

# 淹水胁迫下烯效唑缓解小豆幼苗茎部生理损伤的效应研究

王曼力<sup>1</sup>, 项洪涛<sup>2,3\*</sup>, 李琬<sup>1</sup>, 李博<sup>1</sup>, 谢洪昌<sup>2,3</sup>, 王德明<sup>2,3</sup>, 张晓青<sup>2,3</sup>,  
王强<sup>3</sup>, 王晨<sup>3</sup>, 高婧<sup>3</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所, 哈尔滨 150086; 2. 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; 3. 黑龙江省农业科学院, 哈尔滨 150086)

**摘要:** 为探究幼苗期淹水胁迫及喷施烯效唑(uniconazole, S3307)对小豆茎部生理及产量的影响, 本试验在盆栽条件下, 以龙红豆4号和天津红为试验材料, 苗期预喷施S3307, 并连续淹水处理5 d, 每天取样测定分析相关生理指标。结果表明, 小豆苗期淹水处理引起茎部 $H_2O_2$ 、MDA、脯氨酸、可溶性蛋白含量显著增加, SOD、POD和CAT活性显著提高, 淹水处理5 d导致龙红豆4号单株产量下降8.40%, 天津红下降9.88%。S3307具有抵御淹水胁迫的作用, 能有效增加小豆幼茎脯氨酸和可溶性蛋白含量, 显著降低 $H_2O_2$ 和MDA含量, 能够显著提高SOD和POD活性。喷施S3307使淹水4 d的龙红豆4号产量提高2.75%、天津红产量提高5.29%。

**关键词:** 小豆; 淹水胁迫; 烯效唑; 茎部生理; 产量

中图分类号: S643.401

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)02-0017-08

## Mitigating Effects of Uniconazole on physiological damage and yield of Adzuki Bean Seedlings under Waterlogging Stress

WANG Manli<sup>1</sup>, XIANG Hongtao<sup>2,3\*</sup>, LI Wan<sup>1</sup>, LI Bo<sup>1</sup>, XIE Hongchang<sup>2,3</sup>, WANG Deming<sup>2,3</sup>, ZHANG Xiaoqing<sup>2,3</sup>,  
WANG Qiang<sup>3</sup>, WANG Chen<sup>3</sup>, GAO Qiang<sup>3</sup>

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

**Abstract:** In order to explore the difference in the resistance physiology and yield, and the mitigation effect of uniconazole(S3307) pretreatment under waterlogging stress, the pot experiment in this research was conducted, and the crop cultivar including Longhongdou4 (LHD 4) and Tianjinhong (TJH). Waterlogging treatment and foliar spraying of S3307 were carried out at the seedling stage of adzuki bean. The lasting time of waterlogging stress in the experiment was 5 days. And samples were taken every day to determine and analyze the related physiological indexes and yield factors. The results showed that flooding stress at seedling stage significantly increased the contents of  $H_2O_2$  and MDA, proline and soluble protein, and the activities of SOD, POD and CAT in the stem of adzuki bean. Flooding treatment for 5 days significantly decreased the yield of LHD 4 by 8.40% and TJH by 9.88%. S3307 can resist flooding stress, effectively increase the contents of proline and soluble protein in young stems of adzuki bean, significantly reduce the contents of  $H_2O_2$  and MDA, and significantly increase the activities of SOD and POD. Spraying S3307 significantly increased the yield of LHD 4 and TJH by 2.75% and 5.29%, respectively.

**Key words:** Adzuki bean; Waterlogging stress; Uniconazole; Stem physiology; Yield

收稿日期: 2023-05-06

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: 王曼力(1981-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事作物生理研究。

通讯作者: 项洪涛, 男, 博士, 副研究员, E-mail: xianght@163.com

小豆(*Vigna angularis*), 古名荳、小菽、赤菽等, 属于豆科豇豆属, 别称红小豆、赤豆等, 具有良好的药食兼用价值。小豆在东亚地区有较长的栽培历史, 具有较好的环境适应能力, 在瘠薄地、坡耕地、盐碱地、丘陵地等均可生长<sup>[1]</sup>, 但对淹水胁迫敏感, 易形成涝害。随着全球气候的变化, 水分

分配不平衡程度加深,水分胁迫已成为全球农业生产的主要限制因素<sup>[2]</sup>,土壤水分过量带来水灾,世界上 16% 的肥沃土地遭受涝渍危害<sup>[3]</sup>,水灾也是我国主要的自然灾害之一,农业生产中水灾面积占总受灾面积的近 1/5,对作物产量影响极大<sup>[4]</sup>。

淹水胁迫对作物产量和品质的影响较为复杂,与植物的生育期、品种特性及淹水的持续时间和深度密切相关<sup>[5]</sup>。相关报道指出,花生 R5 期淹水胁迫可引起单株产量降低 29.58%<sup>[6]</sup>,R5 期淹水胁迫导致绿豆产量下降 18.07%~28.87%<sup>[7]</sup>,水稻拔节孕穗期淹水可引起结实率下降<sup>[8]</sup>。叶面喷施植物生长调节剂能够有效缓解非生物胁迫对作物的损伤<sup>[9]</sup>。烯效唑(简称 S3307),具有效力强、毒性较低的生理学特点,是一种应用较为广泛的植物生长延缓剂<sup>[10]</sup>,具有维持细胞稳态、调控抗逆基因表达<sup>[11]</sup>,提高抗逆性等作用<sup>[10]</sup>。研究表明,大豆鼓粒期喷施 S3307 能抑制淹水胁迫条件下 ROS 的积累,降低淹水胁迫对膜系统造成的伤害,并能增加关键酶的活性<sup>[12]</sup>;王诗雅等<sup>[13]</sup>指出苗期喷施 S3307 能提高淹水胁迫下大豆渗透调节物质含量、诱导酶促抗氧化防御系统活性,并能够提高籽粒产量。

