

# 干旱胁迫对千屈菜种子萌发和幼苗生长的影响

刘璐<sup>1</sup>, 武志博<sup>2</sup>, 李晓佳<sup>1</sup>, 海春兴<sup>1</sup>, 姜洪涛<sup>1</sup>, 郝思鸣<sup>2</sup>, 刘世英<sup>2</sup>

(1. 内蒙古师范大学地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010022; 2. 阿拉善盟航空护林站, 内蒙古 巴彦浩特 750306)

**摘要:**以千屈菜(*Lythrum salicaria*)种子为试验材料,采用不同浓度聚乙二醇(PEG-6000)模拟干旱条件,研究干旱胁迫对种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明:随PEG浓度的增加,千屈菜种子的发芽率、发芽势和发芽指数及幼苗的根长、株高和鲜重均呈先升高后降低的趋势,且在PEG体积分数5%时达到最大。幼苗的脯氨酸及可溶性蛋白含量在PEG体积分数25%达到最大,超氧化物歧化酶及过氧化氢酶活性在PEG体积分数5%达到最大。可溶性糖含量及过氧化物酶活性先升高后降低且相同浓度PEG处理均高于对照组。丙二醛含量及抗坏血酸过氧化物酶活性随PEG浓度的增加而增加。相关性分析表明:PEG浓度与种子萌发和幼苗生长各指标呈负相关,与幼苗各生理指标呈正相关。综上所述,千屈菜的抗旱性是由多种因素共同决定。

**关键词:**千屈菜;干旱胁迫;种子萌发;幼苗生长;生理特性

**中图分类号:**S567 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)03-0139-07

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyep.2022.03.017



干旱被认为是我国最严重的自然灾害之一,危害农牧业生产,导致生态环境进一步恶化,加剧土地荒漠化<sup>[1]</sup>。在非生物胁迫中干旱是影响植物生长、发育的主要胁迫因子之一<sup>[2]</sup>,这是由于干旱造成种子成苗困难且水分是光合作用重要的参与因子,干旱会使幼苗的光合作用持续下降<sup>[3-4]</sup>。植物在干旱胁迫的条件下,体内的水分平衡被破坏,新陈代谢发生紊乱,阻碍植物正常生长<sup>[5]</sup>。植物通过渗透调节及调节保护酶体系等方式减少干旱带来的不利影响<sup>[6]</sup>。种子萌发和幼苗生长作为植物生命周期的起始阶段,决定着植物能否顺利地完成整个生命周期<sup>[7]</sup>,且对干旱影响较为敏感。因此,研究干旱胁迫对种子萌发和幼苗生长的影响非常重要。

千屈菜(*Lythrum salicaria*)又名水芝锦、水柳,属于千屈菜科,是适应性强的多年生草本宿根花卉和北方常见的水生园林造景植物。目前,对千屈菜的研究主要集中在基因特征<sup>[8-9]</sup>、引种栽培<sup>[10-11]</sup>。其抗逆性研究以抗盐性<sup>[12-14]</sup>居多,对抗旱性研究较少,学者肖涵等<sup>[15]</sup>采用盆栽控水法研究千屈菜幼苗的生理生化指标,张歌等<sup>[16]</sup>采用同样的方法探讨千屈菜的水分适应性,学者们未将千屈菜种子的萌发和幼苗的生长综合研究,且采用盆栽法操作较复杂。聚乙二醇(Polyethylene glycol, PEG)模拟干旱胁迫,具有方法简单、易于操作、条件易控、试验周期短等特点,是一种可行性较高的渗透调节剂<sup>[17]</sup>。Kaufman和Eckard<sup>[18]</sup>经过多次研究,得出PEG-6000诱导水分逆境所得效果与土壤逐步干旱是一样的。所以,越来越多的学者利用PEG-6000模拟干旱环境,以研究植物对干旱的响应。此方法已在农作物<sup>[19-21]</sup>、园林绿化植物<sup>[22-23]</sup>、牧草<sup>[24-25]</sup>等植物中得到应用。因此,本试验采用PEG-6000模拟不同干旱胁迫对千屈菜种子萌发及幼苗根长、株高、鲜重等生长指标,脯氨酸、可溶性蛋白质、可溶性糖和丙二醛含量,超氧化物歧化酶、过氧化物酶、

