

添加水杨酸对干旱胁迫下3种豆科植物的影响

侯董亮¹, 陈卫权², 钟方玖¹, 汪伟¹, 熊波¹, 彭嘉¹, 宋鑫³

(1. 宜春市科学院, 江西 宜春 336000; 2. 宜春市林业局, 江西 宜春 336000;

3. 宜春学院生命科学与资源环境学院, 江西 宜春 336000)

摘要: 研究3种豆科植物在不同浓度模拟干旱胁迫下的生理响应。以紫云英 (*Astragalus sinicus* L.) 紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 白三叶 (*Trifolium repens* L.) 为材料, 将材料分为2组, 一组为无水杨酸处理组, 另一组用0.5 mmol·L⁻¹水杨酸 (salicylic acid, SA) 处理。用聚乙二醇 (polyethylene glycol, PEG) 浓度 (0、10%) 模拟干旱对3种豆科植物幼苗进行处理。研究发现, 随着PEG浓度的增加, 3种豆科植物幼苗的鲜重均有所下降, 但干重的变化因植物种类而异。水杨酸处理对提高紫花苜蓿和白三叶的干重有积极作用, 但对紫云英的干重有轻微的负面影响。叶绿素含量在干旱胁迫下呈现上升趋势, 但水杨酸处理下有所下降。

关键词: 干旱胁迫; 豆科植物; 水杨酸; 干鲜重; 酶活性; 可溶性糖

中图分类号: X173

文献标识码: A

文章编号: 2096-2177 (2025) 01-021-08

随着全球气候的变暖和干旱现象的加剧, 干旱已成为影响农业生产和生态环境的重要因素之一。干旱严重制约植物种子萌发和幼苗生长, 影响植物正常的生理代谢, 甚至可导致植物死亡^[1]。同时干旱也给粮食作物安全、生态环境安全和种质资源安全带来威胁^[2]。因此, 研究植物对干旱胁迫的生理响应及适应机制对于提高植物的抗旱能力, 保障粮食安全具有重要意义。近年, 随着我国农业产业结构调整, 豆科植物在生态环境治理方面发挥着重要作用。因此, 选择抗旱豆科植物, 对干旱、半干旱地区植物的栽培利用具有重要的现实意义。

干旱是影响植物生长和发育的主要非生物胁迫因素之一, 它可以通过多种途径对植物产生影响。干旱胁迫会影响农作物产量, 影响植物的生长, 从而会对人类的生活造成严重威胁。干旱胁迫对植物的影响主要体现在: ①生长和发育受限; ②改变植物形态结构, 影响光合作用效率, 以及渗透调节和活性氧代谢等生理过程; ③作物产量下降; ④激素信号通路激活; ⑤基因表达变化; ⑥微生物群落结构改变; ⑦改变植物物种多样性和生态系统的弹性特征; ⑧研究植物对干旱的响应机制有助于培育高产、抗旱性强的作物品种, 提高农业生产的稳定性

和可持续性^[3-5]。

豆科植物通过其独特的固氮能力和耐旱性, 对干旱地区的生态环境改善、农业生产可持续性和生物多样性保护等方面都具有重要的积极影响^[6]。紫云英 (*Astragalus sinicus* L.) 是一种一年生或越年生冷季草具有固氮能力。作为绿肥作物, 紫云英在翻耕入土后能够增加土壤有机质, 改善土壤结构, 提高土壤的保水和保肥能力^[7]。紫云英的种植有助于提高农田生态系统的生物多样性, 为天敌昆虫提供栖息地, 有助于自然害虫控制。紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 是一种多年生冷季草, 广泛用于饲料和绿肥。紫花苜蓿含有高蛋白和多种营养成分, 是优质的饲料作物。其根系发达, 有助于土壤固定和水分保持, 减少水土流失。紫花苜蓿可用于退化土地的生态修复, 通过其固氮作用和土壤改良特性, 促进植被恢复和生态系统重建。白三叶 (*Trifolium repens* L.) 又称白车轴草, 是一种多年生草本植物, 广泛用作草坪草和饲料作物^[8]。耐寒性和耐阴性较好, 适应性强, 与紫云英和紫花苜蓿一样, 白三叶也具有固氮能力, 能够提高土壤肥力, 减少化肥依赖。其密集的根系有助于减少雨水对土壤的侵蚀, 保护土壤表层。这3种植物的种植

收稿日期: 2024-11-14

基金项目: 宜春市农业科技计划项目—不同生草类型对橘园保水增肥效应的比较研究; 江西省教育厅科技项目 (GJJ2201747)

作者简介: 侯董亮 (1988-), 男, 汉族, 山东潍坊人, 农艺师, 硕士研究生, 研究方向: 果树遗传育种及栽培技术研究。

和利用,不仅能够提升土壤质量和农业产出,还能促进生态平衡和环境可持续性。通过它们的固氮作用、土壤改良和生物多样性保护,可以有效地改良农业生态环境,实现农业生产与环境保护的双赢。

