

外源水杨酸和萘乙酸对红芸豆幼苗抗旱生理的影响

马仲炼, 赵玉仙, 刘健君, 田虹, 马永翠* (昭通学院农学与生命科学学院, 云南昭通 657000)

摘要 以红芸豆(地豆王)为材料, 采用 15% 聚乙二醇(PEG)模拟干旱胁迫, 研究外源水杨酸(salicylic acid, SA, 100 mg/L)和萘乙酸(α -naphthaleneacetic acid, NAA, 0.015 mmol/L)对红芸豆幼苗抗旱性的影响。结果表明, 干旱条件下, 喷施外源 NAA、SA 处理均能有效减少叶片水分流失, 维持叶片相对含水量在较高水平, 在干旱胁迫 24 h 后, 叶片相对含水量仍高达 81.30%、77.00%。SA、NAA 处理可有效减缓 MDA 含量的积累, 与 CK 处理相比分别低 48.20%、49.12%; 24 h 内 NAA 较 CK 处理总叶绿素含量增加 40.63%, 在干旱胁迫 36 h 内 SA 可使红芸豆叶绿素 a 含量增加, 但 SA、NAA 会造成可溶性蛋白质含量的降低, 但总体而言, NAA、SA 处理能提高红芸豆幼苗的抗旱能力。

关键词 红芸豆; 水杨酸; 萘乙酸; 抗旱性

中图分类号 S643.1 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)24-0067-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.24.015



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Exogenous Salicylic Acid and Naphthalic Acid on Drought Resistance of Red Kidney Bean Seedlings

MA Zhong-lian, ZHAO Yu-xian, LIU Jian-jun et al (College of Agronomy and Life Sciences, Zhaotong University, Zhaotong, Yunnan 657000)

Abstract The effects of salicylic acid (SA, 100 mg/L) and α -Naphthaleneacetic acid (NAA, 0.015 mmol/L) on physiological characters of red kidney bean (land bean king) under drought stress of 15% polyethylene glycol (PEG) during bean seedlings were studied. The results showed that spraying exogenous NAA, SA under the drought conditions could effectively reduce the loss of leaf water and maintain the relative water content of the leaves at a high level. After 24 h of the drought stress, the relative water content of the leaves was still high, which was 81.30% and 77.00%. SA and NAA processing could effective reduce the accumulation of MDA contents, which was 48.20% and 49.12% lower than that processed by CK respectively. Within 24 h of the drought stress, NAA could increase the total chlorophyll content, which was 40.63% higher than that processed by CK respectively. Within 36 h of the drought stress, SA could increase the content of chlorophyll a, but SA and NAA would reduce the soluble protein content. In general, NAA and SA processing could improve the drought resistance ability of red kidney bean seedlings.

Key words Red kidney bean; Salicylic acid; Naphthalene acetic acid; Drought resistance

云南属热带、亚热带季风气候, 全年降水不均, 特别是春季干旱少雨, 蒸发旺盛, 日温变化大, 这使云南的蔬菜种植面临严峻考验, 其中红芸豆作为云南广泛种植的蔬菜同样受到干旱影响。近年来使用外源生长物质提高植物的抗旱性已成为热点, 其中水杨酸(salicylic acid, SA), 即邻羟基苯甲酸, 是一种脂溶性有机酸, 为白色结晶粉状物, 是植物体内产生的简单酚类化合物, 是一种新的植物内源激素, 对缓解植物遭受逆境胁迫具有重要作用, 目前在许多植物上运用并表现出良好的抗性。

SA 参与植物的多种生理生化过程, 能够诱导植物产生抗旱、抗盐碱等多种生理性状。研究显示, 干旱胁迫下 SA 处理显著提高了小麦根系和叶片细胞质膜透性、丙二醛(MDA)含量以及抗氧化酶活性^[1], 能降低干旱对黄瓜幼苗生长的伤害和水分利用能力的下降, 减小膜脂过氧化程度^[2], 增加番茄叶片相对叶绿素、可溶性蛋白和脯氨酸含量^[3], 通过研究烟草^[4]、玉米^[5]等植物种子耐旱性发现, SA 保持种子内抗坏血酸过氧化物酶(APX)等酶活性, 缓解活性氧的积累, 膜脂过氧化作用被抑制, 表现为 MDA 含量降低。SA 处理促进了渗透调节物质和脯氨酸的积累, 抑制蛋白质和 MDA 在蛋白质分子外联中的积累, 维持正常的细胞渗透压, 降低对细胞膜结构和功能的伤害, 提高种子萌发和幼苗生长过程中的抗