茎是植物的中轴部分,既有疏导营养和水分的作用,也有支持叶片、花和果实分布在一定空间的重要作用。小豆受到淹水胁迫时,茎部形态建成、疏导功能及理化指标平衡都会受到一定程度的干扰,进而影响植株生育进程,最终引起产量降低。鉴于此,本试验于小豆幼苗期开展淹水处理,并预喷施 S3307 进行抗逆调控,旨在分析红小豆抗淹水胁迫的生理机制,并探明植物生长调节剂对缓解淹水胁迫的调控效应,为小豆抗淹水胁迫提供技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验选择龙红豆 4 号(LHD 4)和天津红(TJH)2 个小豆品种为材料,由黑龙江省农业科学院作物资源研究所食用豆研究室王强研究员馈赠,进行淹水试验。供试植物生长调节剂为烯效唑(标准品),纯度≥98%,由黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所作物生态研究室提供。

### 1.2 试验设计

试验于 2019 年采用套盆盆栽的方法,随机区组设计,共设 6 个处理,3 次重复,具体见表 1。每盆播种 15 粒(5 穴×3 粒),待完全出苗后,每穴留

表 1 试验设计方案

| 品种                 | 处理             | 烯效唑处理    | 水分处理   |
|--------------------|----------------|----------|--------|
| 龙红豆 4 号<br>(LHD 4) | T <sub>1</sub> | 蒸馏水喷施    | 正常土壤水分 |
|                    | T <sub>2</sub> | 蒸馏水喷施    | 淹水胁迫   |
|                    | T <sub>3</sub> | S3307 喷施 | 淹水胁迫   |
| 天津红<br>(TJH)       | T <sub>4</sub> | 蒸馏水喷施    | 正常土壤水分 |
|                    | T <sub>5</sub> | 蒸馏水喷施    | 淹水胁迫   |
|                    | T <sub>6</sub> | S3307 喷施 | 淹水胁迫   |

均匀的 1 株幼苗。待植株长至一叶期时,进行叶面预喷施 S3307 处理,施用浓度为 20 mg/L,用量为 22.5 mL/m<sup>2</sup>。24 h 后进行淹水胁迫处理,淹水高度超出土壤表面 1.5~2.0 cm,以土壤相对含水量 70%~80% 为对照。淹水 1 d 后取样,之后每天相同时间进行下一次取样,共取样 5 次。每天各处理解除淹水胁迫 3 盆,供测定产量使用。

### 1.3 测定项目与方法

丙二醛(MDA)含量、可溶性蛋白含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性,按照李合生等<sup>[14]</sup>的方法进行测定。可溶性糖含量和脯氨酸含量,按照张宪政等<sup>[15]</sup>的方法进行测定。过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)含量使用试剂盒测定,试剂盒购自北京索莱宝科技有限公司。

### 1.4 数据处理

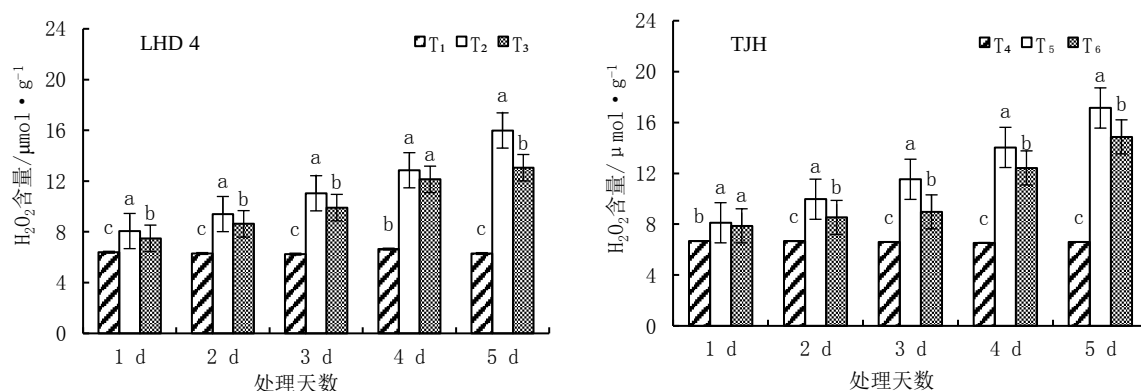
采用 Excel 2013 进行数据整理和图表绘制,差异显著性分析使用 SPSS 25.0 进行处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对小豆幼苗茎部膜损伤的影响