水杨酸(salicylic acid, SA)作为一种植物生长调节剂参与到植物的生长发育中,在植物遭受逆境胁迫时,水杨酸承担着防御反应中的重要免疫信号分子的角色^[9],膜脂过氧化是造成水分胁迫下细胞膜系统受损伤的主要因素,植物通过增加细胞内保护酶的含量或提高其活性,在一定范围内调节活性氧代谢,维持膜系统的稳定。周琪等用 $0.11 \sim 0.15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的SA浇灌豌豆和番茄幼苗,发现除提高植株的抗冷热性外,还增强植株对干旱的抵抗能力^[10]。SA与植物的各种抵御胁迫的关系一直是研究的热点,已经明确的是,SA可作为植物抗病反应所需的信号分子激活植物防御保护机制,在植物信号传导和抗逆反应中起着关键作用^[11]。目前对豆科植物抗旱性的研究主要集中于干旱这一单因素对其的影响,对施加外源水杨酸缓解干旱胁迫对其的影响还较少。因此,本研究选用紫云英、紫花苜蓿、白三叶作为试验材料,通过模拟干旱胁迫同时施加水杨酸研究其对干旱的缓解作用,以期为今后研究豆科植物抗旱机理提供经验参考。

近年,国内外学者对干旱胁迫对植物及其耐旱机理取得了重要进展。郝俊峰利用不同渗透势的PEG模拟不同干旱程度,对15个苜蓿品种在不同干旱程度中的萌发情况进行了研究,结果显示,15%的PEG溶液对15个苜蓿品种的发芽率、发芽势和发芽指数等指标均有抑制作用。刘佳^[12]在2012年对15份紫云英种子材料的萌发试验结果显示,低浓度的PEG胁迫对部分紫云英(*Astragalus sinicus* L.)的种子萌发有促进作用。王伟英等^[13]以不同浓度的水杨酸溶液对水仙叶片进行喷雾处理,发现不同浓度的水杨酸均能起到矮化植株和提高叶、根及花瓣中超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)的活力,降低过氧化物酶(POD)的活性和丙二醛(MDA)含量,质膜透性(PMP)降低,花期有不同程度的延长。本研究将PEG-6000固体试剂分别配制成2个浓度梯度,用不同浓度梯度PEG溶液处理同时喷施外源水杨酸,每次约5 mL,以期模拟SA对于在不同干旱程度的土壤中生长的3种豆科植物幼苗生

理响应。讨论外源SA喷施对不同干旱程度下的3种豆科植物的生长以及生理状况的影响,有助于了解豆科植物在干旱条件下的适应性变化,可以为抗旱豆科植物品种的选育提供理论依据和分子标记,为干旱地区土壤结构改良,豆科植物耐旱抗逆种植的外源水杨酸施用提供理论依据和参考。提高作物在干旱条件下的生产效率,减少由于干旱造成的经济损失。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究计划于2022年、2023年分别在江西省宜春学院的“江西省植物生长发育调控研究”重点实验室开展。紫云英、苜蓿和白三叶的种子是从陕西宿城区迁春奇园公司购入,在低温 -20°C 的冰箱中进行干燥处理。实验选用的是国产PEG。

1.2 试验设计

在一个装有蛭石的花盆里,均匀地撒上饱满的紫云英、紫花苜蓿和白三叶种子,每个花盆里放置15粒种子。用喷壶将种子及蛭石表面喷湿并覆盖保鲜膜以保持湿度,将处理后的花盆置于光照培养箱(设置为黑暗, 23°C 恒温)。试验开始后第4 d大部分种子发芽后将培养箱培养条件按照自然生长环境设置为白天 25°C ,光照16 h,夜晚 20°C ,黑暗8 h。种子发芽后用 $1/2$ Hoagland营养液培养材料30 d后,进行胁迫处理。对照组正常浇灌 $1/2$ Hoagland营养液,处理组浇灌的PEG浓度分别为 $0, 0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,每处理设置3次重复,每2 d浇灌不同浓度PEG,每盆浇灌50 mL,外源水杨酸每3 d喷施一次,每次约5 mL,处理30 d后收获测定相关指标。

1.3 数据测定

1.3.1 生长指标的测定

从每个试验盆中随机选择了生长状态相似、生长均匀的3~5株幼苗,并使用直尺(0.1 cm)来测定这些幼苗的根部长度和整体高度。用天平分别称取地上部和根鲜重,在 105°C 下杀青,然后放入 80°C 的烘箱中烘干至恒重,再称量干重。

1.3.2 生理指标测定

生理指标包括:过氧化氢酶(Catalase, CAT)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)、超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、可溶性