旱能力。萘乙酸(NAA)是较为常用的植物生长调节剂, 具有促进植物细胞分裂, 增强幼苗生活力、适应力, 增强光合作用, 加速生长发育^[6-8], 增强植物对不良环境的抵抗调节作用^[9], 研究表明, NAA 预处理能促进干旱下活性氧前期积累, 增强植物抗氧化能力, 减少干旱后期活性氧(ROS)水平, 以减轻干旱对细胞结构和代谢的干扰, 维持一个更高效的碳和氮代谢水平^[10], NAA 能降低或延缓细胞因超氧自由基和 MDA 造成的损伤, 提高植物抵抗力^[11]。而 NAA 以往多用于防止落花落果, 促进光合作用, 加速生长发育方面, 而将其用在缓解植物干旱胁迫上的研究还不够深入。

SA 和 NAA 在玉米、烟草、大豆、茄类、瓜类等作物上已经开展了相关方面的研究, 但在红芸豆上研究甚少, 因此, 笔者以红芸豆为材料, 采用 15% 聚乙二醇(PEG)模拟干旱胁迫, 研究喷施 SA 和 NAA 对红芸豆幼苗生理特性的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验选用红芸豆(地豆王)为材料(市场上购买获得)。

1.2 试验方法 设置 4 个处理: 正常, ZC 处理(蒸馏水); 对照, CK 处理(蒸馏水+15%PEG); S 处理(100 mg/L SA+15%PEG); N 处理(0.015 mmol/L NAA+15%PEG)。具体处理方法: 对 CK、S、N 处理分别加入 10 mL 15%PEG, ZC 处理加入 10 mL 蒸馏水, 12 h 后对 CK、S、N 处理分别叶面喷施等量蒸馏水, SA、NAA, ZC 处理喷施等量蒸馏水, 每个处理 4 个重复, 在干旱胁迫 12、24、36、48 h 对幼苗摘叶取样进行生理指

基金项目 云南省一流课程植物生理学线下课程项目。

作者简介 马仲炼(1988—), 男, 云南昭阳人, 讲师, 从事作物逆境栽培研究。* 通信作者, 教授, 从事作物病虫害生理研究。

收稿日期 2021-04-12

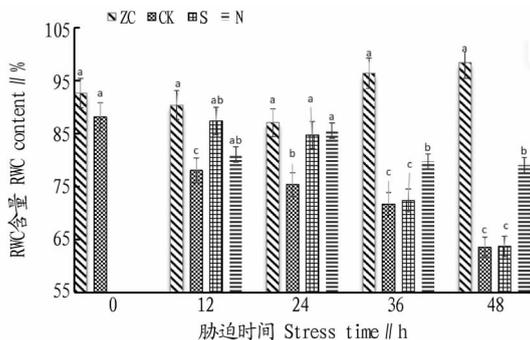
标测定。

1.3 测定项目与方法 采用鲜重法测定叶片相对含水量(RWC),采用乙醇提取法^[12]测定叶绿体色素提取液中叶绿素a、b及总叶绿素含量,采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法^[12]测定MDA含量,采用考马斯亮蓝G-250染色法^[13](Coomassie brilliant blue G-250)测定蛋白质含量。

1.4 数据统计 试验数据采用Microsoft Excel 2003进行整理,并用SPSS 17.0统计软件的邓肯新复极差法进行差异性分析。

2 结果与分析

2.1 NAA、SA 对干旱胁迫下红芸豆叶片相对含水量(RWC)的影响 由图1可知,随着干旱胁迫时间的延长,干旱处理组RWC持续下降,外源NAA、SA处理可以缓解干旱胁迫下红芸豆RWC下降程度。处理组第12 h后,N处理组RWC较CK处理高3.85%,且差异显著;S处理组RWC较CK处理高11.96%,且差异显著。处理组第24 h后,N处理组RWC较CK处理高13.47%,且差异显著,S处理组较CK处理高12.37%,且差异显著。处理组第36 h后,N处理组RWC较CK处理高11.16%,且差异显著;S处理组RWC较CK处理高0.92%,但差异不显著。处理组第48 h后,N处理组RWC较CK处理高24.41%,S处理组RWC与CK处理差异不显著。由此可知,NAA处理RWC在胁迫过程中呈较平稳变化趋势,且能保持良好的RWC。这说明干旱胁迫下NAA处理能缓解叶片水分流失,SA处理在干旱胁迫24 h前能有效缓解叶片水分流失,而在24 h后缓解能力下降。



