

低温弱光胁迫下甜瓜幼苗对外源水杨酸的生理响应

周艳丽¹, 乔宏宇^{1*}, 高红春²

(1. 吉林农业大学园艺学院, 长春 130118; 2. 彰武中农赛世农业科技有限公司, 辽宁 阜新 123200)

摘要:本试验以“吉农十二”甜瓜幼苗为试验材料,于三叶一心时,叶面喷施不同浓度水杨酸(SA),对低温弱光下甜瓜幼苗抗氧化酶活性及光合特性进行测定。结果表明:胁迫前用1.0 mmol/L和1.5 mmol/L SA预处理幼苗,其叶片的超氧化物歧化酶(SOD)活性在处理后的第4天极显著高于CK(清水处理),过氧化物酶(POD)活性在处理后的第3天极显著高于CK,过氧化氢酶(CAT)活性在处理后的第2天极显著高于CK,各处理的丙二醛(MDA)含量均低于CK。不同处理对光合特性指标的影响表现为:胁迫前用1.0 mmol/L和1.5 mmol/L SA预处理幼苗的光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(Gs)均高于CK,胞间CO₂浓度低于CK。当SA预处理浓度为2 mmol/L时,除Ci和MDA高于CK外,其它指标均低于CK,表现出抑制作用。表明适宜浓度的SA可有效调控低温弱光胁迫下甜瓜幼苗叶片的保护酶活性及光合性能,有效缓解低温弱光胁迫对甜瓜幼苗的伤害,提高了幼苗低温弱光耐性,其适宜浓度为1.0 mmol/L和1.5 mmol/L。

关键词:低温弱光;水杨酸;甜瓜幼苗;抗氧化酶活性;光合特性

中图分类号:S652

文献标识码:A

文章编号:1003-8701(2018)02-0030-05

Physiological Response of Melon Seedlings to Exogenous Salicylic Acid under Low Temperature and Poor Light Stress

ZHOU Yanli¹, QIAO Hongyu^{1*}, GAO Hongchun²

(1. College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 2. Zhangwu Juno Science Agricultural Technology Co. Ltd., Fuxin 123200, China)

Abstract: The seedlings of melon ‘Jinong 12’ under low temperature and poor light were foliar-sprayed with different concentration of SA, then the leaf physiological characteristics and antioxidant enzyme activities were measured. The results showed that foliar spraying of 1.0 mmol/L and 1.5 mmol/L of SA before the stress, the leaf activities of superoxide dismutase (SOD) activity after 4 days, peroxidase (POD) activity after 3 days and catalase (CAT) activity after 2 days significantly increased, the leaf photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs), transpiration rate (Tr) increased compared with CK (water treatment), while the intercellular CO₂ concentration (Ci) and malondialdehyde (MDA) content decreased. However, in treatment of foliar spray of 2.0 mmol/L of SA before the stress, Ci and MDA increased, while other indexes decreased compared with CK. All of these results suggested that SA could regulate the leaf photosynthetic functions of melon seedlings, and enhance the seedlings resistance against low temperature and poor light. The optimum concentration of SA for the foliar spraying was 1.0 mmol/L and 1.5 mmol/L.

Key words: Low temperature and poor light; SA; Melon seedlings; Antioxidant enzyme activities; Physiological characteristics

在冬春日光温室甜瓜(*Cucumis melo* L.)生产中,设施环境常因加盖覆盖物而导致温度降低、光照强度不足以及光照时间缩短问题,致使日光

温室甜瓜生长发育的环境常处于低温弱光条件下,成为影响甜瓜生长、发育和品质的重要因素。水杨酸(SA)广泛存在于高等植物中,是一种植物体内普遍存在的简单酚类化合物,它不仅在种子发芽、植物开花、气孔关闭、离子吸收等方面具有广泛的生理作用^[1],还能够诱导提高植物对非生物胁迫的抗性,有研究表明,部分非生物胁迫可以导致植物内源SA水平的升高,如高温胁迫^[2]、

