

绿豆 AsA-GSH 循环对初花期低温的响应及烯效唑的缓解效应分析

项洪涛^{1,2}, 李琬^{2,3}, 王雪扬², 王德明^{1,2}, 张晓青^{1,2}, 王强², 孟宪欣²,
尹振功², 王晨², 高婧²

(1. 黑龙江省农业机械工程科学研究院绥化分院, 黑龙江 绥化 152054; 2. 黑龙江省农业科学院, 哈尔滨 150086;
3. 黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所, 哈尔滨 150086)

摘要:为探究初花期低温及预喷施烯效唑(S3307)处理对绿豆(*Vigna radiata* L.)叶片 AsA-GSH 循环和产量的影响,以绿丰5号和绿丰2号为材料进行盆栽试验。在绿豆始花期预喷施 S3307,并进行低温(平均 12 °C)连续 5 d 的处理,对绿豆叶片活性氧类物质(ROS)积累量、AsA-GSH 循环物质的含量、渗透调节物质含量和绿豆产量进行分析。结果表明,始花期低温引起绿豆叶片过氧化氢(H₂O₂)含量和丙二醛(MDA)含量显著增加,抗坏血酸(AsA)和谷胱甘肽(GSH)含量提高,可溶性糖含量和脯氨酸含量有所增加,低温处理 1~5 d 导致绿丰5号单株产量下降 14.87%~48.14%、绿丰2号单株产量下降 20.60%~56.18%。低温条件下,预喷施 S3307 能有效增加绿豆叶片可溶性糖含量,显著降低 H₂O₂、MDA 含量,显著提高 AsA、氧化型抗坏血酸(DHA)、GSH、氧化型谷胱甘肽(GSSG)含量。喷施 S3307,正常温度条件下,绿丰5号和绿丰2号单株产量分别提高 4.70% 和 7.87%;低温条件下处理 1~5 d,绿丰5号单株产量提高 5.11%~12.54%、绿丰2号单株产量提高 6.30%~32.91%。初花期低温影响绿豆叶片活性氧物质积累、AsA-GSH 循环、渗透调节等生理功能;预喷施 S3307 可有效缓解冷害对绿豆生理和产量的影响,本研究可为绿豆抗低温生产提供理论依据和技术支持。

关键词:绿豆;烯效唑(S3307);低温;AsA-GSH 循环;产量

中图分类号:S522.01

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2024)03-0013-08

AsA-GSH Cycle Response of Mung Bean to Low Temperature at Initial Flowering Stage and the Analysis of Mitigation Effect of Uniconazole

XIANG Hongtao^{1,2}, LI Wan^{2,3}, WANG Xueyang², WANG Deming^{1,2}, ZHANG Xiaoqing^{1,2}, WANG Qiang²,
MENG Xianxin², YIN Zhengong², WANG Chen², GAO Qiang²

(1. Suihua Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Machinery Sciences, Suihua 152054; 2. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086; 3. Institute of Crop Cultivation and Tillage, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to investigate the effects of low temperature stress during the initial flowering stage and pre-spraying with uniconazole (S3307) on leaf AsA-GSH cycle and yield of mung bean (*Vigna radiata*), Lv Feng 5 (L₅) and Lv Feng 2 (L₂) were used as materials in this pot experiment. S3307 was pre-sprayed and treated with continuous low temperature (average 12 °C) for 5 d and samples were taken every day to analyze the accumulation of reactive oxygen species (ROS), changes in substance content of AsA-GSH cycle, content of osmotic adjustment substances in mung bean leaves and yield. The results showed that the accumulation content of hydrogen peroxide (H₂O₂) and malondialdehyde (MDA) in mung bean leaves were significantly increased by chilling damage at the initial flowering stage, and the content of ascorbic acid and glutathione were significantly increased. The yield per plant of L₅ was significantly decreased 14.87%~48.14%, and the yield of L₂ was significantly decreased 20.60%~56.18%. S3307 has the effect of resisting low temperature stress at the initial flowering stage. Under low temperature conditions, pre-spraying S3307 can effectively increase the soluble sugar content of mung bean leaves, significantly reduce the H₂O₂

收稿日期:2024-01-16

基金项目:黑龙江省重点研发计划项目(GA21B009-014);国家食用豆产业技术体系项目(CARS08-G8)

作者简介:项洪涛(1982-),男,副研究员,博士,主要从事作物逆境生理及化学调控研究。

and MDA content, and significantly increase the contents of AsA, DHA and GSH, GSSG. Spraying S3307 has the regulatory effect of increasing the yield of mung bean. Under normal temperature conditions, L_5 and L_2 in a single plant significantly increased by 4.70% and 7.87%, respectively. Under low temperature conditions, when treated at low temperature for 1–5 d, the yield of single plant increased 5.11%–12.54%, and the yield per plant was significantly increased 6.30%–32.91%. In conclusion, low temperature during the initial flowering period affected the physiological functions of mung bean leaves such as reactive oxygen species accumulation, AsA–GSH cycle and osmoregulation. Pre-spraying S3307 could effectively alleviate the effects of low temperature stress on mung bean physiology and yield, and this conclusion provides theoretical basis and effective measures for the production of mung bean resistance to low temperature production.