注:不同小写字母表示不同处理间差异达显著水平($P<0.05$)

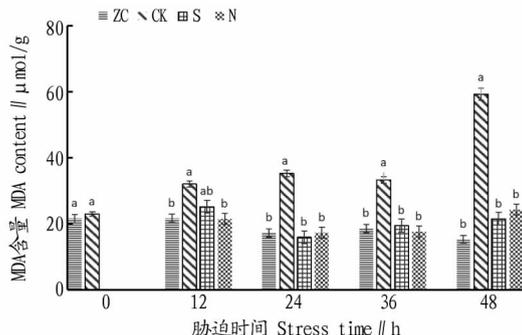
Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments at 0.05 level

图1 NAA、SA 对干旱胁迫下红芸豆叶片RWC的影响

Fig.1 Effects of NAA and SA on RWC in red kidney bean leaves under drought stress

2.2 NAA、SA 对干旱胁迫下红芸豆叶片丙二醛(MDA)含量的影响 由图2可知,随着胁迫时间的延长,在0~48 h CK处理组MDA含量呈升高趋势,在第48 h MDA含量达到最大。处理组第12 h后,N处理组MDA含量较CK处理低32.72%,且两者差异显著;S处理组MDA含量较CK处理低21.15%,但两者差异不显著。处理组第24 h后,N处理组MDA含量较CK处理低50.37%,且两者差异显著;S处理组MDA含量较CK处理低54.31%,且两者差异显著。处理组

第36 h后,N处理组MDA含量较CK处理低46.67%,且两者差异显著;S处理组MDA含量较CK处理低41.11%,且两者差异显著。处理组第48 h后,N处理组MDA含量较CK处理低58.69%,且两者差异显著;S处理组MDA含量较CK处理低63.25%,且差异显著。可见干旱胁迫下SA、NAA处理可以减缓红芸豆叶片MDA含量的积累,其中NAA缓解效果最好。



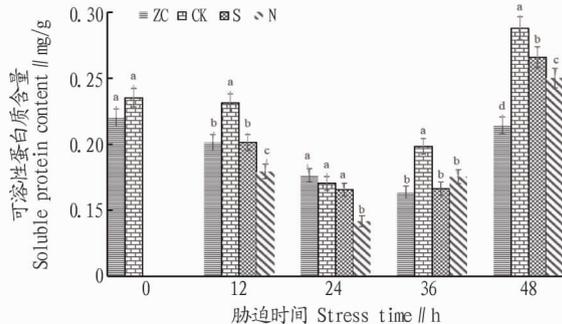
注:不同小写字母表示不同处理间差异达显著水平($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments at 0.05 level

图2 NAA、SA 对干旱胁迫下红芸豆叶片MDA含量的影响

Fig.2 Effects of NAA and SA on MDA content of red kidney bean leaves under drought stress

2.3 NAA、SA 对干旱胁迫下红芸豆叶片可溶性蛋白质含量的影响 由图3可知,S、N处理组在处理第12~24 h时可溶性蛋白质含量呈下降趋势,在第36 h后可溶性蛋白质含量呈上升趋势,CK处理组在各测定时间可溶性蛋白质含量均高于S、N处理组。在处理组第12 h,S处理组可溶性蛋白质含量较CK处理低12.93%,且差异显著;N处理组可溶性蛋白质含量较CK处理低22.41%,且差异显著。在处理组第24 h,S处理组可溶性蛋白质含量较CK处理低2.92%,但两者差异不显著;N处理组可溶性蛋白质含量较CK处理低16.96%,且差异显著。在处理组第36 h,S处理组可溶性蛋白质含量较CK处理低16.08%,且差异显著;N处理组可溶性蛋白质含量较CK处理低11.56%,且差异显著。在处理组第48 h,S处理组可溶性蛋白质含量较CK处理低7.62%,且差



注:不同小写字母表示不同处理间差异达显著水平($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments at 0.05 level