收稿日期:2017-12-11

基金项目:吉林省科技发展计划项目(20140307020NY)

作者简介:周艳丽(1976-),女,副教授,博士,现主要从事蔬菜栽培与生理生态等研究工作。

通讯作者:乔宏宇,男,硕士,副教授,E-mail:qq19991201@163.com

UV 照射^[3]、盐胁迫^[4]及低温胁迫^[5]等,说明 SA 作为一种植物激素,参与幼苗对胁迫信号的响应。本研究以“吉农十二”甜瓜幼苗为试验材料,研究低温弱光条件下,不同浓度 SA 对甜瓜幼苗叶片抗氧化酶活性及光合特性的影响,旨在探明低温弱光下外源 SA 对甜瓜幼苗在抗氧化系统及光合性能的作用,为缓解低温弱光逆境胁迫,增强日光温室甜瓜对低温弱光的适应性及高产、优质栽培提供理论依据和技术支持。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与试验设计

试验于 2017 年在吉林农业大学园艺学院蔬菜基地日光温室内进行,供试甜瓜品种为“吉农十二”,于 3 月 1 日播种,采用 10 cm×10 cm 营养钵无土育苗基质育苗,处理方法:当幼苗生长至三叶一心时,选取长势一致的幼苗 300 株,分成 6 组,分别用 0.5、1.0、1.5、2.0 mmol/L 的 SA 喷施全株,以清水处理为对照(CK),每天喷施 1 次,连续喷 3 d 后移入光照培养箱模拟早春自然低温弱光处理,条件为光强 80 μmol/m²·s,昼夜温度为 10℃/5℃。于低温处理 0、1、2、3、4 和 5 d 时取样,用于抗氧化酶系统各指标测定,于第 4 天时进行光合系统指标测定,每处理重复 3 次。

1.2 测定项目与方法

超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定^[6];过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外分光光度法测定^[7];过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定^[6];丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定^[8]。

采用 Ciras-2 型光合仪(英国 PP-system 公司生产)测定幼苗第二片叶的光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)和胞间 CO₂ 浓度(Ci)。测定条件 CO₂ 浓度约为 380 μL/L, PFD 为 8 000 μmol/m²·s,相对湿度 80%,叶温(25±1)℃。

1.3 数据处理

测定的数据采用 Excel 应用软件制图,用 DPS 7.05 软件对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 外源 SA 对低温弱光下甜瓜幼苗抗氧化酶活性的影响

SOD 是植物抗氧化系统的第一道防线,它可以使 Mehler 反应中产生的活性氧转化成 H₂O₂,然后通过 POD、CAT 等将 H₂O₂ 转化为 H₂O 和 O₂,从而有效地阻止 O₂⁻ 和 H₂O₂ 相互作用对细胞膜产生更大的伤害。从图 1 可以看出,所有处理甜瓜幼苗三种保护酶的活性变化一致,均呈现出先升高后