#### 2.1.1 小豆幼苗茎部 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量的变化

由图 1 可知,淹水胁迫后小豆幼茎内 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量呈递增变化趋势。龙红豆 4 号淹水 1~5 d 时,T<sub>2</sub> 处理较 T<sub>1</sub> 处理分别提高了 26.07%、49.36%、76.68%、93.49% 和 154.09%,差异达到显著水平。天津红淹水 1~5 d 时,T<sub>5</sub> 处理均高于 T<sub>4</sub> 处理,分别提高了 21.64%、49.49%、74.65%、114.80% 和 159.62%,差异达到显著水平。淹水胁迫下,喷施 S3307 能够降低小豆幼茎内 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的积累。对龙红豆 4 号来说,淹水 1~5 d 时,T<sub>3</sub> 处理比 T<sub>2</sub> 处理分别降低 7.11%、8.21%、10.21%、5.58% 和 18.37%。对天津红来说,淹水 2~5 d 时,T<sub>6</sub> 处理比 T<sub>5</sub> 处理分别降低 14.40%、22.25%、11.50% 和 13.27%,差异达到显著水平。



注:小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同

图1 不同处理下小豆幼苗茎部H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量的变化

### 2.1.2 小豆幼苗茎部MDA含量的变化

由图2可知,淹水胁迫后小豆茎部的MDA含量显著高于对照。预喷施S3307具有降低淹水条件下小豆茎内MDA含量的调控效能。对龙红豆4号来说,淹水2~5 d时,T<sub>3</sub>处理比T<sub>2</sub>处理MDA含量

分别降低9.01%、10.27%、19.79%和24.30%,差异达到显著水平。对天津红来说,淹水3~5 d时,T<sub>6</sub>处理比T<sub>5</sub>处理分别降低15.91%、16.81%和18.71%,差异达到显著水平。

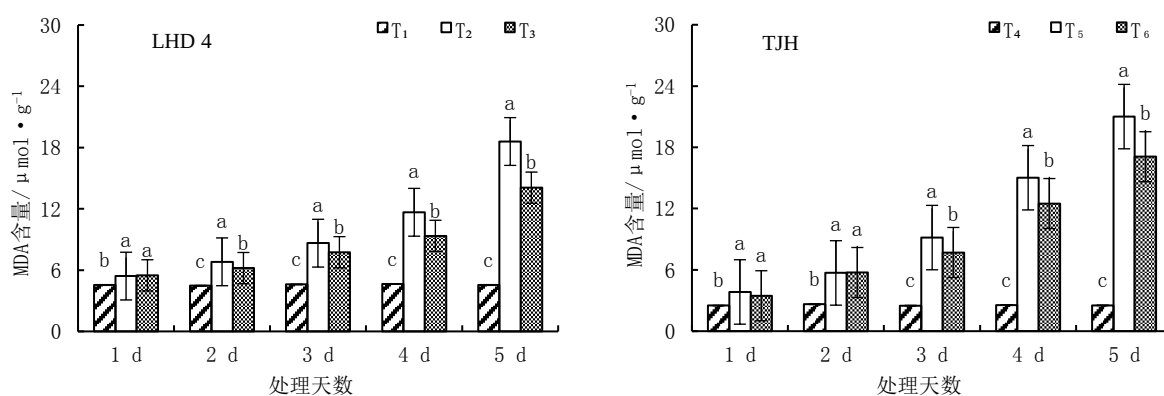


图2 不同处理下小豆幼苗茎部MDA含量的变化

## 2.2 不同处理对小豆幼苗茎部抗氧化酶系统的影响

### 2.2.1 小豆幼苗茎部SOD活性的变化

由图3可知,当龙红豆4号淹水1~3 d时,T<sub>2</sub>处

理的SOD活性较对照(T<sub>1</sub>)分别提高了13.26%、27.94%和48.86%,差异达到显著水平;喷施S3307后龙红豆4号茎部SOD活性进一步提高,淹水1~5 d时,T<sub>3</sub>处理较T<sub>2</sub>处理分别提高了9.36%、10.64%、

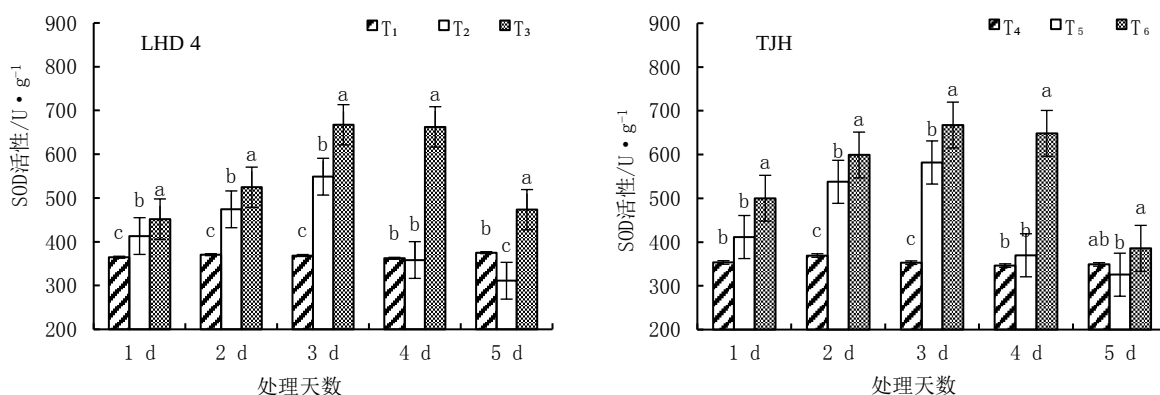


图3 不同处理下小豆幼苗茎部SOD活性的变化

21.52%、84.89%和52.17%,差异达到显著水平。当天津红淹水2 d和3 d时, $T_5$ 处理的SOD活性比 $T_4$ 处理分别提高45.60%和64.87%,差异达到显著水平;喷施S3307后天津红茎部SOD活性进一步提高,淹水1~5 d时, $T_6$ 处理比 $T_5$ 处理分别提高21.56%、11.40%、14.72%、75.34%和18.52%,差异达到显著水平。