**收稿日期:**2021-08-12; **修回日期:**2021-10-11

**基金项目:**内蒙古自治区科技重大专项课题(zdxx2018057)

**作者简介:**刘璐(1996-),女,内蒙古鄂尔多斯人,硕士研究生。E-mail: 2934158143@qq.com

武志博为通信作者。

E-mail: 120802756@qq.com

过氧化氢酶和抗坏血酸过氧化物酶活性等生理指标的影响,以及各指标之间的相关性,以揭示千屈菜种子及幼苗生长、生理抗旱特性,为北方园林绿化提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试千屈菜种子于2020年采购于甘肃省民勤县花果山农林工程有限公司,在室内常温条件下保存。种子千粒重为0.0580 g。

### 1.2 试验方法

1.2.1 种子萌发试验 挑选大小均匀、颗粒饱满、种皮无破损的种子,在50℃的蒸馏水中浸泡15 min,取出种子用70%的酒精浸泡20 s,再用无菌水冲洗多次后,将种子均匀摆放在铺有两层已被无菌水润湿纱布的培养皿中,每皿30粒,再覆盖一层纱布,每皿加5 mL体积分数为0(CK)、5%、10%、15%、20%、25%的PEG-6000溶液分别进行胁迫处理,每个梯度设置3个重复。培养皿用封口膜封口,以防止溶液蒸发;膜上留两个小孔,放置于人工气候箱(宁波东南仪器有限公司生产RDN-300D-5型),恒温培养,设定温度为(25±0.5)℃,光照为8 h,湿度为65%,进行种子萌发试验。每天同一时间分别向发芽床加无菌水或各体积分数PEG-6000溶液2 mL,并记录千屈菜种子的萌发状况,以连续两天无新种子萌发为标志结束胁迫并拍照记录。

以胚根突破种皮为发芽标准,第3天计算发芽势,第5天计算发芽率和发芽指数。

发芽势=(第3天发芽的种子数/供试种子总数)×100%

发芽率=(第5天发芽的种子数/供试种子总数)×100%

发芽指数=[(处理平均发芽率×处理平均根长)/(对照平均发芽率×对照平均根长)]×100<sup>[26]</sup>

1.2.2 幼苗生长、生理试验 在种子萌发试验基础上,根据预试验结果,选择体积分数为0(CK)、5%和25%的PEG-6000溶液3个梯度的胁迫处理,在种子发芽结束后,每个处理选取长势较一致的20株种苗,测定幼苗根长、株高和鲜重。并在每个梯度设置3个重复,测定幼苗各项生理指标。

脯氨酸含量采用酸性茚三酮显色法测定<sup>[27]</sup>;可溶

性蛋白质含量采用考马斯亮蓝G-250染色法测定<sup>[27]</sup>;可溶性糖含量采用硫酸苯酚法测定<sup>[27]</sup>;丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量采用硫代巴比妥酸比色法测定<sup>[27]</sup>;超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)活性采用氮蓝四唑显色法测定<sup>[28]</sup>;过氧化物酶(Peroxidase, POD)活性采用愈创木酚法测定<sup>[28]</sup>;过氧化氢酶(Catalase, CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(Ascorbate peroxidase, APX)活性采用紫外吸收法测定<sup>[28]</sup>。

### 1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2019进行数据处理和表格绘制;运用SPSS 23.0进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度PEG对千屈菜种子萌发的影响

当PEG为5%时,种子的发芽率、发芽势和发芽指数与CK相比分别上升了19.64%、31.36%、28.37%,达到种子萌发的最大值。在25%时,发芽率、发芽势和发芽指数与CK相比分别下降了55.35%、70.58%、65.12%,发芽率与发芽势达到抑制种子萌发的最大值且差异显著。而在0~20%时,对两者的影响不显著( $P>0.05$ ) (表1)。

表1 不同浓度PEG处理下千屈菜种子萌发指标

Table 1 Effects of different concentrations of PEG on seed germination of *Lythrum salicaria*

PEG 体积分数/%	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数
CK	62.22±6.94 <sup>a</sup>	56.67±17.64 <sup>a</sup>	100.00
5	74.44±10.18 <sup>a</sup>	74.44±10.18 <sup>a</sup>	128.37
10	71.11±5.09 <sup>a</sup>	57.78±15.03 <sup>a</sup>	108.33
15	70.00±5.77 <sup>a</sup>	51.11±13.47 <sup>a</sup>	94.92
20	70.00±8.82 <sup>a</sup>	50.00±17.64 <sup>a</sup>	89.06
25	27.78±5.09 <sup>b</sup>	16.67±14.14 <sup>b</sup>	34.88