图3 NAA、SA 对干旱胁迫下红芸豆叶片可溶性蛋白质含量的影响

Fig.3 Effects of NAA and SA on soluble protein content of red kidney bean leaves under drought stress

异显著;N 处理组可溶性蛋白质含量较 CK 处理低 13.15%,且差异显著。由此可知,干旱胁迫下,SA、NAA 处理造成叶片可溶性蛋白质含量降低。

2.4 NAA、SA 对干旱胁迫下红芸豆叶片总叶绿素、叶绿素 a 和叶绿素 b 含量的影响 由表 1 可知,处理组第 12 h,S 处理组叶绿素 a 含量较 CK 处理高 4.78%,但差异不显著;N 处理组叶绿素 a 含量较 CK 处理高 25.84%,且差异显著。处理组第 24 h,S 处理组叶绿素 a 含量较 CK 处理低 16.27%,且差异显著;N 处理组叶绿素 a 含量与 CK 处理相比低 7.54%,但差异不显著。处理组第 36 h,S 处理组叶绿素 a 含量较 CK 处理高 16.03%,且差异显著;N 处理组叶绿素 a 含量较 CK 处理高 0.58%,但差异不显著。处理组第 48 h,S 处理组叶绿素 a 含量较 CK 处理低 36.17%,且差异显著;N 处理组叶绿素 a 含量较 CK 处理低 6.69%,但差异不显著。由此可知,在胁迫开始至 36 h,SA、NAA 可缓解红芸豆叶片叶绿素 a 含量的降低。36 h 后缓解能力下降。

处理组第 12 h,S 处理组叶绿素 b 含量较 CK 处理高 1.18%,但差异不显著;N 处理组叶绿素 b 含量较 CK 处理高 9.41%,且差异显著。处理组第 24 h,S 处理组叶绿素 b 含量较 CK 处理高 19.05%,且差异显著;N 处理组叶绿素 b 含量较 CK 处理高 233.33%,且差异显著。处理组第 36 h,S 处理组叶绿素 b 含量较 CK 处理低 42.86%,且差异显著;N 处理组叶绿素 b 含量较 CK 处理低 11.69%,差异显著。处理组第 48 h,S 处理组叶绿素 b 含量较 CK 处理高 67.06%;N 处理组叶绿素 b 含量与 CK 处理相比低 9.41%,差异显著。

表 1 NAA、SA 对干旱胁迫下红芸豆叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量的影响

Table 1 Effects of NAA and SA on chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents of red kidney bean leaves under drought

时间 Time h	处理 Treatment	叶绿素 a Chlorophyll a mg/g	叶绿素 b Chlorophyll b//mg/g	总叶绿素 Total chlo- rophyll//mg/g
12	ZC	2.19±0.14 b	0.79±0.55 c	2.99±0.19 b
	CK	2.09±0.61 b	0.85±0.01 bc	2.95±0.66 b
	S	2.19±0.04 b	0.86±0.02 b	3.05±0.57 b
	N	2.63±0.03 a	0.93±0.01 a	3.56±0.04 a
24	ZC	2.06±0.12 c	0.77±0.44 b	2.83±0.15 b
	CK	2.52±0.09 a	0.63±0.31 c	3.15±0.51 b
	S	2.11±0.18 bc	0.75±0.07 b	2.86±0.25 b
	N	2.33±0.35 ab	2.10±0.03 a	4.43±0.06 a
36	ZC	4.19±0.00 a	0.71±0.30 b	4.90±0.40 a
	CK	3.43±0.17 c	0.77±0.01 a	4.20±0.16 b
	S	3.98±0.28 b	0.44±0.08 c	4.43±0.21 b
	N	3.45±0.21 c	0.68±0.06 b	4.13±0.35 b
48	ZC	2.15±0.01 b	0.68±0.03 d	2.84±0.18 b
	CK	3.29±0.12 a	0.85±0.01 b	4.14±0.40 a
	S	2.10±0.20 b	1.42±0.46 a	3.52±0.63 a
	N	3.07±0.18 a	0.77±0.02 c	3.84±0.17 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level

处理组第 12 h,S 处理组总叶绿素含量较 CK 处理高 3.39%,但差异不显著;N 处理组总叶绿素含量较 CK 处理高 20.68%,且差异显著。处理组第 24 h,S 处理组总叶绿素含量较 CK 处理低 9.21%,但差异不显著;N 处理组总叶绿素含量