### 2.2.2 小豆幼苗茎部POD活性的变化

由图4可知,淹水条件下小豆幼茎POD活性被诱导升高。喷施S3307后小豆幼茎POD活性得到进一步增强。龙红豆4号淹水1~5 d时, $T_2$ 处理

比 $T_1$ 处理分别提高33.46%、84.60%、150.44%、84.23%和40.36%,差异达到显著水平;淹水2~5 d时, $T_3$ 处理比 $T_2$ 处理分别提高39.86%、31.20%、102.82%和110.30%,差异达到显著水平。淹水1~5 d,天津红幼苗茎部POD活性均为 $T_6>T_5>T_4$ ,其中淹水2~4 d时, $T_5$ 处理比 $T_4$ 处理分别提高84.07%、176.19%和81.71%,差异达到显著水平;淹水1~5 d时, $T_6$ 处理比 $T_5$ 处理分别提高129.59%、63.38%、14.76%、151.23%和154.27%,经方差分析可知, $T_6$ 处理的POD活性均显著高于 $T_5$ 处理。

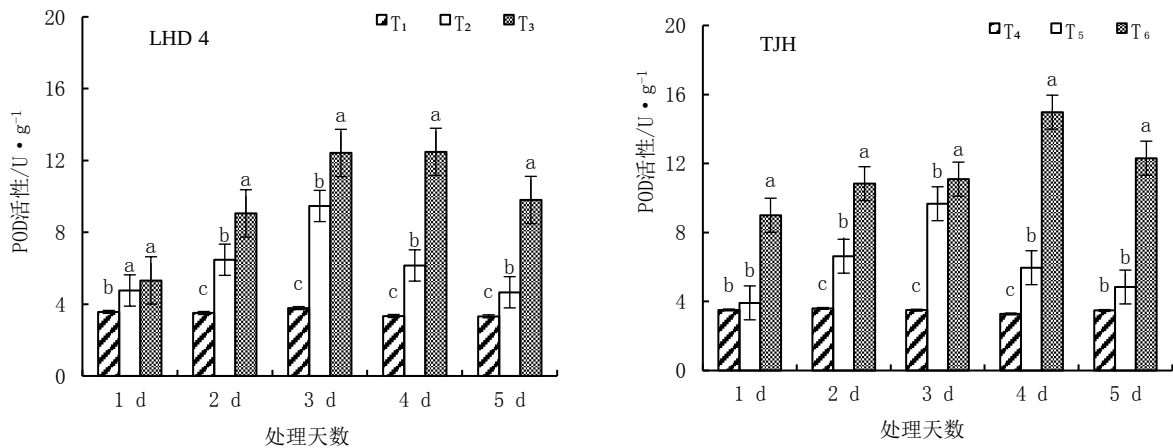


图4 不同处理下小豆幼苗茎部POD活性的变化

### 2.2.3 小豆幼苗茎部CAT活性的变化

由图5可知,淹水1~5 d时,龙红豆4号幼茎CAT活性 $T_2$ 处理比 $T_1$ 处理分别提高20.00%、69.23%、84.62%、28.57%和7.69%,方差分析结果表明处理2 d和3 d时, $T_2$ 处理均显著高于 $T_1$ 处理。天津红淹水1~5 d幼茎CAT活性 $T_5$ 处理较 $T_4$ 处理分别提高了57.14%、86.67%、100.00%、50.00%和

21.43%,经方差分析可知,当淹水1~4 d时, $T_5$ 处理显著高于对照( $T_4$ )。淹水胁迫条件下,预喷施S3307可促进龙红豆4号幼茎内CAT活性的提高。经方差分析可知:龙红豆4号处理1~3 d时, $T_3$ 处理较 $T_2$ 处理分别显著提高33.33%、27.27%和25.00%;喷施S3307对天津红幼茎内的CAT活性没有显著的调控效应。