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同

### 2.2 不同浓度PEG对千屈菜幼苗生长特性的影响

千屈菜幼苗的根长、株高和鲜重随PEG浓度的增加都呈先升后降的趋势。PEG 5%时,幼苗的根长、株高和鲜重分别为0.52、0.20、0.68 mg/株,与CK相比分别上升了8.33%、5.95%、5.67%。PEG 25%时,分别为0.38、0.70、0.52 mg/株,与CK相比分别下降了20.83%、11.39%、19.59%。幼苗根在PEG 25%时生长明显受到抑制,幼苗鲜重在PEG 5%和25%时均与对照差异显著( $P<0.05$ ) (图1)。

2.3 不同浓度 PEG 对千屈菜幼苗生理特性的影响

2.3.1 不同浓度 PEG 对千屈菜幼苗渗透调节物质的影响 随 PEG 浓度的增加,脯氨酸和可溶性蛋白质的含量先减少后增加(图 2-A,2-B)。当 PEG 浓度为 5% 时,两者的含量均处于最低水平,25% 时达到最高。脯氨酸含量 PEG 5% 处理与 CK、25% 处理差异显著

( $P < 0.05$ );可溶性蛋白质 CK 与 5%、25% 处理之间差异不显著,而 5% 与 25% 处理之间差异显著( $P < 0.05$ )。随 PEG 浓度的增加,可溶性糖的含量先增后减(图 2-C),在 PEG 5% 时上升到最大值,约为 CK 的 9.4 倍,25% 时约为 CK 的 7.1 倍。3 组处理彼此之间均差异显著( $P < 0.05$ )。

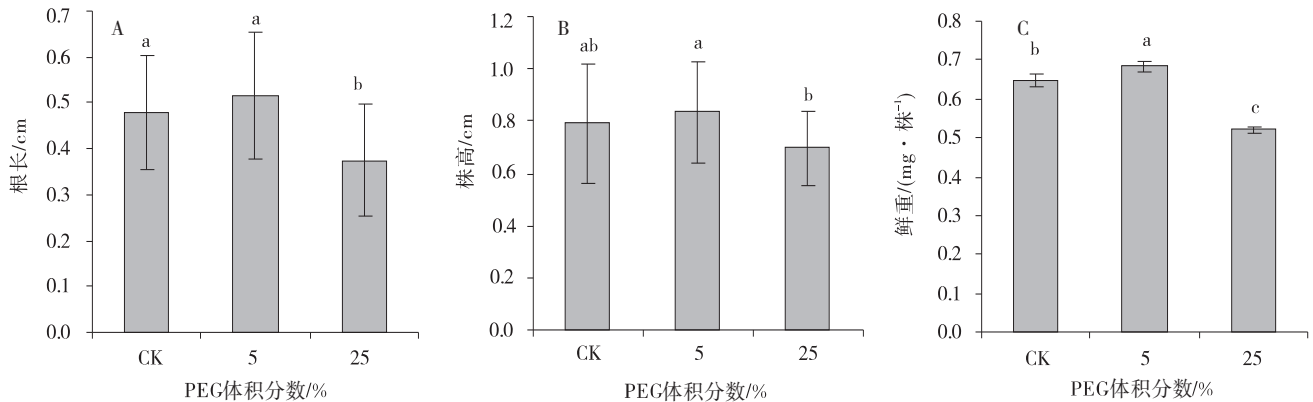


图 1 不同浓度 PEG 处理下千屈菜幼苗生长指标

Fig. 1 Effects of different concentrations of PEG on seedling growth of *Lythrum salicaria*