Key words: Mung bean; Uniconazole (S3307); Low temperature; AsA–GSH cycle; Yield

绿豆(*Vigna radiata* L.)属于豆科菜豆族豇豆属,在我国栽培历史悠久^[1]。绿豆是短生育期作物,具有抗旱耐瘠薄、适应性强等特点,可作为间作套种的良好前茬作物,在农业供给侧结构性改革中具有重要作用^[2–3],可有效提高生态环境利用率^[3]。绿豆对环境温度具有较高要求,低温条件下会遭受冷害损伤,尤其是在初花期,该时期既是营养生长的旺盛时期,也是绿豆开始进入生殖生长的关键期,此时期冷害不仅会影响生长形成延迟型冷害,还会影响发育进程,降低花粉粒数量和质量,导致花荚脱落,降低产量^[4–5]。

一般而言,低温能够导致植物体内活性氧类物质(ROS)代谢紊乱,产生有毒有害物质,过氧化氢(H_2O_2)和丙二醛(MDA)的含量会增加^[6]。为避免活性氧引起的氧化损伤,植物已经进化出了多样而复杂的抗氧化防御机制来清除有毒活性氧类物质^[5–7]。包括抗氧化保护酶系统以及非酶抗氧化系统,如还原型的抗氧化物包括抗坏血酸(AsA)、谷胱甘肽(GSH)等都是植物体内关键的非酶抗氧化剂,对膜脂过氧化的防御起到极其重要的作用^[5,8]。

化学调控是调节植物抗逆调控的有效措施。烯效唑(uniconazole),简称S3307,是一种常见的抑制型植物生长调节剂,多用于提高作物抗逆、增产等领域^[9]。研究表明,始花期低温情况下,喷施S3307对提高作物抗冷性有一定作用^[4]。低温条件下,在作物开启自我保护机制的基础上,外施S3307能够进一步降低活性氧类物质积累、增加渗透调节物质含量、增加非酶抗氧化剂含量,进而提高作物的抗冷能力,使作物在一定低温范围内免受伤害^[4,9]。

当前,国内在绿豆抗低温生理领域的研究极少。因此,本试验以两种抗冷性不同的绿豆品种为试验材料,在初花期进行低温胁迫,开展预喷

施S3307对绿豆生理特性的影响研究,旨在探索烯效唑在初花期提高绿豆对低温的应激能力,以期绿豆抵御冷害胁迫、保产丰产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试绿豆品种为绿丰5号(L_5)和绿丰2号(L_2),其中 L_5 低温钝感、 L_2 低温敏感^[5]。

1.2 试验设计

本试验设置4个处理,3次重复,详见表1。试验采用盆栽方式,“☆”形播种5穴,每穴播种健康种子3粒,当植株生长到第二片复叶时,每盆定苗5株。每个处理播种30盆,其中1/2用来测定生理指标,1/2用于考察产量。当绿豆长至始花期,于晴朗无风的上午进行叶面预喷施S3307,施用浓度为50 mg/L,用量为22.5 mL/m²。喷施24 h后,在人工气候室内进行低温处理,处理温度模拟自然环境,按昼夜区分采用三阶变化趋势,总体温度为日平均12 ℃,图1为24 h变化温度处理标准。本试验生理指标测定取样为每天1次,共取样5次。在取样期间,各处理每天解除3盆低温处理的材料,供测定产量使用。

表1 试验设计方案

处理	药剂	温度
CK	蒸馏水喷施	正常室外温度
T ₁	S3307喷施	正常室外温度
T ₂	蒸馏水喷施	室内低温
T ₃	S3307喷施	室内低温

1.3 测定指标与方法

1.3.1 取样方法

将待测叶片样本迅速剪取并置于液氮中充分

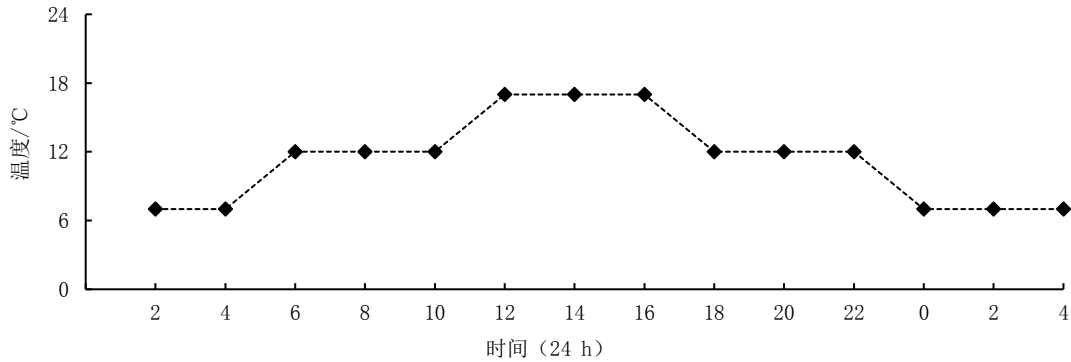


图1 人工气候室内温度标准

冷冻后于 -80°C 保存,用来测定生理指标。

1.3.2 测定方法

过氧化氢(H_2O_2)含量采用氧化硫酸钛比色法进行测定,丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法进行测定^[10]。脯氨酸含量采用茚三酮比色法进行测定^[11]。谷胱甘肽(GSH)含量和氧化型谷胱甘肽(GSSG)含量按照高俊凤^[12]的方法进行测定。抗坏血酸(AsA)含量和氧化型抗坏血酸(DHA)的含量采用Zhang等^[13]的方法进行测定。