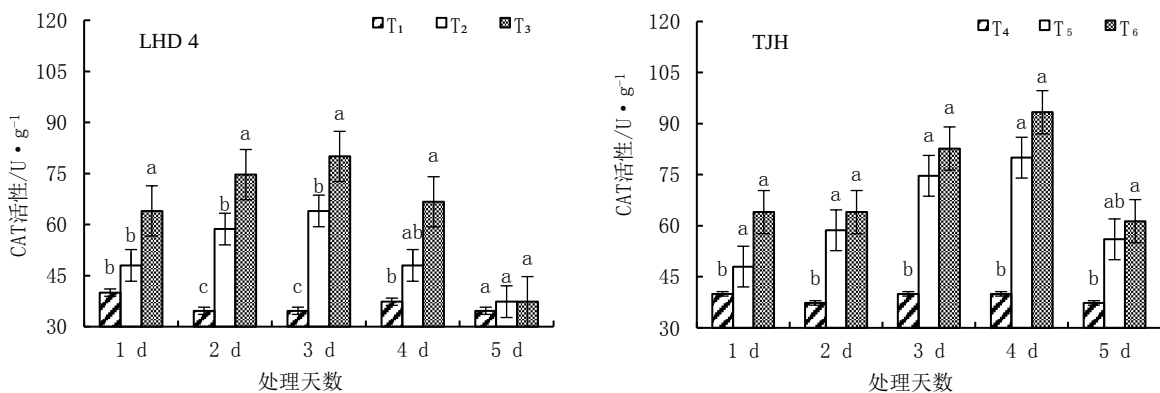


图5 不同处理下小豆幼苗茎部CAT活性的变化



## 2.3 不同处理对小豆幼苗茎部渗透调节物质含量的影响

### 2.3.1 小豆幼苗茎部脯氨酸含量的变化

由图6可知,小豆幼苗期经淹水及喷施S3307处理后,茎部脯氨酸含量表现为“Λ”型变化趋势。当龙红豆4号淹水1~5 d时,与对照( $T_1$ )相比, $T_2$ 处理的脯氨酸含量分别增加了33.26%、72.79%、201.44%、125.17%和28.13%,差异达到显著水平。天津红淹水1~5 d, $T_5$ 处理较 $T_4$ 处理分别提高了

46.88%、68.73%、91.91%、24.58%和5.92%,方差分析结果表明淹水1~3 d时, $T_5$ 处理脯氨酸含量显著高于 $T_4$ 处理。喷施S3307具有提高小豆幼苗茎部脯氨酸含量的调控效应。具体来看,在龙红豆4号淹水1~2 d、4~5 d时, $T_3$ 处理较 $T_2$ 处理分别增加25.09%、32.72%、40.51%和17.62%,差异达到显著水平。天津红淹水1~5 d时, $T_6$ 处理比 $T_5$ 处理分别增加38.38%、26.52%、33.36%、93.47%和57.61%,差异达到显著水平。

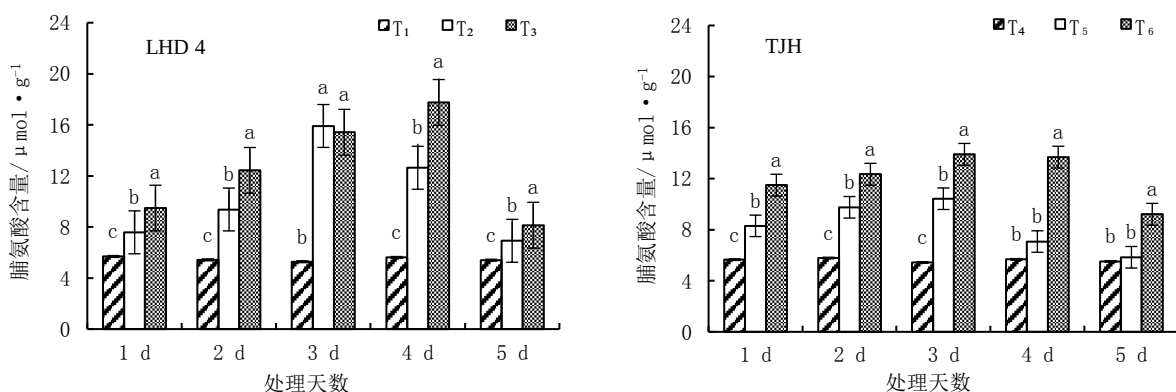


图6 不同处理下小豆幼苗茎部脯氨酸含量的变化

### 2.3.2 小豆幼苗茎部可溶性糖含量的变化

由图7可知,当龙红豆4号淹水1~4 d时,幼苗茎部可溶性糖含量均表现为 $T_2 > T_1$ ,当淹水3 d和4 d时, $T_2$ 处理较 $T_1$ 处理分别增加42.94%和32.78%,差异达到显著水平。当天津红淹水1~5 d时, $T_5$ 处理的可溶性糖含量较 $T_4$ 处理分别提高68.36%、112.09%、150.20%、74.07%和28.13%,淹

水1~4 d时, $T_5$ 处理与 $T_4$ 处理的差异达到显著水平。喷施S3307对小豆幼茎内可溶性糖含量的调控效应规律不明显,方差分析结果表明龙红豆4号在淹水3 d和5 d时, $T_3$ 处理与 $T_2$ 处理差异显著;天津红在淹水4 d时, $T_6$ 处理显著高于 $T_5$ 处理,其他取样时间,二者差异未达显著水平。