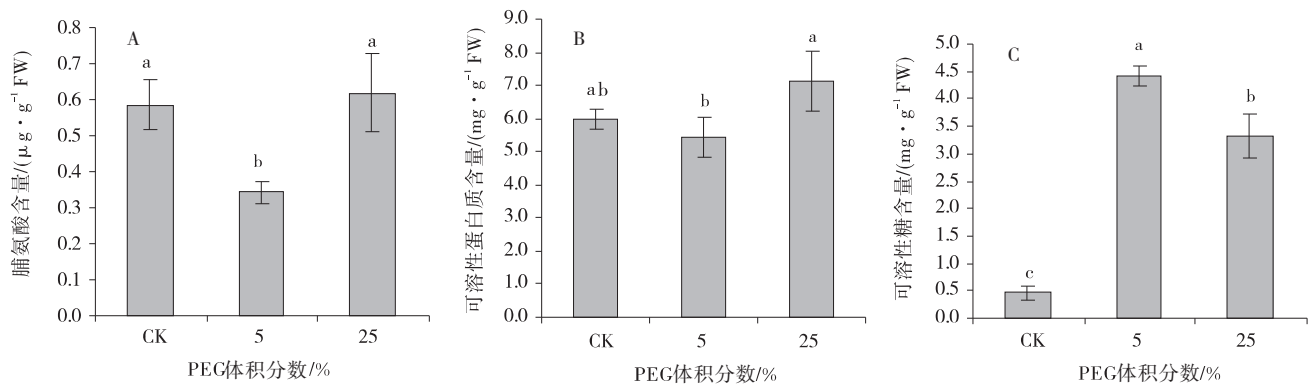


图 2 不同浓度 PEG 处理下千屈菜幼苗渗透调节物质含量

Fig. 2 Effects of different concentrations of PEG on osmotic contents in seedling of *Lythrum salicaria*

2.3.2 不同浓度 PEG 对千屈菜幼苗丙二醛含量的影响 随 PEG 浓度的增加,丙二醛的含量呈上升趋势。PEG 5% 时,丙二醛含量缓慢上升,仅比 CK 含量上升了 0.1 μmol/LFW; 25% 时上升到最大值 2.27 μmol/LFW,比 CK 上升了 4.6 倍,且与 CK 和 5% 处理组之间差异显著( $P < 0.05$ )(图 3)。

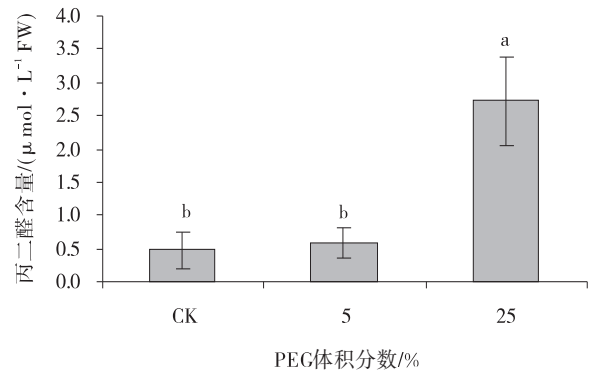


图 3 不同浓度 PEG 处理下对千屈菜幼苗丙二醛含量

Fig. 3 Effects of different concentrations of PEG on malondialdehyde content in seedling of *Lythrum salicaria*

2.3.3 不同浓度 PEG 对千屈菜幼苗保护性酶的影响 随 PEG 胁迫增强,SOD 和 CAT 活性先降后升(图 4-A,4-C),PEG 5% 时两种酶活性达到最小值,随后活性增强,但仍低于 CK。SOD 的活性在 3 组处理之间无显著性差异,CAT 的 CK 与 5% 处理组差异显著( $P < 0.05$ )。随 PEG 胁迫增强,POD 活性先迅速升高后缓慢降低(图 4-B),PEG 5% 达到最大值 318.63