单株产量以盆为单位称重,求每盆5株平均值为1个数据,以3盆各自平均值为3次重复。

1.4 数据处理

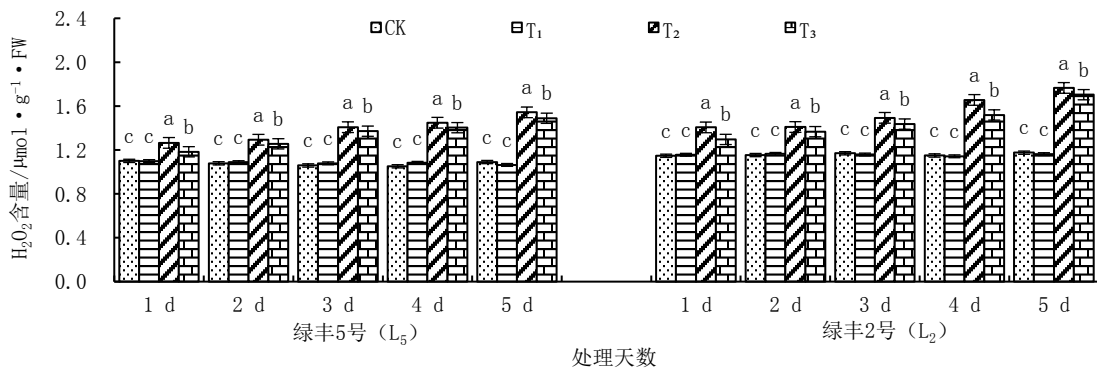
采用Excel 2010进行数据整理和图表绘制,采用DPS 25.0按单因素完全随机设计进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 低温及预喷施烯效唑处理对活性氧类物质含量的影响

2.1.1 绿豆叶片内 H_2O_2 含量的变化

由图2可知,正常室外温度处理条件下,预喷施S3307(T_1 处理)与CK相比,叶片内 H_2O_2 含量无显著变化。低温处理对叶片内 H_2O_2 的积累作用明显,方差分析结果表明,不论是 L_5 还是 L_2 ,各不同取样时期, T_2 处理的 H_2O_2 含量均显著高于CK。预喷施S3307可降低绿豆叶片内的 H_2O_2 含量, L_5 低温处理1~5 d, T_3 处理较 T_2 处理叶片内的 H_2O_2 含量分别降低6.42%、2.90%、2.56%、3.13%和3.50%,对 L_2 而言, T_3 处理较 T_2 处理叶片内的 H_2O_2 含量分别降低7.81%、3.03%、3.83%、8.26%和3.50%,经方差分析两品种 T_3 处理叶片内的 H_2O_2 含量均显著低于 T_2 处理。



注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同

图2 不同条件下绿豆叶片内 H_2O_2 含量的变化

2.1.2 绿豆叶片内MDA含量的变化

从图3可以看出, T_1 处理与CK相比,叶片内MDA含量无显著差异,说明正常温度条件下预喷施S3307对绿豆叶片MDA含量无显著影响;低温处理条件下, T_2 处理叶片内MDA含量显著增加,而预喷施S3307有效缓解了叶片内MDA的积累,

T_3 处理与 T_2 处理相比,叶片内MDA含量显著降低。 L_5 低温处理1~5 d, T_3 处理较 T_2 处理叶片内MDA含量分别降低22.83%、20.68%、14.66%、18.55%和13.68%;对 L_2 而言, T_3 处理较 T_2 处理叶片内MDA含量分别降低13.09%、20.25%、16.53%、7.17%和10.34%。

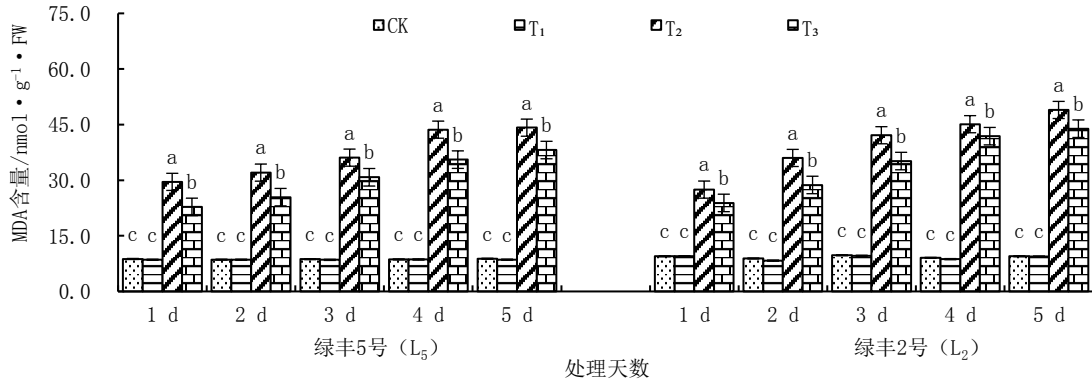


图3 不同条件下绿豆叶片内MDA含量的变化

2.2 低温及预喷施烯效唑处理对AsA-GSH循环的影响

2.2.1 绿豆叶片内AsA含量的变化

图4为不同处理条件对绿豆叶片内AsA含量的影响。正常室外温度条件下,与CK相比,预喷施S3307(T₁)对AsA含量的影响无显著差异。低

温能引起绿豆体内AsA大量生成,T₂处理与CK相比,AsA含量显著增加,而预喷施烯效唑可进一步促进AsA含量的增加。L₅低温处理1~5 d,T₃处理较T₂处理叶片内AsA含量分别增加19.94%、11.93%、7.91%、6.86%和6.54%;对L₂而言,T₃处理较T₂处理叶片内AsA含量分别增加18.39%、