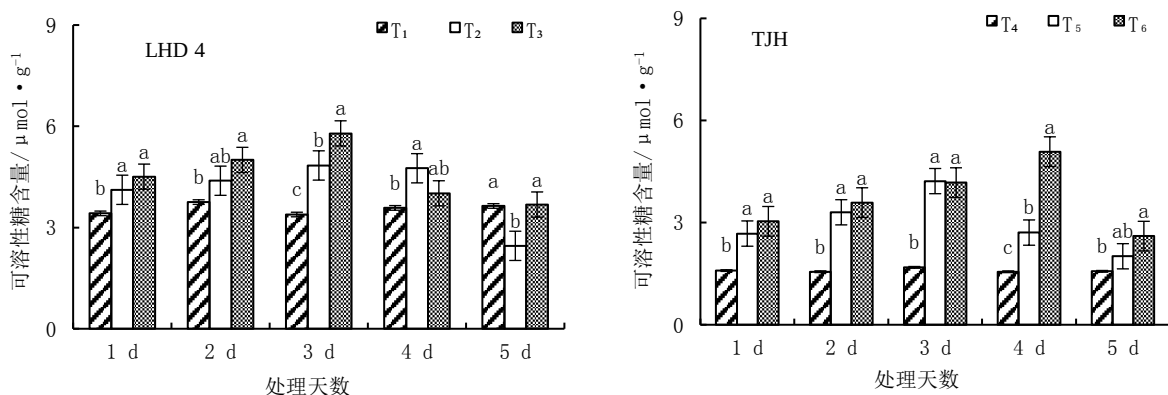


图7 不同处理下小豆幼苗茎部可溶性糖含量的变化

### 2.3.3 小豆幼苗茎部可溶性蛋白含量的变化

由图8可知,小豆幼苗期经淹水及喷施S3307

处理后,茎部可溶性蛋白含量表现为“Λ”型变化趋势。龙红豆4号淹水1~3 d时,与对照( $T_1$ )相

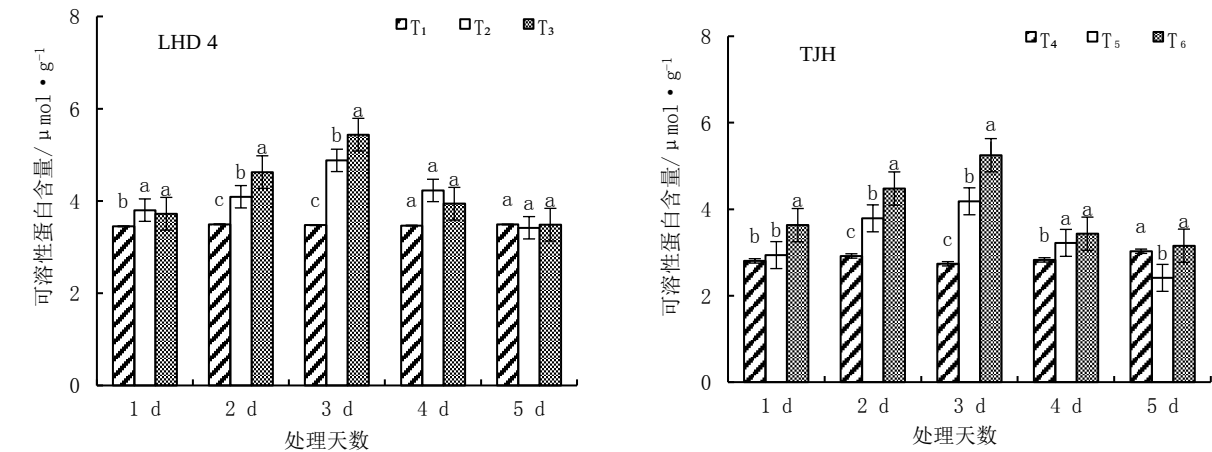


图8 不同处理下小豆幼苗茎部可溶性蛋白含量的变化

比, T<sub>2</sub>处理的可溶性糖含量分别提升了10.14%、17.08%和40.42%,差异达到显著水平。当淹水及喷施S3307处理2 d和3 d时,与T<sub>2</sub>处理相比,T<sub>3</sub>处理的可溶性蛋白含量分别提升了13.05%和11.43%,差异达到显著水平。天津红淹水2~4 d时,T<sub>5</sub>处理比T<sub>4</sub>处理增加了29.81%、52.79%和13.91%,达到差异显著水平;经淹水及喷施S3307处理1~3 d时,T<sub>6</sub>处理的可溶性蛋白含量较T<sub>5</sub>处理分别增加23.59%、18.19%和25.49%,差异达到显著水平。

2.4 不同处理对小豆单株产量的影响

由表2可知,幼苗期淹水处理引起小豆产量下降,预喷施S3307具有一定的调控效应。对龙红

豆4号来说,淹水1 d和2 d时,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理之间单株产量无显著差异;淹水3~5 d时,T<sub>2</sub>处理比T<sub>1</sub>处理的单株产量分别降低了4.78%、4.28%和8.40%,差异达到显著水平;淹水3 d和4 d时,T<sub>3</sub>处理比T<sub>2</sub>处理的单株产量分别增加2.83%和2.75%,差异达到显著水平。对天津红而言,淹水1~2 d时,T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>、T<sub>6</sub>处理的单株产量之间没有显著差异;经淹水处理3~5 d时,T<sub>5</sub>处理比T<sub>4</sub>处理的单株产量分别降低5.57%、7.97%和9.88%,差异达到显著水平;淹水4 d和5 d时,T<sub>6</sub>处理比T<sub>5</sub>处理的单株产量分别增加5.29%和5.25%,差异达到显著水平。