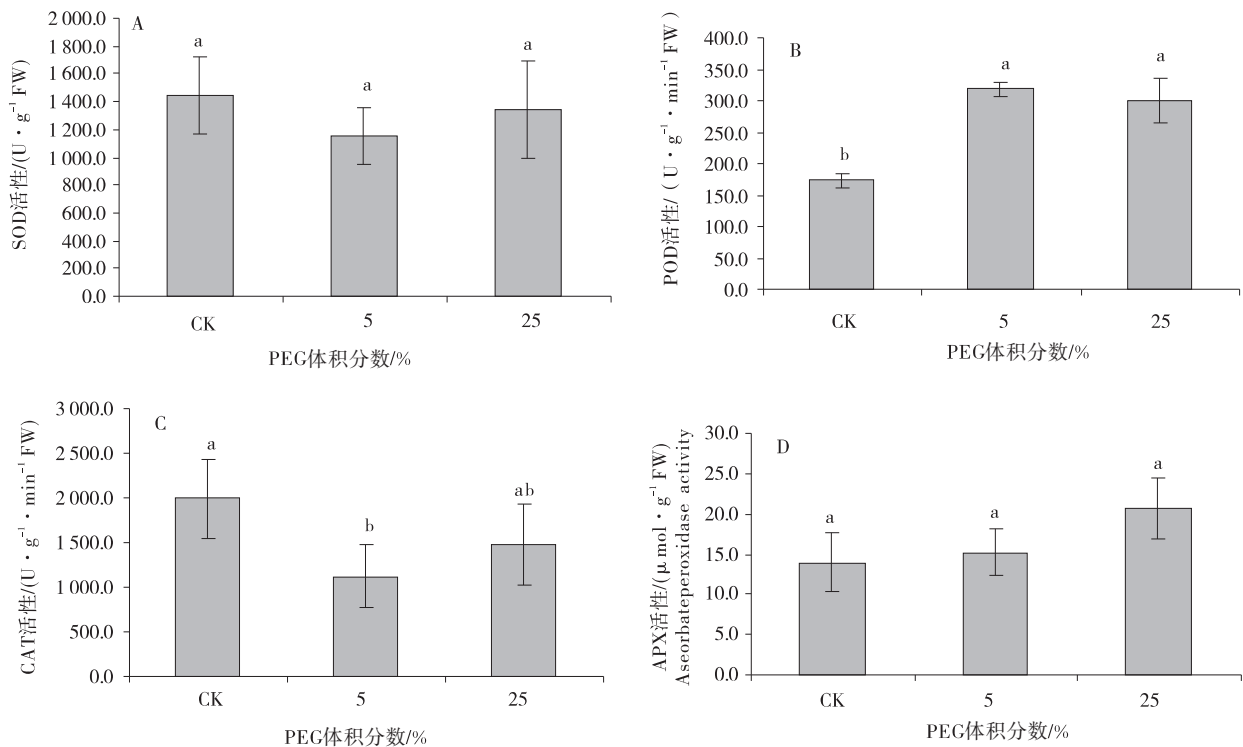


图4 不同浓度PEG处理下千屈菜幼苗保护性酶活性

Fig. 4 Effects of different concentrations of PEG on protective enzyme activities in seeding of *Lythrum salicaria*

U/(g·min), CK的POD活性最低且与5%和25%处理之间差异显著( $P < 0.05$ )。随PEG胁迫的增强, APX活性逐渐增加(图4-D), PEG 25%时, APX活性增加到最大值20.67 μmol AsA/g, 与CK相比增加了47.85%, 3组处理之间无显著差异。表明, 在无干旱胁迫时, SOD活性和CAT活性较高, 在低浓度PEG胁迫处理时, SOD和CAT活性受到抑制, POD和APX活性升高来适应干旱, 且活性维持在高水平, 保护性酶通过清除活性氧以达到降低干旱对幼苗带来的不利影响。

#### 2.4 各指标之间的相关性分析

PEG浓度与种子萌发和幼苗生长的各指标呈负相关关系, 与幼苗生理指标, 除SOD、CAT活性外, 与其余指标均呈正相关关系, 且与APX活性呈极显著的正相关( $P < 0.01$ )。种子萌发和幼苗生长各指标彼此之间都呈较高的正相关关系, 发芽指数与发芽率、发芽势呈极显著的正相关( $P < 0.01$ ), 与根长、株高呈显著正相关( $P < 0.05$ ); 发芽率与发芽势、根长、鲜重呈显著正相关( $P < 0.05$ )。种子萌发与幼苗生长各指标及幼苗生理指标之间, 除与可溶性糖呈极低的正相关外, 其余都呈负相关关系, 且可溶性蛋白含量与发芽势、发芽指数、株高、根长呈显著负相关( $P < 0.05$ )。