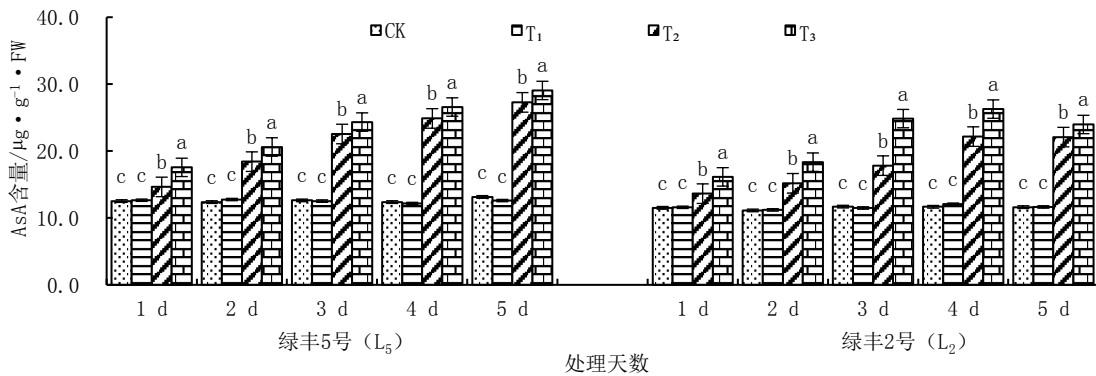


图4 不同条件下绿豆叶片内AsA含量的变化

20.76%、39.44%、18.54%和8.54%。

2.2.2 绿豆叶片内DHA含量的变化

由图5可知,预喷施S3307(T₁处理)与CK相比,绿豆叶片内DHA含量略有增加,其中,L₅在处理3 d、4 d、5 d时,T₁处理叶片内DHA含量显著高

于CK。低温诱导绿豆叶片内DHA生成,L₅低温处理1~5 d,T₂处理与CK相比,叶片内DHA含量依次增加了1.02倍、1.91倍、2.63倍、3.70倍和3.87倍,对L₂而言,T₂处理与CK相比,叶片内DHA含量依次增加0.83倍、1.76倍、2.29倍、2.94倍和3.41

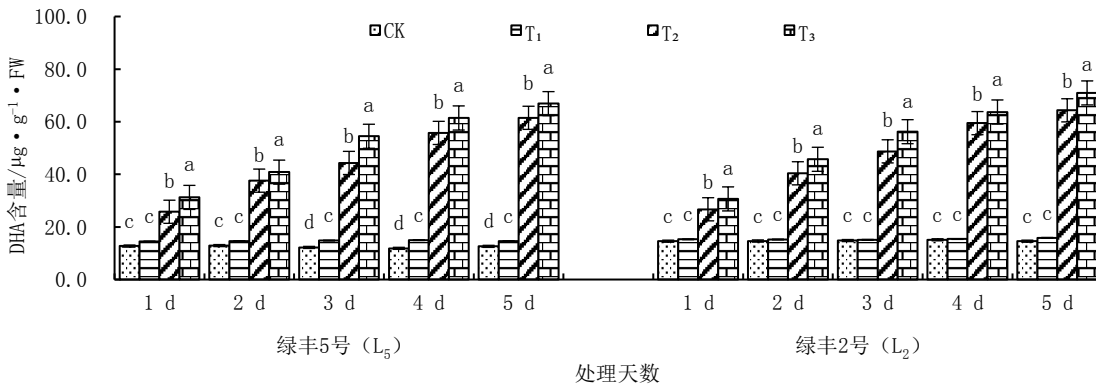


图5 不同条件下绿豆叶片内DHA含量的变化

倍,方差分析结果表明,两品种的 T_2 处理与CK之间差异均达到显著水平。低温条件下,预喷施S3307能够进一步促进叶片内DHA的生成, L_5 低温处理1~5 d, T_3 处理较 T_2 处理叶片内DHA含量分别提高21.14%、8.63%、22.89%、10.19%和8.77%;对 L_2 而言, T_3 处理较 T_2 处理叶片内DHA含量分别提高14.76%、13.21%、15.35%、7.12%和10.27%,方差分析结果表明,两品种在各取样时间内叶片内DHA含量 T_3 处理均显著高于 T_2 处理。