表2 淹水胁迫及喷施S3307处理后小豆的单株产量 g

| 品种               | 处理             | 1 d        | 2 d        | 3 d         | 4 d        | 5 d        |
|------------------|----------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| 龙红豆4号<br>(LHD 4) | T <sub>1</sub> | 6.07±0.04a | 6.07±0.04a | 6.07±0.04a  | 6.07±0.04a | 6.07±0.04a |
|                  | T <sub>2</sub> | 6.02±0.08a | 5.97±0.08a | 5.78±0.05b  | 5.81±0.05b | 5.56±0.17b |
|                  | T <sub>3</sub> | 6.05±0.03a | 5.99±0.06a | 5.95±0.03a  | 5.97±0.03a | 5.66±0.05b |
| 天津红<br>(TJH)     | T <sub>4</sub> | 4.72±0.08a | 4.72±0.08a | 4.72±0.08a  | 4.72±0.08a | 4.72±0.08a |
|                  | T <sub>5</sub> | 4.51±0.21a | 4.54±0.10a | 4.46±0.04b  | 4.35±0.04b | 4.26±0.03c |
|                  | T <sub>6</sub> | 4.69±0.07a | 4.62±0.07a | 4.58±0.03ab | 4.58±0.02a | 4.48±0.03b |

注:小写字母不同表示差异显著(P<0.05)

3 讨论

淹水胁迫条件下,植物体内会累积过量的活性氧自由基,造成膜脂过氧化进而诱发细胞功能紊乱甚至导致植株死亡<sup>[16]</sup>。为了对抗过量活性氧

自由基引起的代谢失衡及毒害作用,植物体会启动自我保护模式,通过激发体内保护酶系统,清除过多积累的活性氧(ROS),维持植物正常的生育进程。淹水胁迫可导致植物生理代谢紊乱,引起过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、超氧阴离子等含量异常升高,

过量积累的活性氧类物质导致膜系统受到不同程度损伤,干扰正常生理代谢功能,最终引起生育进程受阻,影响产量形成<sup>[17]</sup>。在绿色植物中由逆境导致的氧化胁迫是一种普遍现象<sup>[18]</sup>,淹水逆境条件引发作物体内  $H_2O_2$  含量和 MDA 含量增加<sup>[17]</sup>,诱发 SOD、POD 和 CAT 活性增强<sup>[19]</sup>,脯氨酸含量和可溶性蛋白含量提高<sup>[17]</sup>。这与本研究结果相似,幼苗期淹水胁迫引起小豆幼茎部  $H_2O_2$  和 MDA 含量增加,引起细胞代谢紊乱,影响代谢功能,对植物的生长发育造成严重影响;同时淹水胁迫也引起了小豆幼茎部抗氧化酶活性提高,通过抗氧化酶活性的提高来维持体内氧自由基处于较低水平,降低活性氧物质带来的损伤;此外,小豆幼苗期淹水处理导致茎内可溶性蛋白含量、脯氨酸含量都明显增加,可溶性蛋白和脯氨酸均为可溶性的小分子化合物,是植物体内重要的渗透调节物质,对维持细胞膜的流动性和稳定性都起到保护作用,由此认为,抗氧化酶活性的提高以及渗透调节物质含量的增加都是小豆保护生理机制受到逆境胁迫而主动开启,可在一定程度上减缓淹水胁迫带来的影响。李琬等<sup>[20]</sup>研究指出,在逆境条件下,喷施 S3307 能促进抗氧化酶活性的提高,尤其对 SOD 和 POD 活性的影响更为明显;同时能够抑制活性氧类物质的积累,降低膜脂过氧化程度;提高渗透调节物质含量,增强细胞液流动性,协同提高作物抗逆能力。李琬等<sup>[21]</sup>指出,喷施 S3307 处理能够小幅提高小豆茎内脯氨酸含量,并降低 MDA 含量,维持逆境条件下膜系统的稳定性,马艳华<sup>[22]</sup>指出,叶面喷施 S3307 能够提高脯氨酸含量,而 MDA 含量减少,提高作物的抗逆性。本试验也得到了相似结果,淹水条件下,喷施 S3307 能提高小豆幼茎部的 SOD 和 POD 活性、提高可溶性蛋白含量,说明 S3307 可系统地协调保护酶体系运行,全面提高细胞抗氧化能力,缓解或消除 ROS 的过氧化反应<sup>[23]</sup>。

淹水胁迫会引起作物产量降低,研究表明,玉米拔节期淹水胁迫产量下降 16.00%~43.40%<sup>[24]</sup>,水稻不同时期淹水胁迫可减产 31.10%~65.20%<sup>[8]</sup>。本研究结果与上述研究结果相似,淹水胁迫也导致小豆产量下降,其中小豆幼苗淹水 3 d 就可引起产量显著降低。相关报道指出,喷施不同植物生长素能增强根系对养分的吸收能力,有利于小豆产量的提高<sup>[25]</sup>。喷施 S3307 能有效抵抗淹水胁迫

对作物产量的影响,在同为豆科作物的花生<sup>[6]</sup>、绿豆<sup>[7]</sup>等作物上都有类似报道,本研究结果也表明喷施 S3307 能有效抵御淹水胁迫对小豆产量引起的损失。这可能与 S3307 维持了小豆的代谢生理有关,淹水条件下 S3307 可在短时间内保持细胞膜的稳定性并降低膜脂过氧化损伤,为小豆的花原基、荚原基等生殖器官的形态发育起保护作用,但相关的形态发育学研究尚需进一步探讨。