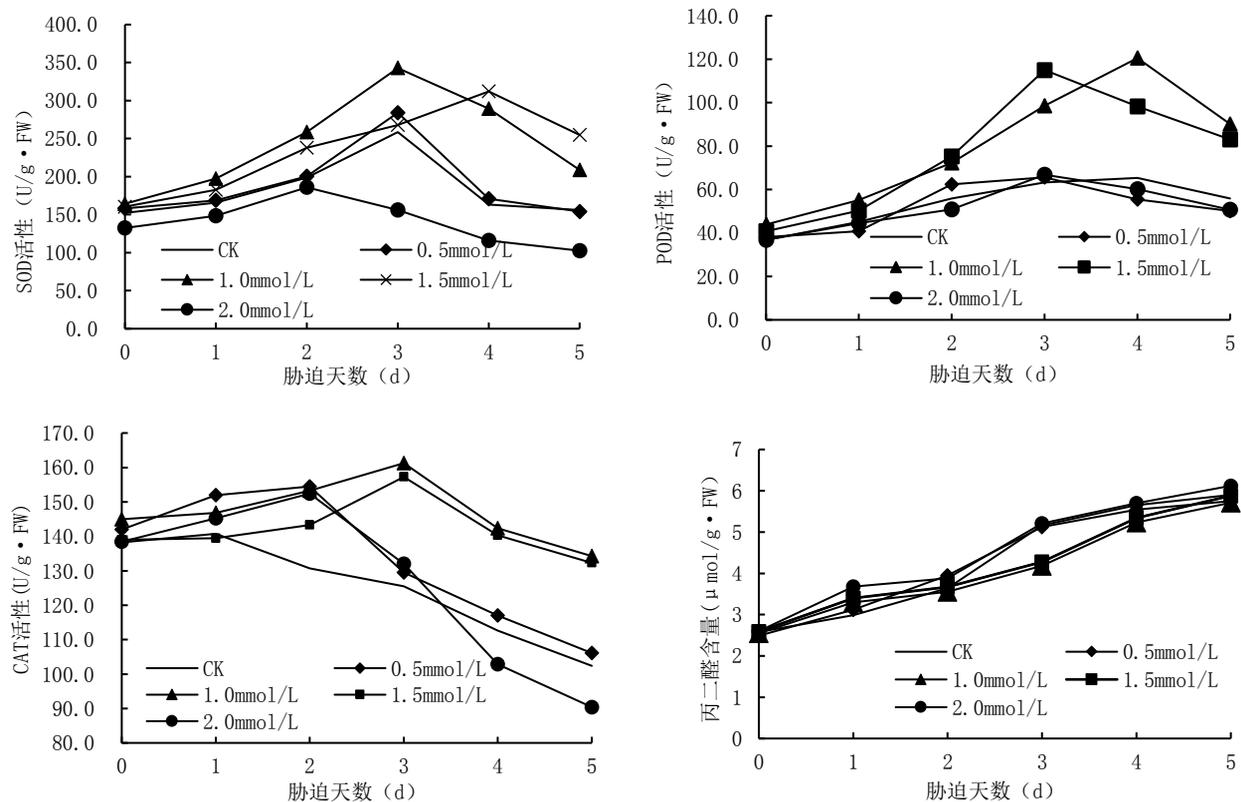


图 1 外源 SA 对低温弱光下甜瓜幼苗 SOD、POD、CAT 活性及 MDA 含量的影响

降低的变化趋势,1.0 mmol/L处理幼苗SOD活性在第3天时达最高,1.5 mmol/L处理幼苗SOD活性在第4天时达最高,均极显著高于CK,2.0 mmol/L处理幼苗SOD活性在处理第3、4和5天时均极显著低于CK,0.5 mmol/L处理幼苗SOD活性与CK差异不显著;胁迫期间,1.0 mmol/L和1.5 mmol/L处理幼苗POD活性分别在第4天和第3天时达最高,且在第3、4和5天时均极显著高于CK,其它处理与CK差异不显著;1.0 mmol/L和1.5 mmol/L处理幼苗CAT活性均在第3天时达最高,且在第3、4和5天时均极显著高于CK,2.0 mmol/L处理幼苗CAT活性在第2天时显著高于CK,在第4和5天时低于CK,但差异未达显著水平,0.5 mmol/L处理幼苗CAT活性与CK差异不显著。

2.2 外源SA对低温弱光下甜瓜幼苗丙二醛(MDA)含量的影响

MDA是膜质氧化的主要产物之一,其含量的高低可以反映植物遭受逆境伤害的程度。由图1可知,本试验随着低温弱光处理时间的延长,MDA含量逐渐升高,说明在持续低温弱光胁迫下细胞自身保护体系遭到破坏,细胞膜脂过氧化程度升高,细胞进入程序性凋亡。在处理期间,从第3天起,1.0 mmol/L和1.5 mmol/L处理幼苗的MDA含量显著低于CK,其它处理与CK差异不显著,表明适宜浓度SA可减轻低温弱光导致的膜脂过氧化进程,减轻低温弱光对细胞膜的伤害。