2.2.3 绿豆叶片内GSH含量的变化

由图6可知,正常室外温度条件下,预喷施

S3307, L_5 和 L_2 叶片内GSH含量与CK相比差异不显著,而低温处理引起GSH含量增加,方差分析结果表明, L_5 和 L_2 在处理1~5 d时, T_2 处理叶片内GSH含量显著高于CK。低温处理条件下,喷施S3307诱导GSH生成,整体呈现逐日增加的趋势。 L_5 低温处理1~5 d, T_3 处理比 T_2 处理叶片内GSH含量分别增加5.95%、9.22%、12.80%、14.39%和20.99%;对 L_2 而言, T_3 处理比 T_2 处理叶片内GSH含量分别增加6.61%、7.92%、6.24%、4.65%和4.29%,方差分析结果表明,两品种在各取样时间内 T_3 处理叶片内GSH含量均显著高于 T_2 处理。

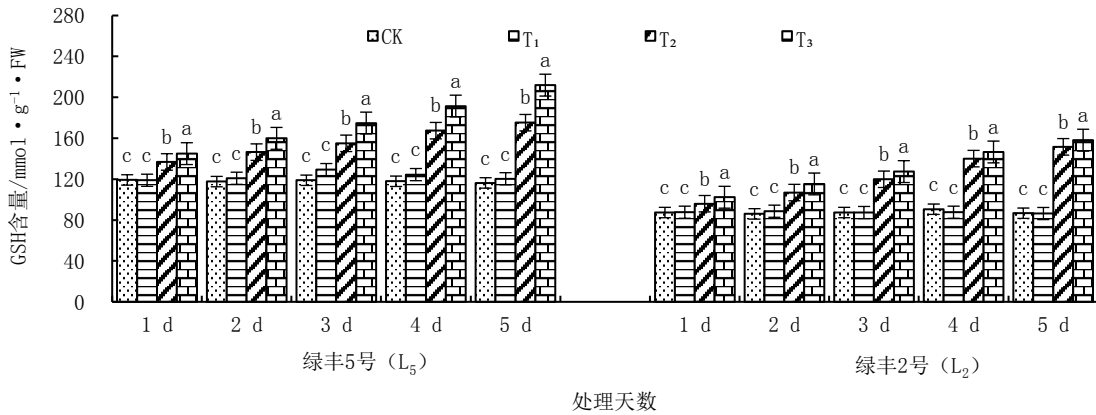


图6 不同条件下绿豆叶片内GSH含量的变化

2.2.4 绿豆叶片内GSSG含量的变化

从图7可以看出,正常室外温度条件下,喷施S3307对绿豆叶片内GSSG含量没有显著影响。低温处理条件下, L_5 和 L_2 叶片内GSSG含量显著增加,方差分析结果表明,在各个取样时间内, T_2 处理

叶片内GSSG含量显著高于CK。预喷施S3307可进一步提高GSSG含量, L_5 低温处理1~5 d, T_3 处理比 T_2 处理分别增加7.16%、15.40%、28.12%、23.91%和27.89%; L_2 低温处理1~5 d, T_3 处理比 T_2 处理分别增加8.91%、16.99%、16.92%、10.16%和16.84%。

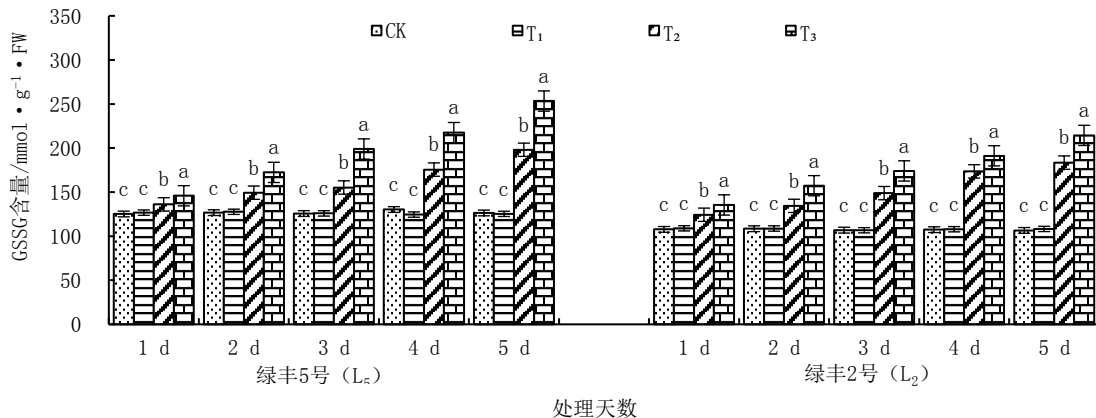


图7 不同条件下绿豆叶片内GSSG含量的变化

2.3 低温及预喷施烯效唑处理对渗透调节物质含量的影响

2.3.1 绿豆叶片内脯氨酸含量的变化

由图8可以看出,与CK相比,预喷施S3307可

在一定程度上提高绿豆叶片内脯氨酸含量。 L_5 在正常室外温度条件下处理1~5 d, T_1 处理与CK相比,叶片内脯氨酸含量分别提高了3.73%、18.27%、37.29%、23.59%和3.49%,经方差分析可