## 4 结 论

淹水胁迫导致小豆幼茎细胞膜受损,体内  $H_2O_2$  和 MDA 含量等活性氧类物质的含量显著提高,同时也诱发 SOD 活性、POD 活性相对提高,同时促进了脯氨酸和可溶性蛋白等渗透调节物质含量增加,但最终淹水胁迫仍导致产量受损,淹水处理 5 d 导致龙红豆 4 号单株产量下降 8.40%,天津红下降 9.88%。喷施 S3307 具有缓解逆境胁迫对理化进程的影响,可有效降低幼茎内  $H_2O_2$  和 MDA 等物质的累积,促进小豆幼茎部 SOD 活性和 POD 活性增强<sup>[23]</sup>,提高渗透调节物质的含量。预喷施 S3307 可提高小豆抗淹水胁迫能力,使淹水 4 d 的龙红豆 4 号产量提高 2.75%、天津红产量提高 5.29%。

## 参考文献:

- [1] 项洪涛,李 琬,何 宁,等.小豆根系对水分胁迫的生理响应及 S3307 的缓解效应[J].中国农业科技导报,2022,24(9):39-49.
- [2] 于惠琳,吴玉群,胡宝忱,等.水分逆境下糯玉米光合荧光系统的生理调节[J].东北农业科学,2020,45(1):8-12,103.
- [3] 刘达滩,刘诗琴,易鹏程,等.淹水胁迫下外源激素对甜瓜幼苗根系生理特性的影响[J].江苏农业科学,2019,47(9):182-185.
- [4] 尤东玲,张 星,于康珂,等.亚精胺对淹水胁迫下玉米幼苗生长和生理特性的影响[J].玉米科学,2016,24(1):74-80,87.
- [5] 弓 雪,卢生乔,陈 坤,等.灌浆期淹水胁迫对广西骨干玉米自交系生理生化特性的影响[J].南方农业学报,2023,54(6):1771-1779.
- [6] 李 颖,赵继浩,李金融,等.外源 6-BA 对不同生育时期淹水花生根系生长和荚果产量的影响[J].中国农业科学,2020,53(18):3665-3678.
- [7] 于 奇,冯乃杰,王诗雅,等. S3307 对始花期和始粒期淹水绿豆光合作用及产量的影响[J].作物学报,2019,45(7):1080-1089.
- [8] 朱海霞,姜丽霞,纪仰慧,等.寒地水稻产量因素对淹水胁迫

- 迫的响应[J]. 东北农业科学, 2020, 45(6): 19-23.
- [ 9 ] Peleg Z, Blumwald E. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants [J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2011, 14(3): 290-295.
- [ 10 ] 李 琬, 项洪涛, 何 宁, 等. 烯效唑(S3307)提高作物抗逆性研究进展[J]. 中国农学通报, 2020, 36(20): 101-106.
- [ 11 ] 丁凯鑫, 王立春, 田国奎, 等. 外源烯效唑对干旱胁迫下马铃薯叶片抗氧化能力及渗透调节的影响[J]. 核农学报, 2024, 38(1): 169-178.
- [ 12 ] 王诗雅, 郑殿峰, 冯乃杰, 等. 鼓粒期淹水胁迫对大豆叶片AsA-GSH循环的损伤及烯效唑的缓解效应[J]. 草业学报, 2021, 30(7): 157-166.
- [ 13 ] 王诗雅, 郑殿峰, 冯乃杰, 等. 植物生长调节剂S3307对苗期淹水胁迫下大豆生理特性和显微结构的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(10): 1988-2000.
- [ 14 ] 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.
- [ 15 ] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 201-202.
- [ 16 ] 李文静, 朱 进, 彭玉全, 等. 淹水胁迫对油麦菜生长、生理和解剖结构的影响[J]. 植物生理学报, 2020, 56(10): 2233-2240.
- [ 17 ] 项洪涛, 李 琬, 何 宁, 等. 外源脱落酸缓解小豆幼苗水分胁迫效应研究[J]. 西南农业学报, 2022, 35(1): 74-80.
- [ 18 ] 李 程, 闫伟平, 常 莹, 等. 不同氮肥处理及水分胁迫对玉米幼苗生理特性的影响[J]. 吉林农业科学, 2014, 39(4): 12-16.
- [ 19 ] 杨文钰, 徐精文, 张 鸿. 烯效唑对秧苗抗寒性的影响及其作用机理研究[J]. 杂交水稻, 2003, 18(2): 53-57.
- [ 20 ] 李 琬, 项洪涛, 何 宁, 等. 初花期冷害对绿豆叶片生理的损伤及烯效唑的缓解效应[J]. 西北农业学报, 2023, 32(10): 1566-1578.
- [ 21 ] 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.
- [ 22 ] 马艳华. 烯效唑对黑麦草抗旱生理特性影响的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [ 23 ] 项洪涛, 李 琬, 郑殿峰, 等. 幼苗期淹水胁迫及喷施烯效唑对小豆生理和产量的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(3): 494-506.
- [ 24 ] 李丛锋, 贾春兰, 陶志强, 等. 拔节期淹水对不同株高夏玉米产量、形态特征及物质生产的影响[J]. 玉米科学, 2019, 27(6): 62-67.
- [ 25 ] 陈 剑, 薛仁凤, 赵 阳, 等. 氨基酸水溶肥与植物生长素组培对小豆生长的影响[J]. 东北农业科学, 2023, 48(3): 15-21, 137.

(责任编辑: 范杰英)