糖 (Soluble Sugar)。为了测定抗氧化酶活性,从紫云英、紫花苜蓿和白三叶幼苗的地上部分取得了上述指标的样品。从每一盆试验植物中准确地称取了0.1 g的叶片,并将其放入预先冷冻的研钵中。接着,在冰水浴的条件下,加入900 μ L磷酸缓冲液进行充分研磨,制成10%的植物组织匀浆。最后,将其放入离心机中,每分钟离心4 000 r,持续10 min,以获取用于抗氧化酶活性测定的上清液。具体测定方法严格按照试剂盒说明书进行操作,所用试剂盒购自南京建成生物研究所。叶绿素含量采用乙醇提取比色法测定。

1.3.3 数据分析

用Excel制图,SPSS 24软件(SPSS Inc., USA)对数据进行单因素方差分析(ANOVA)和相关性分析,用Duncan's检验法多重比较并进行差异显著性分析($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 水杨酸对干旱胁迫下3种豆科植物生长的影响

2.1.1 不同干旱胁迫对3种豆科植物幼苗鲜重的影响

3种豆科植物幼苗在不同浓度PEG胁迫下表现不同。随着PEG浓度的逐渐升高,各豆科植物幼苗鲜重较CK相比均有不同程度的降低,但3种豆科植物幼苗鲜重与对照相比均未达到显著水平($P > 0.05$)。紫云英幼苗的鲜重有轻微的下降低趋势,在10%PEG浓度处理下的水杨酸组降至最低仅为0.67 g,较CK下降0.91 g。紫花苜蓿幼苗的鲜重有明显的下降趋势,在10%PEG浓度处理下的无水杨酸组降至最低为0.54 g,水杨酸处理组的鲜重则增加至1.16 g。白三叶幼苗的下降趋势较CK下降较为缓和,在10%PEG浓度处理下的无水杨酸组降至最低为1.44 g,水杨酸处理组的鲜重增加了0.1 g(见图1)。

2.1.2 不同干旱胁迫对3种豆科植物幼苗干重的影响

在10% PGE浓度处理下,3种豆科植物幼苗干重较CK有不同变化,紫云英和白三叶幼苗分别高出0.07 g和0.02 g(见图2)。在10% PEG浓度处理下,紫花苜蓿幼苗干重较CK呈下降趋势,减少了0.06 g。10% PEG浓度水杨酸处理组的紫花苜蓿和白三叶幼苗的干重较无水杨酸处理组分别增加了0.09 g和0.04 g,紫云英则减少了0.12 g。由此说明:10% PEG浓度胁迫下,可增加紫云英和白三叶幼苗的干重,并降低紫花苜蓿的干重,水杨酸处理对10%

PEG浓度下的3种豆科植物幼苗的干重会产生不同程度的影响,但3种豆科植物幼苗干重与对照相比均未达到显著水平($P > 0.05$)。

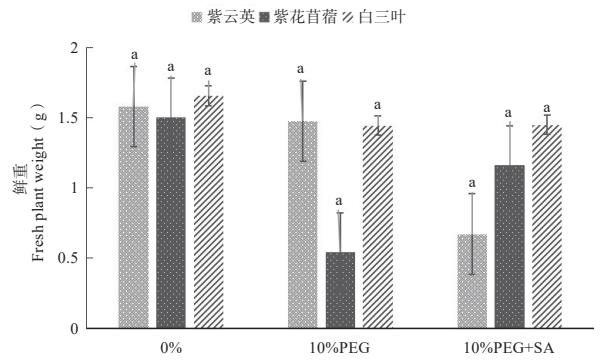


图1 不同浓度PEG处理对3种豆科植物幼苗鲜重的影响
Fig.1 Effects of different concentrations of PEG treatment on fresh weight of three legume seedlings

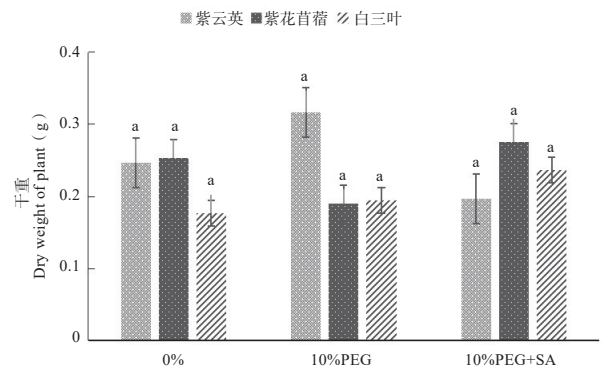


图2 不同浓度PEG处理对3种豆科植物幼苗干重的影响
Fig.2 Effects of PEG treatment at different concentrations on the dry weight of three legume seedlings