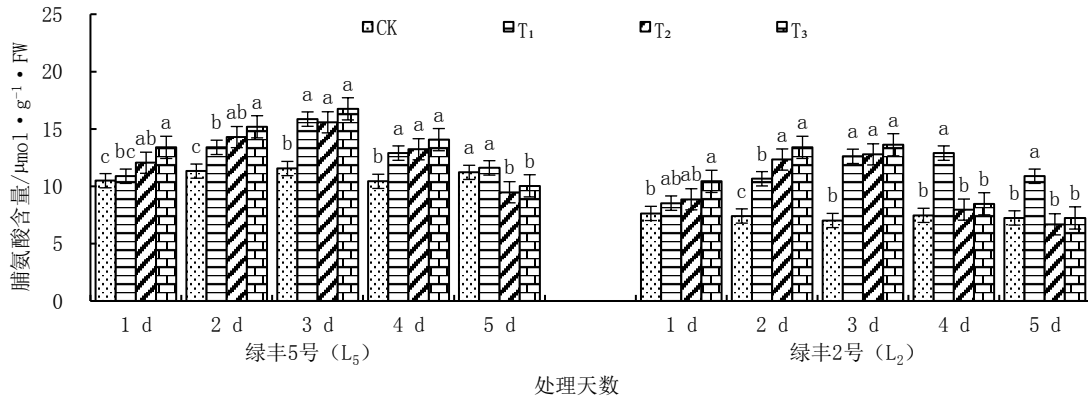


图8 不同条件下绿豆叶片内脯氨酸含量的变化

知,处理2~4 d时, T_1 处理与CK之间差异达到显著水平。 L_2 在正常室外温度条件下处理1~5 d, T_1 处理与CK相比,叶片内脯氨酸含量分别增加了11.72%、43.77%、79.68%、72.66%和50.19%,经方差分析可知,处理2~5 d时, T_1 处理叶片内脯氨酸含量显著高于CK。低温促进绿豆叶片脯氨酸生成, L_5 在低温条件下处理1~4 d, T_2 处理较CK叶片内脯氨酸含量分别增加了14.93%、26.17%、34.87%和26.81%,方差分析结果表明, T_2 处理与CK之间差异达到显著水平,但处理5 d时, T_2 处理较CK降低了15.46%。 L_2 在低温条件下处理1~4 d, T_2 处理较CK叶片内脯氨酸含量分别增加了16.12%、66.42%、82.07%和6.74%,方差分析结果表明,处理2~3 d时, T_2 处理与CK之间差异达到显著水平,但处理5 d时, T_2 处理较CK降低了7.72%。预喷施S3307可促进绿豆叶片内脯氨酸含量的积累,其中, L_5 在低温条件下处理1~5 d时, T_3 处理较 T_2 处理叶片内脯氨酸含量分别增加11.14%、6.26%、7.54%、6.34%和5.90%; L_2 在低温条件下处

理1~5 d时, T_3 处理较 T_2 处理叶片内脯氨酸含量分别增加17.67%、8.62%、6.56%、6.32%和8.37%。

2.3.2 绿豆叶片内可溶性糖含量的变化

由图9可知,预喷施S3307增加了 L_5 叶片内可溶性糖含量,在处理1~5 d时, T_1 处理与CK相比叶片内可溶性糖含量分别增加9.25%、3.92%、0.86%、6.51%和2.43%,且在处理1 d和4 d时差异达到显著水平;而在正常室外温度条件下,预喷施S3307对 L_2 叶片内可溶性糖含量没有显著影响。在低温条件下处理2~5 d时,绿豆叶片内可溶性糖含量显著增加,其中, L_5 表现为 T_2 处理较CK分别增加15.46%、32.21%、52.46%和32.91%, L_2 表现为 T_2 处理较CK分别增加26.35%、20.84%、41.56%和22.74%。喷施S3307可进一步提高叶片内可溶性糖的含量, L_5 低温处理1~5 d, T_3 处理较 T_2 处理叶片内可溶性糖含量分别增加7.73%、10.58%、12.68%、4.73%和9.57%; L_2 低温处理1~5 d, T_3 处理较 T_2 处理叶片内可溶性糖含量分别增加4.89%、12.71%、15.67%、12.04%和11.36%。