2.3 外源SA对低温弱光下甜瓜幼苗光合特性的影响

植物光合速率(P_n)越高,制造的碳水化合物就越多,产量越高。低温弱光处理第4天对甜瓜幼苗叶片 P_n 进行测定,结果见表1。外源SA预处理甜瓜幼苗的 P_n 均高于CK,分别比CK高了4.58%、35.9%、34.0%和8.9%,其中1.0 mmol/L和1.5 mmol/L处理幼苗的 P_n 极显著高于CK,其它处理与CK差异不显著。

CO_2 是植物进行光合作用制造有机物质的原料,对不同处理甜瓜幼苗叶片的胞间 CO_2 浓度(C_i)进行测定,由表1可知,各处理幼苗叶片的 C_i 均高于CK,其中1.5 mmol/L处理幼苗的 C_i 与CK差异达显著水平,其它处理与CK差异未达显著水平。

植物气孔导度的大小与光合及蒸腾速率紧密相关,主要通过调节气孔孔径的大小控制植物光合作用中 CO_2 吸收和蒸腾过程中水分的散失。外源SA预处理对低温弱光下甜瓜幼苗的气孔导度(G_s)和蒸腾速率(Tr)影响见表1,外源SA预处理甜瓜幼苗的 G_s 均极显著高于CK,依次为1.0 mmol/L>0.5 mmol/L>1.5 mmol/L>2.0 mmol/L>CK;各处理幼苗的 Tr 均高于CK,其中1.0 mmol/L和1.5 mmol/L与CK差异达极显著水平,其它处理与CK之间未达差异显著水平。表明低温弱光胁迫下,1.0 mmol/L和1.5 mmol/L的SA预处理可使甜瓜幼苗保持较高的气孔导度和胞间 CO_2 浓度,能够为甜瓜幼苗提供较高的光合底物浓度,能为低温弱光下甜瓜幼苗叶片同化更多的光合产物提供生理基础。

表1 低温弱光对不同砧木甜瓜嫁接苗光合特性的影响

处理 (mmol/L)	光合速率 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	胞间 CO_2 ($\mu\text{L}/\text{mol}$)	气孔导度 ($\text{mmolH}_2\text{O}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	蒸腾速率 ($\text{mmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)
CK	4.15±0.512 Bb	225.64±9.14 Ab	22.39±2.66 Bb	1.64±0.174 Bb
0.5	4.34±0.435 Bb	229.05±8.66 Ab	28.67±1.99 Aa	2.04±0.191 ABab
1.0	5.64±0.569 Aa	235.18±8.14 Aab	29.90±2.17 Aa	2.20±0.215 Aa
1.5	5.56±0.634 Aa	254.88±8.45 Aa	27.51±2.62 Aa	2.18±0.177 Aa
2.0	4.52±0.354 Bb	231.87±9.05 Ab	26.45±2.12 Aa	1.94±0.185 ABab

3 讨论

甜瓜喜温不耐冷,有研究表明,当幼苗处于低温环境下,会发生一系列的生理变化,首先是细胞膜透性增加,导致细胞液外渗,其次降低SOD、CAT、POD和APX等抗氧化酶的活性,使细胞内产生的超氧自由基(O_2^-)增多,引起细胞膜脂过氧化,生成MDA,并导致后续的细胞中毒^[9]。大量研究表明,SA参与植物的抗逆生理过程,能提高包