2.1.3 不同干旱胁迫对3种豆科植物幼苗叶绿素含量的影响

由图3可知,10%浓度PEG处理的紫云英和紫花苜蓿幼苗叶绿素含量与对照组相比有所增加,白三叶幼苗则略微降低,但3种豆科植物幼苗叶绿素含量与对照相比均未达到显著水平。水杨酸处理下10%浓度PEG的3种豆科植物幼苗的叶绿素含量均低于无水杨酸处理组,紫云英与无水杨酸组相比呈现显著差异,紫花苜蓿和白三叶则无显著差异,表明水杨酸对干旱处理下的紫云英叶绿素含量有明显的抑制作用。

2.1.4 不同干旱胁迫对3种豆科植物幼苗可溶性糖含量的影响

在PEG处理浓度为10%时,紫云英幼苗的可溶性糖含量呈现上升趋势,紫花苜蓿和白三叶幼苗的可

溶性糖含量呈现上升后下降再上升的趋势(见图4)。当10%浓度PEG添加水杨酸处理后,紫云英和白三叶幼苗的可溶性糖含量呈上升趋势;与无水杨酸处理组相比分别上升了 $0.07 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $0.05 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 紫花苜蓿则下降了 $0.01 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。3种豆科植物幼苗干重与对照相比均未达到显著水平($P>0.05$)。

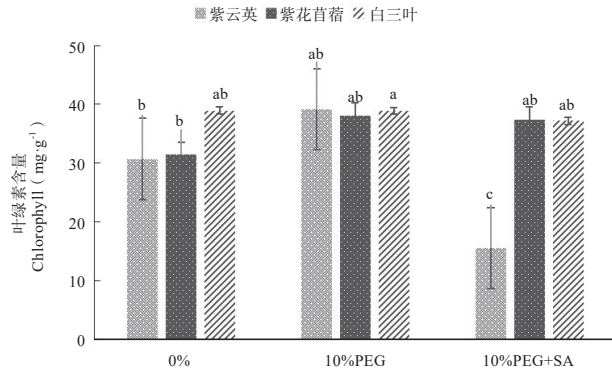


图3 不同浓度PEG处理对3种豆科植物幼苗叶绿素含量的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of PEG treatment on chlorophyll content of three legume seedlings

注:不同小写字母表示不同 AlCl_3 浓度处理间差异显著($P<0.05$) (下同)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments with different AlCl_3 concentrations ($P<0.05$) (the same below)

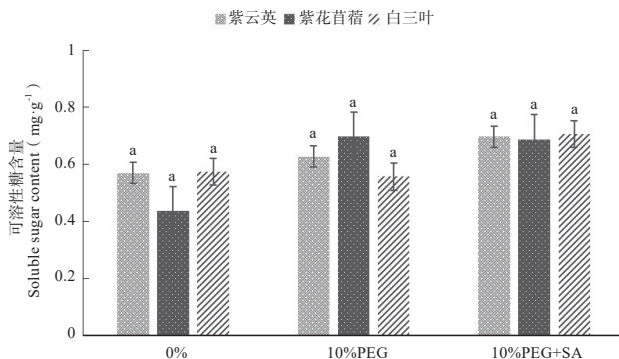


图4 不同浓度PEG处理对3种豆科植物幼苗可溶性糖含量的影响

Fig.4 Effects of different concentrations of PEG treatment on soluble sugar content of three legume seedlings

2.1.5 不同干旱胁迫对3种豆科植物幼苗抗氧化酶活性的影响

随着PEG处理浓度的升高,3种豆科植物幼苗SOD活性较CK有不同变化,紫云英幼苗和紫花苜

蓿幼苗CAT活性呈现上升趋势,白三叶幼苗CAT活性呈现下降趋势(见图5)。水杨酸处理组10%浓度PEG对比无水杨酸处理组,紫云英和白三叶均未表现出显著差异CAT活性分别增加了 $0.18 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, $0.2 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,紫花苜蓿的CAT活性相比受到显著抑制降低了 $0.4 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ($P<0.05$)。

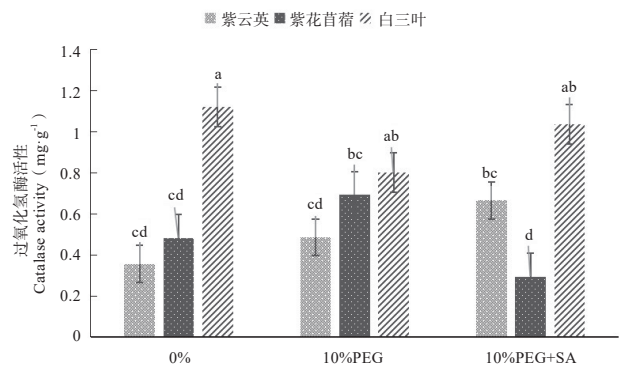


图5 不同浓度PEG处理对3种豆科植物幼苗CAT活性的影响

Fig.5 Effects of different concentrations of PEG treatment on CAT activity of three legume seedlings