较 CK 处理高 40.63%,且差异显著。处理组第 36 h,S 处理组总叶绿素含量较 CK 处理高 5.48%,但差异不显著;N 处理组总叶绿素含量较 CK 处理低 1.67%,但差异不显著。处理组第 48 h,S 处理组总叶绿素含量较 CK 处理低 14.98%,但差异不显著;N 处理组总叶绿素含量与 CK 处理相比低 7.25%,但差异不显著。由此可知,在胁迫开始至 24 h NAA 处理可使红芸豆叶片总叶绿素含量增加。SA 处理 48 h 后效果减弱,总体上 NAA 处理前期效果较好。

3 结论与讨论

该试验研究喷施不同浓度外源 SA 与 NAA 在干旱胁迫下对红芸豆幼苗生理特性的影响。通过测定叶片相对含水量、MDA 含量、可溶性蛋白含量、叶绿素 a、b 及总叶绿素含量等指标来判定其对幼苗抗旱能力的影响。MDA 含量可反映植物细胞膜质过氧化程度,结果表明,干旱条件下喷施 SA、NAA 可减缓红芸豆叶片 MDA 积累量,在一定程度上降低细胞膜质过氧化,进而提高了红芸豆叶肉细胞抗旱性。

可溶性蛋白质是植物重要的渗透调节物质,植物可通过积累可溶性蛋白质来降低细胞渗透势,增强植物的保水能力,从而表现为可溶性蛋白质含量升高。而经 SA、NAA 处理的红芸豆可溶性蛋白质含量出现下降,这可能是因为在干旱条件下,SA、NAA 处理可能开始了以某些可溶性蛋白质为底物的防御途径,这与马仲炼等^[14]的研究结果一致。

叶绿素是植物进行光合作用、获取能量的重要物质,干旱胁迫下,植物体内的叶绿素分解加速,光合作用效率降低,在经过 SA 处理后,红芸豆叶绿素 a 和总叶绿素含量在 36 h 增加明显,NAA 处理在 24 h,红芸豆叶绿素 b 和总叶绿素含量增加显著,这可能是 SA、NAA 处理增强了叶片保水能力,降低了叶肉细胞活性氧水平,减轻了过氧化作用,缓解了叶绿素的分解。植物叶片相对含水量能充分反映植株水分状况,干旱条件下,相对含水量下降越少说明植株抗旱性越强,经过 SA、NAA 处理的叶片相对含水量能保持稳定水平,也进一步说明 SA、NAA 处理增强了叶片保水能力。

因此,该试验中红芸豆在干旱胁迫下,喷施 SA、NAA 可使叶片保水能力增强,减缓红芸豆 MDA 的积累量,对叶绿素 a、b 和总叶绿素的影响较大,会使叶片可溶性蛋白质含量的积累量降低,总体而言,SA、NAA 处理可增加红芸豆幼苗抗旱能力。

参考文献

- [1] 单长卷,赵新亮,汤菊香.水杨酸对干旱胁迫下小麦幼苗抗氧化特性的影响[J].麦类作物学报,2014,34(1):91-95.
- [2] 郝敬虹,易咏,尚茂庆,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.
- [3] 张冬野,赵婷婷,李景富,等.水杨酸和氯化钙对干旱胁迫下番茄幼苗生理特性的影响[J].浙江农业学报,2016,28(10):1687-1694.
- [4] 马文广,崔华威,李永平,等.不同药剂引发处理对干旱胁迫下烟草种子发芽和幼苗生长的影响[J].浙江农业学报,2012,24(6):949-956.
- [5] 石汝杰,胡廷章.水杨酸对渗透胁迫下玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J].种子,2008,27(10):46-48.
- [6] 丁益,王百年,韩效钊,等. α -萜乙酸的合成方法及应用前景[J].安徽化工,2004,30(3):17-18.
- [7] 曲亚英,郁继华,陶兴林,等.S₃₀₇和 IBA+NAA 浸种对低温胁迫下甜椒幼苗抗冷性的影响[J].甘肃农业大学学报,2006,41(4):52-55.