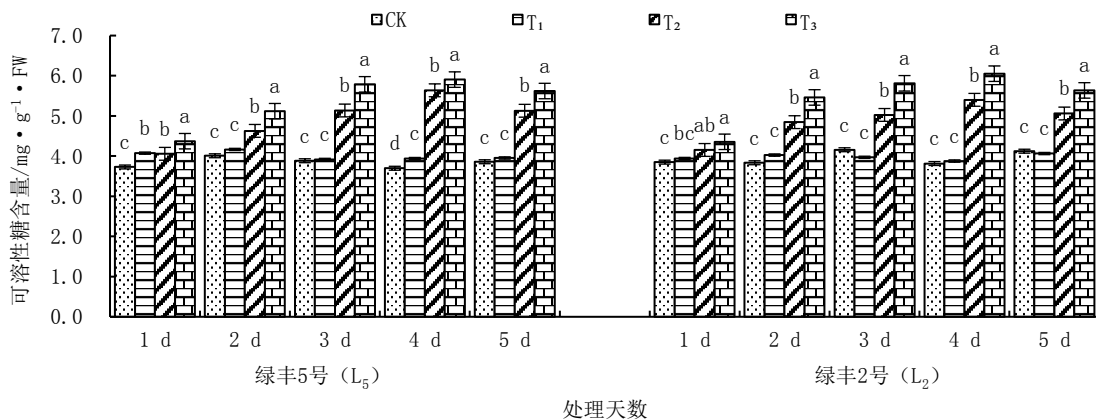


图9 不同条件下绿豆叶片内可溶性糖含量的变化

2.4 低温及预喷施烯效唑处理对绿豆单株籽粒产量的影响

由表2可知,叶面喷施S3307可提高绿豆的单株产量。其中, L_5 在正常室外温度条件下, T_1 处理的单株产量与CK相比增加0.24 g/株,增加幅度为4.70%,差异达到显著水平($P<0.05$); L_2 表现为 T_1 处理的单株产量比CK增加0.42 g/株,提高幅度为7.87%,差异达到显著水平($P<0.05$)。随低温处理时间延长单株籽粒产量呈下降趋势, L_5 表现为 T_2 处理与CK相比,分别下降14.87%、19.57%、28.18%、40.71%和48.14%; L_2 表现为 T_2 处理与CK相比,单株籽粒产量下降比例分别是20.60%、

25.66%、40.82%、46.07%和56.18%,方差分析结果表明,两品种在各取样时间内, T_2 处理的单株籽粒产量均显著低于CK。低温处理条件下,预喷施S3307具有促进产量提升的效应,处理1~5 d时, L_5 表现为 T_3 处理较 T_2 处理单株籽粒产量分别提高0.23 g、0.21 g、0.40 g、0.38 g和0.33 g,提高比例依次是5.29%、5.11%、10.90%、12.54%和12.45%; L_2 表现为 T_3 处理较 T_2 处理单株籽粒产量分别提高0.27g、0.25g、0.67g、0.68g和0.77g,提高比例依次是6.37%、6.30%、21.20%、23.61%和32.91%,方差分析结果表明两品种在各取样时间内, T_3 处理的单株产量显著高于 T_2 处理($P<0.05$)。

表2 不同条件下绿豆的单株籽粒产量(平均值)

g

品种	处理	处理天数				
		1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
绿丰5号 (L_5)	CK	5.11±0.03b	5.11±0.03b	5.11±0.05b	5.11±0.04b	5.11±0.02b
	T_1	5.35±0.01a	5.35±0.01a	5.35±0.03a	5.35±0.02a	5.35±0.01a
	T_2	4.35±0.03d	4.11±0.03d	3.67±0.10d	3.03±0.04d	2.65±0.05d
	T_3	4.58±0.07c	4.32±0.01c	4.07±0.04c	3.41±0.09c	2.98±0.05c
绿丰2号 (L_2)	CK	5.34±0.07b	5.34±0.09b	5.34±0.04b	5.34±0.08b	5.34±0.05a
	T_1	5.76±0.03a	5.76±0.03a	5.76±0.07a	5.76±0.05a	5.76±0.05a
	T_2	4.24±0.07d	3.97±0.03d	3.16±0.05d	2.88±0.02d	2.34±0.01d
	T_3	4.51±0.04c	4.22±0.07c	3.83±0.04c	3.56±0.03c	3.11±0.03c

注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

3 讨论

低温胁迫可引起农作物发生冷害甚至冻害,严重制约着农业生产。低温胁迫条件下,植物 CO_2 同化过程受到抑制,经一系列理化反应后,最终引起细胞膜过氧化损伤^[14]。本试验结果也表明,冷害引起绿豆叶片内 H_2O_2 含量和MDA含量升高,说明低温胁迫造成了膜脂损伤,破坏了细胞正常的生理功能。叶面喷施S3307可有效增强低温胁迫条件下作物抗氧化能力,可不同程度地抑制过氧化作用,降低膜脂过氧化造成的损伤,进而提高作物抵御低温胁迫的能力^[2,5]。本研究表明,低温处理条件下,预喷施S3307可明显抑制 H_2O_2 及MDA的形成和积累,提高了绿豆的抗低温能力。

AsA在植物组织中广泛存在,是良好的非酶抗氧化剂。在逆境条件下,作为一种还原剂,AsA能够清除植物体内产生的过量的 H_2O_2 ,对植物抗逆生长起到积极作用^[15]。GSH的含量是AsA-GSH循环效率高低的因素之一,更主要的是GSH在一定范围内可以有效清除植物体内多余的

ROS,降低膜脂过氧化引起的细胞损伤^[16]。低温可引起作物体内AsA含量和GSH含量升高,赵晶晶^[4]在绿豆上、苗卫东等^[15]在葡萄上的研究都证实了这一点。本研究得出结果是绿豆初花期低温胁迫导致叶片内非酶抗氧化剂(AsA、GSH、DHA和GSSG)含量升高,因此说明绿豆可通过开启活性氧清除系统来自我保护,抵御低温造成的损伤,提高对低温的适应能力,这与本人前期在不同低温条件下的研究结果一致^[5]。逆境条件下,预喷施S3307能进一步提高AsA、DHA含量和GSH、GSSG含量,这与赵晶晶^[4]研究得出相似结论。这说明预喷施S3307可有效协调AsA-GSH循环的系统运行,维持抵御低温胁迫的能力^[5]。

