

3　讨论与结论

3.1　讨论

3.1.1　高温胁迫下SA对甜瓜幼苗生长的影响

本研究发现，高温胁迫（40 ℃）处理48 h导致甜瓜幼苗株高、叶长、叶宽、根冠比及壮苗指数均显著下降，表明高温抑制了幼苗的地上部生长与根系发育，同时影响了整体壮苗程度。茎粗虽下降但不显著，说明茎的径向生长对高温的响应相对迟缓，或受抑制程度较轻。这一结果与前人关于高温胁迫对植物生长抑制的研究相一致[15-16]，通常随着高温胁迫程度加大，株高、茎粗、鲜重和生物量呈显著下降趋势，茎粗、鲜重和生物量的下降导致壮苗指数显著下降，而根冠比会显著增加。

外源喷施SA后，各形态指标均有改善，并呈“先升后降”的趋势，在T_3处理达到峰值，说明SA对高温胁迫的缓解作用存在最适浓度。其中，T_2和T_3处理株高与壮苗指数显著提高，而茎粗、叶长、叶宽虽未达显著水平，但仍高于T_0，表明SA可能优先促进幼苗的纵向生长与整体健壮度，对叶片扩展与茎粗增长的促进效应相对较弱，这与石文昕等人在西瓜幼苗方面的研究相一致[17]。壮苗指数大幅提升，说明SA显著增强了幼苗的抗逆性及生物量分配合理性，有利于培育壮苗。SA增强抗逆性的机制在不同作物中具有共性，多项研究表明，SA能缓解高温对黄瓜、番茄、辣椒等蔬菜作物的生长抑制。例如，郭泳等[18]报道SA处理提高了高温下番茄幼苗的株高、叶面积和干物质积累，与本研究中甜瓜的结果一致。研究中发现，T_1和T_5处理下根冠比都显著下降，可能与其对内源激素的影响有关，机理有待进一步研究。

3.1.2　高温胁迫下SA对甜瓜幼苗光合特性的影响

高温胁迫导致甜瓜幼苗叶绿素总含量、净光合速率（*Pn*）、气孔导度（*Gs*）、胞间CO_2浓度（*Ci*）和蒸腾速率（*Tr*）均显著下降，这表明高温伤害是系统性的：既包括气孔限制，也包括非气孔限制。初始阶段，高温可能引发气孔关闭（*Gs*下降），以减少水分流失（*Tr*下降），但这同时也限制了CO_2供应（*Ci*初期下降），导致*Pn*降低。随着高温胁迫的延长，可能直接破坏叶绿体结构、抑制光系统Ⅱ活性及关键光合酶（如Rubisco）的活性，导致光合机构受损（总叶绿素下降），此时即使*Ci*因光合碳同化受阻而回升，*Pn*仍无法恢复，这与高温胁迫光合生理的经典理论相符[19-20]。

外源SA的喷施有效逆转了高温对光合的抑制，但其效果呈现典型的“低促高抑”浓度依赖性，且在T_2/T_3处理达到最优，这与形态指标的结论一致。但SA对不同光合指标的影响阈值和幅度存在差异，从T_1起，SA即显著提升了总叶绿素含量、*Ci*和*Gs*。这表明SA可能通过调节保卫细胞信号缓解了气孔的不当关闭，从而改善了CO_2的供应条件；在适宜浓度（T_2~T_4），SA对Pn和Tr产生显著促进作用，且Pn的提升幅度（最高达79.3%）远超过Tr的提升幅度。这表明SA的作用不仅在于改善气孔导度以增加CO_2供应，更在于直接增强了叶肉细胞的光合能力，意味着SA处理可能提高了幼苗的水分利用效率，这对抵抗高温引起的干旱起到积极作用。本研究结论与许耀照等[21]人在黄瓜上的发现一致，叶面喷施浓度为0.10 mmol/L的SA可缓解高温对黄瓜幼苗叶片光合作用的抑制程度，维持PSⅡ有较高的活性，并减轻膜脂过氧化程度。

3.1.3　高温胁迫下SA对甜瓜幼苗抗氧化系统的影响

与适温条件相比，高温胁迫（T_0）虽使超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）、过氧化氢酶（CAT）活性及谷胱甘肽（GSH）、抗坏血酸（AsA）含量均有所上升，但差异均不显著。这表明甜瓜幼苗对短期或设定强度的高温胁迫能够启动基础的抗氧化防御反应，试图清除因此产生的过量活性氧（ROS）；然而，这种内源响应强度有限且未达显著激