在PEG处理浓度为10%,3种豆科植物幼苗SOD活性较CK有不同变化,紫云英、紫花苜蓿幼苗SOD活性呈现上升趋势,白三叶幼苗SOD活性呈现下降趋势(见图6)。水杨酸处理组10%浓度PEG对比无水杨酸处理组,3种豆科植物SOD活性均未表现出显著差异($P<0.05$),紫云英和白三叶的SOD活性分别增长了 $0.003 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $0.04 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 紫花苜蓿则下降了 $0.03 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ($P<0.05$)。

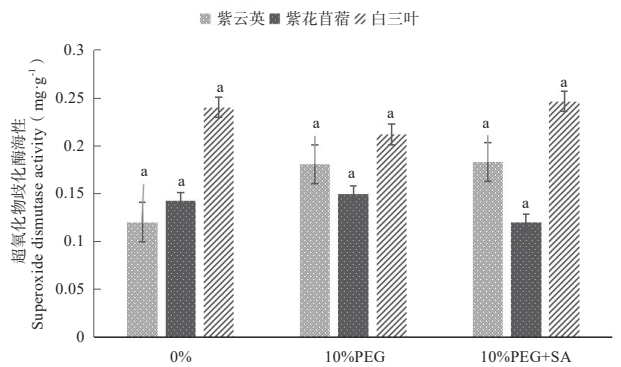


图6 不同浓度PEG处理对3种豆科植物幼苗SOD活性的影响

Fig.6 Effects of different concentrations of PEG treatment on SOD activity of three legume seedlings

在PEG处理浓度为10%,3种豆科植物幼苗POD活性较CK均有所上升,分别增加了 $0.12 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, $0.06 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, $0.24 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (见图7)。水杨酸处理组

10%浓度PEG对比无水杨酸处理组, 3种豆科植物POD活性均未表现出显著差异 ($P < 0.05$), 紫云英和白三叶的SOD活性分别增长了 $0.07 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $0.04 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 紫花苜蓿则下降了 $0.06 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ($P < 0.05$)。

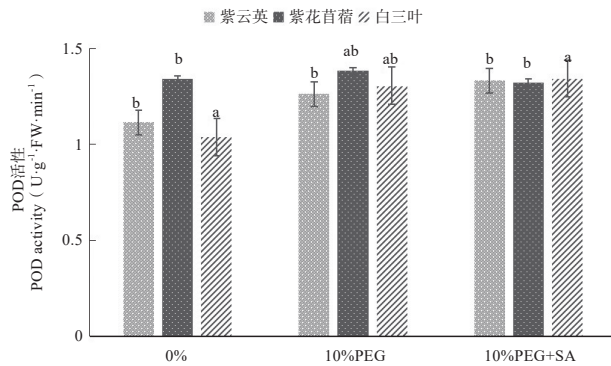


图7 不同浓度PEG处理对3种豆科植物幼苗POD活性的影响
Fig. 7 Effects of PEG treatment at different concentrations on POD activity of three legume seedlings

3 讨论

干旱对植物有非常广泛而深刻的影响和危害, 干旱胁迫会导致植物的渗透势改变、细胞膜被破坏、色素含量减少、光合系统受影响、生长受到抑制、产量降低甚至死亡等^[14]。

3.1 水杨酸对不同浓度干旱胁迫下3种豆科植物幼苗生长指标的影响

干旱作为影响植物正常生长的重要非生物胁迫因素之一, 近年逐渐成为研究热点。本研究发现, 10%PEG处理后: 从鲜重来看, 3种豆科植物幼苗的鲜重有轻微抑制效应。从干重来看, 紫花苜蓿幼苗的干重有所减少, 紫云英和白三叶幼苗的鲜重则有所增加。产生这种现象的原因可能是紫花苜蓿的叶片解剖结构对干旱胁迫较敏感, 王江银等^[15]在干旱胁迫下紫花苜蓿和黄花苜蓿实生苗叶片形态及解剖结构变化的研究说明了这一点。喷施 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SA后, 紫云英幼苗的干鲜重继续下降, 提升了紫花苜蓿和白三叶幼苗的干鲜重, 但不显著。原因可能是水杨酸直接喷施于地上部的叶表, 对其地上部的生长发挥了保护作用, 这与吴子龙等^[16]在外源水杨酸对PEG胁迫下谷子发芽及幼苗生长的影响研究结果基本一致。从叶绿素含量来看, 3种豆科植物幼苗的叶绿素含量在受到干旱胁迫后随PEG浓度的增加呈上升趋势。表明轻微的干旱胁迫

有利于种子萌发和幼苗生长, 此现象基本与倪霞等^[17]的研究结果相印证。叶绿素在光合作用的光能吸收、传递和转化中发挥着不可或缺的重要作用, 叶绿素含量的变化反映了植物在干旱胁迫下的抵抗能力^[18]。喷施 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SA后, 3种豆科植物幼苗的叶绿素含量均呈现下降趋势, 紫云英显著降低, 表明外源水杨酸的施用会降低3种豆科植物应对非生物胁迫的抵抗能力。