幼苗生理指标之间无显著的相关性, 各指标之间的相关性以正相关为主, 相关性变化不一。

### 3 讨论

#### 3.1 不同浓度PEG对千屈菜种子萌发的影响

水在植物的生命活动中起着至关重要的作用, 是影响植物正常代谢和生长发育的主要限制因子。种子成苗是植物完成整个生命过程的前提, 也是对水分较为敏感的时期。干旱胁迫会引发植物体内失水, 导致细胞含水量不足, 从而损伤细胞器和脂膜, 使种子无法正常萌发。种子的发芽率、发芽势、发芽指数是反应种子萌发的重要指标, 也反映植物种子发芽能力强弱和发芽时间长短。本研究发现, 当PEG浓度为5%时, 千屈菜种子的发芽率、发芽势、发芽指数增幅最大, 但均不显著, 表明5%PEG缩短了种子的发芽时间。随PEG浓度的增加, 千屈菜种子的发芽率、发芽势和发芽指数均呈下降趋势, PEG25%时, 三者均达到最小值。表明高浓度的PEG溶液降低种子的发芽能力, 延长种子的发芽时间。这与王亚楠等<sup>[29]</sup>研究甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)种子在干旱胁迫下的萌发情况基本一致。有研究表明, 无论低浓度还是高浓度的PEG处理均显著抑

表 2 各指标之间的相关性  
Table 2 The correlation between the indicators

指标	PEG	Gr	Gp	Gi	Ph	Rl	Fw	Pro	Sp	Su	MDA	SOD	POD	CAT	APX
PEG	1.000														
Gr	-0.569	1.000													
Gp	-0.787	0.914*	1.000												
Gi	-0.778	0.929**	0.996**	1.000											
Ph	-0.852	0.995	0.998*	0.998*	1.000										
Rl	-0.891	1.000*	1.000*	1.000*	0.997	1.000									
Fw	-0.933	0.997*	0.992	0.992	0.983	0.995	1.000								
Pro	0.418	-0.769	-0.799	-0.797	-0.831	-0.785	-0.716	1.000							
Sp	0.864	-0.997	-0.999*	-0.999*	-1.000*	-0.998*	-0.987	0.819	1.000						
Su	0.429	0.002	0.052	0.047	0.107	0.028	-0.076	-0.641	-0.085	1.000					
MDA	0.989	-0.957	-0.941	-0.943	-0.921	-0.949	-0.977	0.549	0.930	0.289	1.000				
SOD	-0.008	-0.423	-0.468	-0.464	-0.516	-0.447	-0.352	0.905	0.497	-0.907	0.142	1.000			
POD	0.557	-0.145	-0.095	-0.100	-0.040	-0.119	-0.221	-0.522	0.063	0.989	0.426	-0.835	1.000		
CAT	-0.294	-0.146	-0.195	-0.191	-0.249	-0.172	-0.069	0.745	0.227	-0.990	-0.148	0.958	-0.958	1.000	
APX	1.000**	-0.908	-0.886	-0.888	-0.859	-0.896	-0.937	0.429	0.870	0.418	0.990	0.004	0.547	-0.283	1.000

注:\*在 0.05 级别(双尾),相关性显著。\*\*在 0.01 级别(双尾),相关性显著。PEG, PEG-6000 浓度;Gr, 发芽率;Gp, 发芽势;Gi, 发芽指数;Ph, 株高;Rl, 根长;Fw, 鲜重

制山桐子(*Idesia polycarpa*)种子萌发<sup>[30]</sup>;张航等<sup>[31]</sup>发现榆树(*Ulmus pumila*)种子在 PEG 胁迫下出现明显的低促高抑的现象。综上,干旱胁迫对种子萌发的影响,与其自身的特性有关,而不同种子对 PEG 模拟干旱胁迫的反应也有所不同。

### 3.2 不同浓度 PEG 对千屈菜幼苗生长特性的影响

幼苗的根长、株高、鲜重指标可以综合反映幼苗的生长特点。植物幼苗通过伸长根部的方式吸取土壤中更深土层的水分,以便供给植株,增加株高和鲜重,增加其生命力。也可通过根长的增加,使植物根系更牢固的扎根在土壤中。在本研究中,千屈菜幼苗根长、株高、鲜重在 5% PEG 浓度处理时大于 CK,表明低浓度的干旱胁迫促进幼苗生长。这与刘艳等<sup>[32]</sup>对甘草幼苗的研究结果类似,根系是植物吸收水分和营养物质的主要器官,水分不足会刺激根系生长,根长增大。这表明轻度干旱胁迫下千屈菜幼苗会通过增加根长来提高株高和增加鲜重以维持植株生存。因此,可以适当对千屈菜幼苗进行干旱胁迫,提高幼苗的根长、株高和鲜重。