活水平,不足以完全抵消氧化损伤,甜瓜幼苗抗氧化酶的这一表现与本研究中高温导致生长和光合抑制的结果相一致。外源SA的施用,特别是在T_2~T_4浓度处理下,SOD和POD活性提升幅度最大(分别最高达64.5%和58.4%)。SOD是ROS清除的第一道防线,负责将超氧阴离子歧化为H_2O_2,而POD则负责分解H_2O_2等过氧化物,二者的协同高效提升了细胞的抗氧化能力,而研究也表明SA能显著增强细胞对ROS的"解毒"能力[22];GSH和AsA作为重要的还原力物质和抗氧化剂,其含量的显著增加,不仅可以直接清除ROS,还参与ASA-GSH循环,再生其他抗氧化剂(如维生素E),共同维持细胞的氧化还原稳态[23]。本研究中SA对SOD、POD活性和GSH)、AsA含量的显著提高,也是甜瓜幼苗耐热性提高的原因之一。CAT活性在较高浓度T_3~T_5处理下才与T_0有显著差异,这可能是CAT对SA浓度的响应阈值较高,或其调控路径与SOD/POD有所不同。

3.1.4 高温胁迫下SA对甜瓜幼苗渗透调节物质及细胞膜稳定性的影响

高温胁迫下,甜瓜幼苗的脯氨酸含量显著升高,而可溶性糖含量显著下降(P<0.05)。这表明脯氨酸在高温胁迫下作为重要的渗透调节物质,对维持细胞渗透平衡和膜稳定性具有重要作用。然而,可溶性糖含量的下降可能反映了高温胁迫下植物体内碳水化合物代谢的紊乱。外施SA后,甜瓜幼苗的脯氨酸和可溶性糖含量均显著增加(P<0.05),且呈先增加后降低的趋势。在300 mg/L(T_3)处理下,脯氨酸和可溶性糖含量达到最大值,这表明适宜浓度的SA还能够促进甜瓜幼苗产生更多的渗透调节物质,以应对高温胁迫带来的渗透压力。

此外,高温胁迫下甜瓜幼苗的MDA含量和相对电导率显著升高(P<0.05),表明细胞膜受到严重损伤。外源SA处理后,MDA含量和相对电导率的变化呈现出"先增后降再升"的变化趋势。在T_1处理下,SA可能尚未能有效启动足够的防御机制,或因其本身作为信号分子对细胞产生微弱刺激,导致膜损伤指标略有升高或变化不显著。在T_2~T_4浓度下,SA处理显著降低了MDA含量和相对电导率,表明其有效减轻了膜脂过氧化,维护了膜的完整性。这与本研究SA强烈激活SOD、POD等抗氧化酶,并提升ASA、GSH等抗氧化物质含量的结果一致,但过高浓度的SA本身可能引发一定程度的氧化应激或成为代谢负担,从而削弱其保护效果,甚至产生负面影响。

3.2 结论

综上所述,叶面喷施200~300 mg/L外源水杨酸(SA)能系统性地增强甜瓜幼苗的耐热性。其保护机制主要通过协同作用实现:一是增强抗氧化防御,通过提升SOD、POD活性及ASA、GSH含量,有效清除活性氧;二是改善渗透调节,显著积累脯氨酸和可溶性糖以维持细胞水分平衡;三是保护光合机构,通过缓解氧化损伤和改善水分状况来维持光合性能与水分利用效率;四是维持膜稳定性,显著降低MDA含量与相对电导率,减轻膜脂过氧化,从而保护细胞膜完整性,SA通过上述多维度生理机制,使幼苗在高温下的生长显著恢复。建议在实际栽培中,于高温胁迫前或初期使用该浓度SA进行叶面喷施,并与其他农艺管理措施相结合,以发挥其最佳抗高温胁迫的效果。

参考文献:

[1]朱长志,张志仙,檀国印,等.蔬菜作物高温胁迫研究进展[J].江西农业学报,2017,29(2):53-57.

[2]段祥坤,王建玉,王志鹏.高温胁迫对设施甜瓜幼苗光合特性参数的影响[J].北方园艺,2023,47(20):41-46.

[3]杨克明,李海峰,胡西旦·买买提,等.调环酸钙对高温胁迫下甜瓜生理生长及产量品质的影响[J].华北农学报,2025,40(4):85-95.

[4]谷晓勇,刘扬,刘利静.植物激素水杨酸生物合成和信号转导研究进展[J].遗传,2020,42(9):858-869.

[5]江鸿,卿东山,陈浩杰,等.外源水杨酸对淹水胁迫下西瓜幼苗光合特性及抗氧化酶系统的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2024,50(3):47-54.

[6]彭浩,宋文路,王晓强,等.水杨酸与植物抗逆性关系研究进展[J].园艺与种苗,2016,36(2):70-74+78.

[7]曹歌,刘若溪,张梁葛,等.水杨酸浸种对高温胁迫下西瓜种子萌发和幼苗生长的影响[J].天津农学院学报,2024,31(3):39-44.