括抗热、抗旱、抗盐、抗寒、抗重金属及抗弱光等非生物逆境的抗性^[10-16]。SA处理后对低温下萝卜^[17]、黄瓜^[18]、番茄^[19]和甜瓜^[20]的生理生化研究表明,适宜浓度的外源SA处理主要通过提高渗透物质含量、减轻膜脂过氧化、提高抗氧化酶活性、加强光合效率等途径来减轻低温伤害。本研究结果发现,幼苗叶片SOD、POD和CAT酶活性随着处理天数的增加均呈现出先升高后降低的变化趋势,与刘伟的研究结果一致^[21],表明胁迫初期抗氧化

酶活性的提高是甜瓜对外界环境的一种应激和自我保护反应,随着胁迫时间的延长,抗氧化酶活性降低主要原因是受抑程度超出甜瓜自身的适应与保护能力,但不同浓度SA预处理的幼苗叶片抗氧化酶达最高时的天数不同,当浓度为1.0 mmol/L和1.5 mmol/L酶活性在第3或第4天时达到最高值,且酶活性均高于CK,当浓度为0.5 mmol/L和2.0 mmol/L时,酶活性的变化趋势与CK相同,且三者之间差异不显著,表明适宜浓度的SA可以增强甜瓜的抗氧化酶活性,抑制活性氧和自由基的产生和积累,从而增强其对低温弱光胁迫的抗性。本试验中低温弱光下甜瓜幼苗叶片MDA含量随着胁迫天数的增加而升高,膜的完整性将会遭到破坏,使细胞内组分大量外渗,造成细胞伤害,最后导致植株死亡。预处理浓度为1.0 mmol/L和1.5 mmol/L的甜瓜幼苗叶片中MDA含量始终在低温弱光胁迫第3天后均低于其它处理,表明该浓度SA预处理的甜瓜幼苗能够减轻低温弱光胁迫下幼苗叶片的膜脂过氧化程度。

光合作用是植物赖以生长和生物量递增所必需的重要生理过程,它的强弱对于植物生长、抗逆性及其产量都具有十分重要的影响,因而可以作为判断植物生长和抗逆性大小的指标。杨丙贤等^[22]研究表明,低温胁迫环境条件,外源SA处理可显著提高紫御谷幼苗叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率。刘伟等^[21]发现适宜体积分数的SA预处理对维持叶肉细胞较高的光合特性,缓解低温弱光对黄瓜光合速率的影响发挥积极的作用。蔡汉等^[23]研究表明,喷施0.15 mmol/L的SA时,半夏叶片的叶绿素质量分数、胞间CO₂质量分数提高最大,有利于光合速率增大。李亮等^[5]于低温弱光下对黄瓜幼苗进行SA外源饲喂,发现内源SA积累水平升高,光合作用的各项参数和指标能在短时间内迅速恢复至对照植株的水平,说明低温下内源SA的积累可以保护光合系统,从而降低低温胁迫对植株的损伤。本试验对在低温弱光胁迫处理第4天的光合特性进行比较,结果表明采用不同浓度的SA预处理的甜瓜幼苗的光合指标均高于对照,其中SA浓度为1.0 mmol/L和1.5 mmol/L预处理幼苗的光合速率、气孔导度、胞间CO₂浓度和蒸腾速率均显著或极显著高于CK。

综上所述,外源SA可以明显改善低温胁迫下甜瓜幼苗的保护酶系统,保护光合作用的正常进行,对低温胁迫具有较好的缓解作用,说明通过适当浓度的外源水杨酸处理来提高甜瓜幼苗的抗

寒性是可行的。针对早春低温保护地生产,以水杨酸处理提高甜瓜幼苗抗寒性的技术具有一定的应用前景。

参考文献:

- [1] Hara M, Furukawa J, Sato A, et al. Abiotic Stress and Role of Salicylic Acid in Plants[M]. Abiotic Stress Responses in Plants. Springer New York, 2012: 235–251.
- [2] Dat J F, Lopez-Delgado H, Foyer C H, et al. Effects of salicylic acid on oxidative stress and thermotolerance in tobacco[J]. Journal of Plant Physiology, 2000, 156(6): 659–665.
- [3] Gitz D C, Lan L G, McClure J W, et al. Effects of a PAL inhibitor on phenolic accumulation and UV-B tolerance in *Spirodela intermedia* (Koch.)[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(398): 919–927.
- [4] Shim I S, Momose Y, Yamamoto A, et al. Inhibition of catalase activity by oxidative stress and its relationship to salicylic acid accumulation in plants[J]. Plant Growth Regulation, 2003, 39(3): 285–292.
- [5] 李 亮,董春娟,尚庆茂.内源水杨酸参与黄瓜叶片光合系统对低温胁迫的响应[J].园艺学报,2013,40(3):487–497.
- [6] 孙 群.植物生理研究技术[M].杨凌:西北农林科技大学出版社,2007:138–171.
- [7] 邹 琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2003:129–130.
- [8] 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,2000:258–260.
- [9] 彭向永,徐永茹,唐 萍,等.外源钙对低温胁迫下甜瓜幼苗膜稳定性和渗透调节物质的影响[J].曲阜师范大学学报,2011,37(1):81–84.
- [10] 张志刚,尚庆茂.水杨酸、壳聚糖对盐胁迫下黄瓜叶片光合参数的调节作用[J].西北农业学报,2010,19(3):174–178.
- [11] 何俊瑜,任艳芳.外源水杨酸对NaCl胁迫下生菜幼苗生长和光合性能的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2009,35(6):628–631.
- [12] 水德聚,石 瑜,曹亮亮,等.外源水杨酸预处理对高温胁迫下白菜耐热性和光合特性的影响[J].植物生理学报,2012,48(4):386–392.
- [13] 郝敬虹,易 旸,尚庆茂,等.干旱胁迫下外源水杨酸对黄瓜幼苗膜脂过氧化和光合特性的影响[J].应用生态学报,2012,23(3):717–723.
- [14] 张永平,范红伟,杨少军,等.外源水杨酸对镉胁迫下甜瓜幼苗生长、光合作用和活性氧代谢的缓解效应[J].植物生理学报,2014,50(10):1555–1562.
- [15] 韩浩章,王晓立,张 颖,等.水杨酸对连续弱光条件下黄瓜开花期光合特性的影响[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2014,35(1):21–24.
- [16] 孙 艳,樊爱丽,徐伟君.水杨酸和草酸对光氧化胁迫下黄瓜叶片光合机构及叶黄素循环的影响[J].园艺学报,2005(6):1034–1038.
- [17] 吴能表.外源水杨酸对萝卜低温胁迫的缓解作用[J].西南农业大学学报(自然科学版),2006,28(5):782–785.

- [18] 徐晓昀,郁继华,颀建明,等.水杨酸和油菜素内酯对低温胁迫下黄瓜幼苗光合作用的影响[J].应用生态学报,2016,27(9):3009-3015.
- [19] 马占青,李新旭,孙国钧,等.水杨酸在诱导番茄抗冷性中的作用[J].兰州大学学报(自然科学版),2013,49(4):515-524.
- [20] 苗永美,王万洋,杨海林,等.外源Ca²⁺、SA和ABA缓解甜瓜低温胁迫伤害的生理作用[J].南京农业大学学报,2013,36(4):25-29.
- [21] 刘伟,艾希珍,梁文娟.低温弱光下水杨酸对黄瓜幼苗光合作用及抗氧化酶活性的影响[J].应用生态学报,2009,20(2):441-445.
- [22] 杨丙贤,龚婷,马永甫,等.水杨酸对温度胁迫下紫御谷幼苗生长及光合特性的影响[J].西南师范大学学报(自然科学版),2012,37(2):66-71.
- [23] 蔡汉,李卫东,陈颖,等.水杨酸预处理对低温胁迫下茉莉幼苗光合作用及相关生理特性的影响[J].中国农业大学学报,2007(5):29-33.

(责任编辑:王昱)