3.2 水杨酸对不同浓度干旱胁迫下3种豆科植物幼苗可溶性糖含量的影响

渗透调节对3种豆科植物的抗旱性具有重要的作用可溶性总糖是植物在逆境中渗透调节的重要物质植物通过可溶性总糖的积累可维持植物细胞渗透平衡提高植物抗逆性^[19]。本研究对3种豆科植物在干旱胁迫下的叶片可溶性总糖含量进行了系统分析研究, 3种豆科植物叶片可溶性总糖含量均呈现上升的趋势可能是由于植物通过可溶性总糖的积累对自身进行调节以抵御水分缺失对植物细胞造成的伤害。喷施 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SA后, 3种豆科植物叶片可溶性总糖含量均继续呈现上升的趋势, 表明水杨酸可提高干旱胁迫下3种豆科植物幼苗渗透调节物质的含量但差异不显著。

3.3 水杨酸对不同浓度干旱胁迫下3种豆科植物幼苗抗氧化酶活性的影响

抗氧化酶是细胞对抗活性氧伤害的重要保护酶, 在植物抵御生物、非生物胁迫的防御系统中起着重要作用^[20]。3种豆科植物幼苗的SOD、CAT、POD活性随着干旱胁迫程度的增大逐渐增大说明3种豆科植物幼苗根系在干旱胁迫下通过增加SOD活性来增强抗逆能力以抵御外界非生物胁迫对其造成的伤害。喷施 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SA后, 紫云英和白三叶的SOD、CAT、POD活性增加, 紫花苜蓿的SOD、POD活性降低, 差异性都不显著, 但紫花苜蓿的CAT活性表现出显著降低。推测是由于喷施水杨酸能够缓解外界干旱胁迫, 豆科植物幼苗无需更多的抗氧化酶来应对胁迫, 故SOD、CAT、POD均未表现出显著变化。同时, 陶宗娅等^[21]研究发现, 外源SA能提高干旱胁迫下小麦幼苗叶片中SOD, POD和CAT的活性。此外, 干旱胁迫往往造成活性氧的过量积累, 对植物造成氧化损伤^[22]。虽然水杨酸能够提高某些抗氧化酶的活性, 如过氧化氢酶(CAT)^[23], 但在干旱胁迫下, 这种调节可能不足以完全抵消活

性氧的过量积累和氧化损伤,导致整体抗氧化能力下降。因此,外源施用水杨酸在一定程度上可能会降低干旱胁迫下紫花苜蓿的抗氧化酶活性,这是由于水杨酸在调节抗氧化酶活性方面的复杂作用以及干旱胁迫下活性氧积累的影响。

4 结论

本试验揭示了紫云英、紫花苜蓿和白三叶在干燥条件下的生理响应,并对水杨酸在这些响应中的调节功能进行了详细的评估。研究结果揭示,3种豆科植物幼苗在干旱压力下的生长表现受到了明显的影响,但水杨酸的使用在某种程度上有助于减轻这些不良影响。更具体地说,水杨酸的处理可以增加紫花苜蓿和白三叶的干重,但对紫云英的干重产生了轻微的负面效果。另外,水杨酸对植物的叶绿素含量具有抑制效果,但同时也能增加可溶性糖的含量和抗氧化酶的活性,揭示了它在植物抗旱能力中所扮演的复杂角色。研究表明,水杨酸在增强植物的抗旱能力上具有巨大的潜在价值,为干旱地带的豆科植物种植与管理提供了坚实的科学支撑。在未来研究中,可以更深入地研究水杨酸在各种干旱环境下对豆科植物产生的长期效应,以及它在植物逆境抗性中的分子作用机制。