(下转第 74 页)

度下西瓜幼苗可溶性糖含量与对照相比差异不显著,高盐浓度下差异极显著,表明低盐胁迫下细胞内水分调节未被破坏。冯梅等^[27]研究盐胁迫处理红花幼苗,发现可溶性糖和可溶性蛋白含量与盐胁迫呈极显著正相关,说明随着 NaCl 浓度的增加,红花通过增加可溶性糖和可溶性蛋白含量来调节细胞汁液浓度、细胞水势,以提高其从外界获取水分的能力,从而降低对自身的伤害。

细胞膜在维持植物细胞的微环境和正常代谢中起着重要作用。在盐胁迫条件下,活性氧在植物细胞中积累,加剧膜脂过氧化,破坏细胞膜系统。膜脂过氧化可产生大量的 MDA,能参与细胞各种反应,MDA 含量高低能够反映植株受损程度的大小^[28]。在该研究中,随着盐浓度的增加,紫丹参幼苗中 MDA 含量显著增加,可溶性糖和可溶性蛋白含量也逐渐增加。说明紫丹参通过增加可溶性糖和可溶性蛋白来调节细胞水势平衡,减少盐胁迫带来的伤害,丙二醛含量的增加是由于高盐胁迫下,保护酶防御系统遭到破坏,使得细胞膜脂质过氧化程度加深。

3.5 盐胁迫对紫丹参次生代谢产物的影响 总丹参酮和总酚酸是紫丹参重要的 2 种有效成分。丹参酮作为脂溶性成分,随着盐胁迫的增加,总丹参酮呈先上升后下降的趋势,在高于 0.7%NaCl 浓度胁迫下,总丹参酮含量降低,表明一定的盐胁迫能够促进总丹参酮的产生,盐浓度过高时,可能对紫丹参产生严重的盐害现象,导致总丹参酮含量开始降低。丹参酮 II A、总酚酸、丹酚酸 B 的含量降低,可能是由于次生代谢过程中酶活性受到影响,使得有效成分的积累受到抑制^[29]。

4 结论

紫丹参是一种重要的临床用药,其含有的丹参酮类物质和丹酚酸类物质具有广泛的药理活性和临床应用前景。该试验通过不同浓度盐胁迫对丹参生长进行研究,发现随着 NaCl 浓度的增加,阻碍种子对水分的吸收,紫丹参种子的萌发率显著下降;在幼苗期,随盐浓度增加,紫丹参株高、叶面积均降低,高盐浓度下紫丹参叶片出现盐害病斑,甚至死亡。高盐浓度抑制了叶绿素合成相关酶活性,降低了叶绿素的合成速率,从而使光合效率降低,光合产物积累下降,有效成分的积累也受到抑制。综上所述,该试验可为以后丹参的栽培种植方面提供参考。

参考文献

- [1] TÜRKAN I, DEMIRAL T. Recent developments in understanding salinity tolerance[J]. Environmental and experimental botany, 2009, 67(1): 2-9.
- [2] 管小军,厉君,黄娜,等. HPLC 同时测定紫丹参药材中 8 种成分含量[J]. 中国中医药信息杂志, 2020, 27(9): 82-86.

(上接第 69 页)

- [8] 郑平生,金芳,燕丽萍. 几种外源激素对盐胁迫下草莓试管苗生长的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(3): 277-280.
- [9] 唐晓川,张元成,钟秀丽,等. 水杨酸和 α -萘乙酸浸种对冬小麦幼苗抗旱性的影响[J]. 中国农业气象, 2014, 35(2): 162-167.
- [10] 邢兴华. α -萘乙酸缓解大豆花期逐渐干旱胁迫的生理机制[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.