### 3.3 不同浓度 PEG 对千屈菜幼苗渗透调节物质的影响

渗透调节是植物适应逆境的一种自我调节方式。干旱胁迫时植物体内主动积累各种有机和无机物质

来提高细胞液浓度,降低渗透势,提高细胞保水力,从而适应干旱胁迫环境。脯氨酸、可溶性蛋白质、可溶性糖是植物体内重要的渗透调节物质。脯氨酸是植物蛋白质组成成分之一,以游离的状态广泛的存在于植物体中,对细胞的渗透调节起重要作用,是植物体的防脱水剂,在一定程度上反应植物体内的脱水情况。本试验中,千屈菜幼苗的脯氨酸含量呈先减少后增加的情况,这可能是因为轻度干旱时控制脯氨酸降解的关键酶的表达或者数量多于合成脯氨酸酶。同样,可溶性蛋白质的含量变化情况与脯氨酸含量一致,含量先下降可能是干旱胁迫使蛋白质合成酶钝化或能源(ATP)减少,之后开始上升以提高体内渗透势,抵抗干旱<sup>[33]</sup>。可溶性糖含量在胁迫开始时迅速增加,后缓慢减少,但均高于 CK。与脯氨酸、可溶性蛋白质形成互补,前期因脯氨酸、可溶性蛋白质含量下降,可溶性糖含量迅速增加以降低干旱胁迫带来的危害,后期 3 种物质同时发挥作用降低渗透势。由此可见,在 PEG 胁迫下,千屈菜幼苗自身可以启动渗透调节机制以适应干旱。

### 3.4 不同浓度 PEG 对千屈菜幼苗丙二醛含量的影响

植物在干旱胁迫下受到伤害,往往会发生膜脂过氧化作用。丙二醛是膜脂过氧化的最终分解产物,对细胞具有很强的毒性,所以 MDA 的积累可能对膜和

细胞造成一定的伤害,常用于膜脂过氧化指标。其含量可反映植物遭受干旱伤害的程度。在模拟干旱处理千屈菜幼苗的过程中,丙二醛的含量随着胁迫强度的增加而上升。表明外界干旱胁迫会持续导致千屈菜生物膜脂过氧化不断加剧,植物受伤害程度在不断增加。这与前人在芸豆(*Phaseolus coccineus*)、玉带草(*Phalaris arundinacea*)、野生苣荬菜(*Sonchus brachyotus*)<sup>[20,23-34]</sup>等方面的研究的结果一致。

### 3.5 不同浓度 PEG 对千屈菜幼苗保护性酶的影响

当植物受到干旱胁迫时,细胞结构的稳定性紊乱,打破了活性氧产生和清除的动态平衡,导致活性氧在细胞中过量积累,危害细胞的存活。保护性酶是植物在遇到干旱胁迫时重要的防护屏障,主要包括 SOD、POD、CAT、APX 等。SOD 能以  $O_2^-$  为基质进行歧化反应;POD 也可清除细胞内有害自由基并能催化有毒物质;CAT 可分解  $H_2O_2$ ;APX 可使  $O_2^-$  产生速率下降。本试验中,千屈菜幼苗干旱胁迫下 CAT 活性都比对照组低,一方面可能是由于  $H_2O_2$  的积累使其失活,另一方面可能是发生了光失活<sup>[35]</sup>,SOD 的活性变化与 CTA 变化一致。而 POD 和 APX 快速增加,活性值均高于对照组。几种酶协调配合,共同增强防御干旱的能力。几种酶活性变化情况不一致可能是由于植物调动其他的活性氧清除系统<sup>[35]</sup>。可见,在 PEG 胁迫下,保护酶系统整体发挥作用,并非单一的酶起作用。

## 4 结论

PEG 模拟干旱胁迫下,千屈菜种子的发芽率、发芽势、发芽指数,幼苗的根长、株高和鲜重在 PEG 5% 处理时,均达最大值;PEG 25% 时达到最小值,且低于 CK。幼苗的各项生理指标随干旱胁迫的增加,变化规律不相同。PEG 浓度与种子萌发和幼苗生长各指标呈负相关。