参考文献

- [1] 拉本,胡娟,张旭萍. 干旱胁迫对植物生理的影响以及分子机制的响应研究进展[J]. 青海草业, 2022, 31(4): 31-35.
LA Ben, HU Juan, ZHANG Xuping. Research progress on effects of drought stress on plant physiology and molecular responses[J]. Qinghai Pratacultural Industry, 2022, 31(4): 31-35.
- [2] 邓雅楠,严俊鑫,杨慧颖,等. 草本园林植物抗旱性研究进展[J]. 种子, 2017, 36(5): 51-54, 57.
DENG Ya Nan, YAN Junxin, YANG Huiying, et al. Research progress on drought resistance of herbaceous garden plants[J]. Seed, 2017, 36(5): 51-54, 57.
- [3] 任洪雷,朱筱,张丰屹,等. 干旱胁迫的影响及抗旱性研究进展[J/OL]. 分子植物育种: 1-10[2024-05-03].
REN Honglei, ZHU Xiao, ZHANG Fengyi, et al. Effect of Drought Stress and Research Progress of Drought Resistance [J/OL]. Molecular Plant Breeding: 1-10[2024-05-03].
- [4] 朱珊珊. 干旱胁迫下黄腐酸调控燕麦光合能力与抗旱增产机制[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023.
ZHU Shanshan. Regulation of photosynthetic capacity of Oat by fulvic acid under drought stress and mechanism of drought resistance and yield increase[D]. Huhehaote: Inner Mongolia Agricultural University, 2023.
- [5] 梁青兰,韩友吉,乔艳辉,等. 干旱胁迫对黑杨派无性系生长及生理特性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2023, 45(10): 81-89.
LIANG Qinglan, HAN Youji, QIAO Yanhui, et al. Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of black poplar clones[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2023, 45(10): 81-89.
- [6] 陆保福,康文娟,师尚礼,等. 豆科植物-根瘤菌固氮系统及其碳氮互作[J]. 中国草地学报, 2023, 45(11): 119-135, 144.
LU Baofu, KANG Wenjuan, SHI Shangli, et al. Nitrogen fixation systems of legumes and rhizobia and their carbon and nitrogen interactions[J]. Chinese Journal of Grassland Science, 2019, 45(11): 119-135, 144.
- [7] 谢志坚,周春火,贺亚琴,等. 21世纪我国稻区种植紫云英的研究现状及展望[J]. 草业学报, 2018, 27(8): 185.
XIE Zhijian, ZHOU Chunhui, HE Yaqin, et al. Research status and prospect of purple Yunying planting in rice area of China in the 21st century[J]. Journal of Pratacultural Science, 2018, 27(8): 185-196.
- [8] 赵桂琴,王锁民,任继周. 白三叶转基因及其生态适应性研究进展[J]. 生态学报, 2004(3): 592-598.
ZHAO Guiqin, WANG Suomin, REN Jizhou. Research progress of transgenic white trifolium and its ecological adaptability[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004(3): 592-598.
- [9] 闫瑞阳. 外源褪黑素和水杨酸对干旱胁迫下木槿生长及光合生理特性的调控作用[D]. 泰安: 山东农业大学, 2024.
YAN Ruiyang. Regulation of exogenous melatonin and salicylic acid on growth and photosynthetic physiological characteristics of Hibiscus hibiscus under drought stress[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2024.
- [10] 周琪,李倩楠,唐清华. 水杨酸对植物生理的作用以及在农业生产上的应用[J]. 安徽农学通报, 2008(14): 149-150.
ZHOU Qi, LI Qianan, TANG Qinghua. The Role of Salicylic Acid in Plant Physiology and Its Applications in Agricultural Production[J]. Anhui Agricultural Bulletin, 2008(14): 149-150.