- [3] 赵斌,徐张俊,吴向崇,等. 3 种热带植物幼苗的耐盐性[J]. 森林与环境学报, 2020, 40(5): 519-525.
- [4] 王景瑞,王立,徐先英,等. 干旱荒漠区 4 种一年生植物种子萌发期耐盐性[J]. 草业科学, 2020, 37(2): 237-244.
- [5] 钟全林,程栋梁,胡松竹,等. 刨花楠和华东润楠叶绿素含量分异特征及与净光合速率的关系[J]. 应用生态学报, 2009, 20(2): 271-276.
- [6] 何丽斯,苏家乐,刘晓青,等. 模拟干旱胁迫对高山杜鹃光合生理特性的影响[J]. 苏州科技学院学报(自然科学版), 2011, 28(4): 62-66.
- [7] ENDO A, NELSON K M, THOMS K, et al. Functional characterization of xanthoxin dehydrogenase in rice[J]. Journal of plant physiology, 2014, 171(14): 1231-1240.
- [8] GOMES-FILHO E, LIMA C R F M, COSTA J H, et al. Cowpea ribonuclease: Properties and effect of NaCl-salinity on its activation during seed germination and seedling establishment[J]. Plant cell reports, 2008, 27(1): 147-157.
- [9] 李天永,严子柱,姜生秀. 两种独行菜种子萌发对不同浓度 NaCl 胁迫的响应[J]. 草地学报, 2021, 29(1): 88-94.
- [10] 黄勇,郭猛,张红瑞,等. 盐胁迫对石竹种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(12): 105-111.
- [11] 马学才,孙丽霞,方彦,等. NaCl 胁迫对白菜型冬油菜种子萌发的影响[J]. 甘肃农业科技, 2020(11): 30-36.
- [12] 张培青,张连云,王俊杰,等. 盐胁迫对 6 份玉米材料种子萌发的影响[J]. 耕作与栽培, 2020, 40(6): 45-47.
- [13] 梁晓婕,王亚军,李越鲲,等. 枸杞对盐碱胁迫响应机制的研究进展[J]. 宁夏农林科技, 2020, 61(8): 20-23.
- [14] 李锋,李木英,潘晓华,等. 不同水稻品种幼苗适应低磷胁迫的根系生理生化特性[J]. 中国水稻科学, 2004, 18(1): 48-52.
- [15] 周心智,张云贵. NaCl 胁迫对 5 种柑橘砧木生长及生理特性的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(11): 1-6.
- [16] 张润花,郭世荣,李娟. 盐胁迫对黄瓜根系活力、叶绿素含量的影响[J]. 长江蔬菜, 2006(2): 47-49.
- [17] ALI A, TUCKER T C, THOMPSON T L, et al. Effects of salinity and mixed ammonium and nitrate nutrition on the growth and nitrogen utilization of barley[J]. Journal of agronomy and crop science, 2001, 186(4): 223-228.
- [18] HAN L M, YU J N, JU W F. Salt and drought tolerance of transgenic *Salvia miltiorrhiza* Bunge with the *TaLEA1* gene[J]. Journal of plant physiology and molecular biology, 2007, 33(2): 109-114.
- [19] The Chief Executive Officers of Australia and the Chemistry Center of Western Australia. Farm note 71/99. Tolerance of plants to salty water[R]. Department of Agriculture and Food, 2005.
- [20] 李远航,贺康宁,张潭,等. 盐胁迫对黑果枸杞光合生理指标的影响[J]. 中国水土保持科学, 2019, 17(1): 82-88.
- [21] 王涛,蒙仲举,张佳鹏,等. NaCl 胁迫对紫穗槐幼苗生长及生理特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(1): 25-30.
- [22] 文章,耿贵,王宇光,等. 盐胁迫下耐盐甜菜生理及其蛋白差异表达分析[J]. 中国农学通报, 2020, 36(32): 8-16.
- [23] 石全梅. 药用丹参对盐胁迫的生理响应及外源 GA3 的缓解效应[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [24] 华智锐,李小玲. 外源硅对盐胁迫下黄芩幼苗生理生化特性的影响[J]. 江西农业学报, 2018, 30(3): 23-27.
- [25] 华智锐,李小玲. 外源钙对盐胁迫下黄芩幼苗的生理效应[J]. 江西农业学报, 2020, 32(1): 13-18.
- [26] 王中玉,逯韵,陈昆. NaCl 胁迫对西瓜幼苗叶绿素荧光、光合特性、渗透调节及酶活性的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(12): 1909-1912.
- [27] 冯梅,张世卿,曹亚军,等. 盐胁迫对红花种子萌发及幼苗的生理效应[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(22): 144-148.
- [28] 华智锐,李小玲. 盐胁迫下商洛丹参对外源钙的生理响应[J]. 江西农业学报, 2019, 31(2): 26-31.
- [29] 牛灵慧. 丹参生物学特性及盐胁迫对其次生代谢影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.

- [11] 梁鹏. α -萘乙酸对大豆苗期干旱的缓解效应研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [12] 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.
- [13] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [14] 马仲炼,周航飞,冉春艳,等. 甜菜碱和水杨酸对干旱胁迫下辣椒开花结果期生理特性的影响[J]. 三峡生态环境监测, 2019, 4(2): 57-63.