逆境条件下,作为关键的渗透调节类物质脯氨酸和可溶性糖会迅速合成和积累,来降低细胞的渗透势,缓解胁迫对细胞和组织的损害^[17]。本研究发现,低温处理条件下,绿豆叶片内可溶性糖含量显著提高,这与李琬等^[9]在小豆上的研究结果一致。但脯氨酸含量的变化因品种、处理时间长短而异,本研究结果表明低温条件下,绿丰5号体内脯氨酸含量变化较大,而绿丰2号体内的

脯氨酸含量变化较为微弱;绿丰5号和绿丰2号低温胁迫1~4 d时, T₂处理较CK的脯氨酸含量提高,当低温处理5 d时,脯氨酸含量均表现为T₂处理低于CK,这可能与脯氨酸生物合成关键酶的基因编码有关,有报道指出低温胁迫下,脯氨酸含量的变化受脯氨酸合成酶基因—鸟氨酸转氨酶基因(OAT)和 Δ' -吡咯林-5-羧酸合成酶基因(P5CS)的调控,其基因表达量上调以及脯氨酸脱氢酶基因(ProDH)表达的下降均可诱导脯氨酸合成和积累^[18]。本研究结果表明低温条件下,施用S3307可以提高绿豆叶片内渗透调节物质的含量,提高了绿豆植株对低温的抵御能力。

开花期低温胁迫导致绿豆产量下降,赵晶晶^[4]、单莹^[19]等的试验结果均证实了这一点。本试验结果表明,低温处理1~5 d绿丰5号单株籽粒产量下降14.87%~48.14%;绿丰2号单株籽粒产量下降20.60%~56.18%。喷施S3307能够缓解低温胁迫对绿豆产量的影响,绿丰5号在处理1~5 d时,单株产量提高5.11%~12.54%,绿丰2号在处理1~5 d时,单株产量提高6.30%~32.91%。

4 结 论

低温胁迫导致绿豆叶片可溶性糖含量显著提高,喷施S3307能够提高绿豆叶片内渗透调节物质的含量,提高绿豆植株对低温的抵御能力。初花期低温胁迫引起绿豆叶片内H₂O₂含量和MDA含量升高,同时导致叶片内非酶抗氧化剂(AsA、GSH、DHA和GSSG)含量升高,喷施S3307可明显抑制H₂O₂及MDA的形成和积累,还可有效协调AsA-GSH循环系统的运行,提高抵御低温胁迫的能力,缓解了绿豆在低温胁迫下产量的降低。

参考文献:

- [1] 康泽然,王晓磊,魏云山,等. 绿豆种质资源主要农艺性状、经济性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(21): 36-41.
- [2] 韩昕儒,宋莉莉. 我国绿豆、小豆生产特征及产业发展趋势[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(8): 1-10.
- [3] 侯雪,陈雨洁,李春苗,等. 调环酸钙对盐碱胁迫下绿豆苗期生长的调控作用[J]. 作物杂志, 2022(6): 174-180.
- [4] 赵晶晶. 烯效唑缓解绿豆R1期冷害对碳代谢损伤效应的研究[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学, 2019.
- [5] 项洪涛,李琬,何宁,等. 初花期低温及预喷施烯效唑对绿豆叶片AsA-GSH循环和产量的影响[J]. 西南农业学报, 2023, 36(5): 932-942.
- [6] 高文红,李鹏丽,车寒梅,等. 低温胁迫下没食子酸丙酯对黄瓜幼苗生理生化特性的影响[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(8): 70-74.
- [7] Jumrani K, Bhatia V S. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean [J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2019, 25(3): 667-681.
- [8] 和秋兰,张航,王正维,等. 外源褪黑素对低温胁迫下马铃薯幼苗抗氧化系统的影响[J]. 华北农学报, 2022, 37(1): 103-111.
- [9] 李琬,项洪涛,何宁,等. 烯效唑对苗期低温胁迫下红小豆产量及茎部抗逆生理指标的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(2): 199-206, 213.
- [10] 李合生,孙群,赵世杰. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000: 167-169, 184-185.
- [11] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社, 1992: 201-202.
- [12] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006: 221-223.
- [13] Zhang J, Kirkham M B. Antioxidant responses to drought in sunflower and sorghum seedlings[J]. *New Phytologist*, 1996, 132: 361-373.
- [14] Miura K, Shiba H, Ohta M, et al. SLICE1 encoding a MYC-type transcription factor controls cold tolerance in tomato, *Solanum lycopersicum*[J]. *Plant Biotechnology*, 2012, 29(3): 253-260.
- [15] 苗卫东,王萌,高换超,等. 外源褪黑素对低温胁迫下不同葡萄品种抗氧化酶活性和AsA-GSH循环的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(23): 133-138.
- [16] 陈芳,杨双龙,张莉,等. 外源茉莉酸甲酯对盐胁迫下玉米幼苗AsA-GSH循环的影响[J]. 生物学通报, 2021, 56(11): 44-48.
- [17] 魏晓凯,何倩弦,俞世康,等. 外源亚精胺对低温胁迫下烟草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(7): 94-99.
- [18] 余燕,张雅婷,赵雪,等. H₂O₂浸种对低温胁迫下花生种子萌发的调控作用[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(5): 860-868.
- [19] 单莹,丁凯鑫,郑殿峰,等. 花期低温胁迫及喷施烯效唑对绿豆光合特性和保护酶活性的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2021, 32(2): 7-16.

(责任编辑:范杰英)