[8]刘松虎,李依航,王亚文,等.水杨酸处理时期对聚乙二醇模拟干旱胁迫下黄瓜幼苗生长的影响[J].山东农业科学,2025,57(11):54-61.

[9]林德佩,吴大康,齐三魁.中国甜瓜[M].北京:科学普及出版社,1991:242-244.

[10]段祥坤,王建玉,王志鹏.高温胁迫对设施甜瓜幼苗光合特性参数的影响[J].北方园艺,2023,47(20):41-46.

[11]韩素芹,王秀峰,魏珉,等.甜椒穴盘苗壮苗指数及其与苗期性状的相关性研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2004,35(2):187-190+195.

[12]李小方,张志良.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2016:50-52,128-130.

[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，2000：167-169，184-185，258-260.
[14]孔祥生，易现峰. 植物生理学实验技术[M]. 北京：中国农业出版社，2008：257-259.
[15]杨少军，张永平，陈幼源. 高温胁迫对不同甜瓜品种的种子萌发及幼苗生长和抗氧化酶活性的影响[J]. 种子，2012，31(7)：86-88+92.
[16]张永平，陈幼源，杨少军. 高温胁迫对不同甜瓜品种幼苗生长和生理特性的影响[J]. 上海农业学报，2011，27(2)：71-76.
[17]石文昕，郎俊凯，许玲兴，等. 叶面预喷施水杨酸缓解西瓜幼苗高温胁迫的生理效应[J]. 西北植物学报，2024，44(11)：1692-1702.
[18]郭泳. 水杨酸对番茄幼苗抗高温胁迫能力的影响[J]. 北方园艺，2013，37(8)：42-44.
[19]孙永江，王琪，邵琪雯，等. 高温胁迫对植物光合作用的影响研究进展[J]. 植物学报，2023，58(3)：486-498.
[20]WENG J，LI P，ASAD REHMAN，et al. Physiological response and evaluation of melon (Cucumis melo L.) germplasm resources under high temperature and humidity stress at seedling stage[J]. Scientia Horticulturae，2021，288(10)：110317-110324.
[21]许耀照，曾秀存. 水杨酸对高温胁迫下黄瓜幼苗光合特性和过氧化物酶活性的影响[J]. 安徽农业科学，2016，44(13)：47-50.
[22]魏吉鹏，李鑫，王朝阳，等. 外源水杨酸甲酯对高温胁迫下茶树光合作用和抗氧化酶的影响[J]. 茶叶科学，2018，38(4)：353-362.
[23]JANAAGAL M，SHARMA P，KUMARI G，et al. Revolutionizing high temperature stress relief：Exploring the latest advances in salicylic acid application[J]. Journal of Crop Health，2024，76(10)：1293-1305.

[责任编辑　李晓霞　高小朋]

Effect of salicylic acid on the heat tolerance in melon seedlings under high temperature stress

FENG Xiaodong[1,2*]，XIE Jiafei[1]，LI Li[1]，MA Zichen[1]，XUE Jinhe[1]

(1. School of Life Science，Yan'an University；2. Yan'an Facility Fruits and Vegetables Engineering Technology Research Center，Yan'an 716000，China)

Abstract：To investigate the effect of exogenous salicylic acid on the heat tolerance of melon seedlings under high-temperature stress，this study used 'Xingtian 24' melon cultivated in Baota District，Yan'an City as the experimental material and simulated high temperature stress using an artificial climate chamber. By spraying different concentrations of salicylic acid (0，100，200，300，400，500 mg/L) on the leaves，the effects of salicylic acid on the growth and metabolism of muskmelon seedlings under 40 ℃ high temperature stress for 48 hours were studied. The results indicated that high-temperature stress inhibited seedling growth，significantly reduced photosynthetic performance，and weakened antioxidant capacity. Compared with high-temperature stress alone，the application of 200~300 mg/L salicylic acid significantly increased plant height，stem diameter，leaf length，leaf width，root-to-shoot ratio，and seedling vigor index. This treatment also markedly enhanced total chlorophyll content，net photosynthetic rate，and transpiration rate. Treatments with 200~300 mg/L salicylic acid significantly elevated the activities of superoxide dismutase，peroxidase，and catalase，as well as the contents of reduced glutathione and ascorbic acid. Moreover，they alleviated water stress under high temperature by increasing osmotic adjustment substances，thereby improving heat tolerance and reducing membrane lipid oxidation in melon seedlings. Therefore，in practical production，foliar spraying with 200~300 mg/L salicylic acid，especially 300 mg/L salicylic acid，can enhance the heat resistance of muskmelon seedlings and mitigate the harm caused by high temperatures to muskmelon cultivation.

Key words：melon seedling；salicylic acid；high temperature stress；heat resistance