- [11] 伍琳, 王静. 水杨酸诱导植物抗逆的研究进展[J]. 阴山学刊 (自然科学), 2012, 26 (4): 44-47.
WU Lin, WANG Jing. Research progress on stress resistance induced by salicylic acid in plants[J]. Yinshan Journal of Natural Sciences, 2012, 26 (4): 44-47.
- [12] 刘佳, 徐昌旭, 曹卫东, 等. PEG胁迫下15份紫云英种质材料萌发期的抗旱性鉴定[J]. 中国草地学报, 2012, 34 (6): 18-25.
LIU Jia, XU Changxu, CAO Weidong, et al. Drought resistance identification of 15 germplasm materials under PEG stress at germination stage[J]. Acta Grassland Sinica, 2012, 34 (6): 18-25.
- [13] 王伟英, 林江波, 邹晖, 等. 水杨酸处理对水仙株型及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25 (14): 157-160.
WANG Weiying, LIN Jiangbo, ZOU Hui, et al. Effects of salicylic acid treatment on plant types and antioxidant enzyme activities of Narcissus[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25 (14): 157-160.
- [14] 刘辉. 野生一粒小麦 (*Triticum boeoticum* L.) 叶片和根干旱响应蛋白质组研究[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2016.
LIU Hui. Proteome study on drought response in leaves and roots of wild wheat (*Triticum boeoticum* L.) [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2016.
- [15] 王江银, 徐婉宁, 苏洋, 等. 干旱胁迫下紫花苜蓿和黄花苜蓿实生苗叶片形态及解剖结构变化[J]. 华北农学报, 2023, 38 (S1): 228-236.
WANG Jiangyin, XU Wanning, SU Yang, et al. Changes of leaf morphology and anatomical structure of alfalfa and alfalfa seedlings under drought stress[J]. Journal of North China Agricultural Science, 2019, 38 (S1): 228-236.
- [16] 吴子龙, 张晨, 刘天艺, 等. 外源水杨酸对PEG胁迫下谷子发芽及幼苗生长的影响[J]. 饲料研究, 2024, 47 (6): 115-119.
WU Zilong, ZHANG Chen, LIU Tianyi, et al. Effects of exogenous salicylic acid on germination and seedling growth of millet under PEG stress[J]. Feed Research, 2019, 47 (6): 115-119.
- [17] 倪霞, 周本智, 曹永慧, 等. 干旱胁迫对植物光合生理影响研究进展[J]. 江苏林业科技, 2017, 44 (2): 34-39, 52.
NI Xia, ZHOU Benzhi, CAO Yonghui, et al. Research progress on effects of drought stress on plant photosynthetic physiology[J]. Jiangsu Forestry Science and Technology, 2017, 44 (2): 34-39, 52.
- [18] 陆新华, 叶春海, 孙光明. 干旱胁迫下菠萝苗期叶绿素含量变化研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (8): 3 972-3 973, 3 976.
LU Xinhua, YE Chunhai, SUN Guangming. Changes of chlorophyll content in pineapple seedlings under drought stress[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38 (8): 3 972-3 973, 3 976.
- [19] 孙涌栋, 刘遵春, 齐安国, 等. 黄瓜幼苗根系对水分胁迫的生理反应[J]. 西北农业学报, 2008 (6): 136-139.
SUN Yongdong, LIU Zunchun, QI Anguo, et al. Physiological response of cucumber seedling root to water stress[J]. Acta Agriculturae Sinica of Northwest China, 2008 (6): 136-139.
- [20] 袁有波, 李继新, 丁福章, 等. 不同干旱胁迫对烟草叶片保护酶活性的影响[J]. 中国烟草科学, 2009, 30 (5): 10-13.
YUAN Youbo, LI Jixin, DING Fuzhang, et al. Effects of different drought stress on protective enzyme activities of tobacco leaves[J]. China Tobacco Science, 2009, 30 (5): 10-13.
- [21] 陶宗娅, 程水源. 水杨酸在小麦幼苗渗透胁迫中的作用[J]. 西北植物学报, 1999 (2): 296-302.
TAO Zongya, CHENG Shuiyuan. Effects of salicylic acid on osmotic stress in wheat seedlings[J]. Acta Botanica Sinica of Northwest China, 1999 (2): 296-302.
- [22] 马乐元, 陈年来, 韩国君, 等. 外源水杨酸对干旱胁迫下小冠花叶片活性氧水平及抗氧化系统的影响[J]. 草业学报, 2017, 26 (10): 129-139.
MA Leyuan, CHEN Lai, HAN Guojun, et al. Effects of exogenous salicylic acid on reactive oxygen species and antioxidant system in leaves of *Coronilla microflora* under drought stress[J]. Journal of Pratacultural Science, 2017, 26 (10): 129-139.
- [23] 王伟英, 林江波, 邹晖, 等. 水杨酸处理对水仙株型及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25 (14): 157-160.
WANG Weiying, LIN Jiangbo, ZOU Hui, et al. Effects of salicylic acid treatment on plant types and antioxidant enzyme activities of Narcissus[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25 (14): 157-160.

The Effect of Adding Salicylic Acid on Three Leguminous Plants under Drought Stress

HOU Dongliang¹, CHEN Weiquan², ZHONG Fangjiu¹, WANG Wei¹, XIONG Bo¹,
PENG Jia¹, SONG Xin³

(1. Yichun Academy of Sciences, Yichun Jiangxi 336000, China;

2. Yichun Forestry Bureau, Yichun Jiangxi 336000, China;

3. College of Life Sciences, Resources and Environment, Yichun University, Yichun Jiangxi 336000, China)

Abstract: The study investigates the physiological responses of three leguminous plants under simulated drought stress of different concentrations. Using *Astragalus sinicus* L., *Medicago sativa* L., and *Trifolium repens* L. as materials, the materials were divided into two groups: one group without salicylic acid treatment, and the other group treated with $0.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ salicylic acid (SA). Two concentrations of polyethylene glycol (PEG), 0% and 10%, were used to simulate drought stress on seedlings of the three leguminous plants. The study found that as the concentration of PEG increased, the fresh weight of seedlings of the three leguminous plants all decreased, but the change in dry weight varied among plant species. Salicylic acid treatment had a positive effect on improving the dry weight of *Medicago sativa* and *Trifolium repens*, but had a slight negative impact on the dry weight of *Astragalus sinicus*. The chlorophyll content showed an increasing trend under drought stress, but it decreased under salicylic acid treatment.

Keywords: drought stress, leguminous plants, salicylic acid, dry and fresh weight, enzyme activity, soluble sugars

Fund projects: Agricultural Science and Technology Project of Yichun City—Comparative Study on the Effect of Different Grass Types on Water Conservation and Fertilizer Increase in Orange Orchard; Science and Technology Project of Jiangxi Provincial Department of Education (GJJ2201747)

Correspondence author: HOU Dongliang (1988-) , male, Han nationality, from Weifang, agronomist, master's student, research direction: fruit genetics and breeding and cultivation technology research.