### 参考文献:

- [1] 王劲松,李耀辉,王润元,等. 我国气象干旱研究进展评述[J]. 干旱气象,2012,30(4):497-508.
- [2] 陈永快,王涛,廖水兰,等. 逆境及生长调节剂对作物抗逆性的影响综述[J]. 江苏农业科学,2019,47(23):68-72.
- [3] 潘慧超,王俊锋,敖云娜,等. 干旱胁迫下华北驼绒藜种子大小及苞片对萌发和幼苗生长的影响[J]. 应用生态学报,2021,32(2):399-405.
- [4] 罗孟容,梁文斌,杨艳,等. 干旱胁迫对栀子光合作用及叶绿体超微结构的影响[J]. 经济林研究,2021,39(3):165-174.
- [5] 董蕾,李吉跃. 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理[J]. 生态学报,2013,33(18):5477-5483.
- [6] 王娅玲,李维峰. 干旱胁迫对植物生长及其生理的影响概述[J]. 南方农业,2015,9(6):37-39.
- [7] 李新蕾,李叶芳,关文灵. PEG 模拟干旱胁迫对大叶醉鱼草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(9):154-159.
- [8] 郑钢,顾翠花,林琳,等. 20 种千屈菜科植物 rbcL 基因密码子使用偏好性分析[J]. 浙江农林大学学报,2021,38(3):476-484.
- [9] 刘婷婷,梁晓涵,张烨,等. 紫薇属及近缘属 13 种植物基因组大小测定[J]. 植物遗传资源学报,2020,21(4):1020-1029.
- [10] 李佳凝. 千屈菜在不同栽培条件下的景观效果研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.
- [11] 马宏宇,崔凯峰,沈潞,等. 长白山区千屈菜引种驯化栽培[J]. 北华大学学报(自然科学版),2020,21(4):452-456.
- [12] 马秀娟,杨洁,张凯,等. 盐胁迫对千屈菜和黄花鸢尾种子萌发的影响[J]. 北方园艺,2015,39(21):90-95.
- [13] 张光弟,俞晓艳,冯晓蓉,等. 千屈菜植株耐盐性初步研究[J]. 农业科学研究,2009,30(3):82-84.
- [14] 李德明,尧双. 氯化钠对千屈菜生长发育的影响[J]. 广东农业科学,2011,38(2):37-40.
- [15] 肖涵,张鸿翎,韩涛,等. 干旱胁迫对 3 种宿根花卉生理生化指标的影响[J]. 西北林学院学报,2019,34(5):102-107.
- [16] 张鸽,王月华. 3 种滨水花卉植物的水分适应性研究[J]. 天津农业科学,2011,17(3):125-126.
- [17] 杨春杰,张学昆,邹崇顺,等. PEG-6000 模拟干旱胁迫对不同甘蓝型油菜品种萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国油料作物学报,2007,29(4):425-430.
- [18] Kaufmann M R, Eckard A N. Evaluation of water stress control with polyethylene glycols by analysis of guttation[J]. Plant Physiology,1971,47(4):453-456.
- [19] 宿婧,史晓晶,梁彬,等. 干旱胁迫对藜麦种子萌发及生理特性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2019,34(6):928-932.
- [20] 王景伟,金喜军,杜文言,等. 干旱胁迫对芸豆种子萌发及生理特性的影响[J]. 干旱区研究,2014,31(4):734-738.
- [21] 贾琼,张冬红,蒙美莲,等. PEG6000 渗透胁迫对马铃薯生理特性的影响[J]. 中国马铃薯,2009,23(5):

- 263—267.
- [22] 郭米山,高广磊,丁国栋,等. 聚乙二醇模拟干旱胁迫对国槐种子萌发和幼苗生理特征的影响[J]. 河北农业大学学报,2018,41(6):31—37.
- [23] 刘晓东,李洋洋,何森. PEG 模拟干旱胁迫对玉带草生理特性的影响[J]. 草业科学,2012,29(5):687—693.
- [24] 李培英,孙宗玖,阿不来提. PEG 模拟干旱胁迫下 29 份偃麦草种质种子萌发期抗旱性评价[J]. 中国草地学报,2010,32(1):32—39.
- [25] 张然,李佳缙,王铭,等. 11 份草地早熟禾种质材料对 PEG—6000 胁迫的生理响应和耐旱性评价[J]. 草原与草坪,2021,41(2):113—121.
- [26] 汤江武,朱利中. 不同堆肥条件对种子发芽指数影响的研究[J]. 浙江农业科学,2008,49(5):583—586.
- [27] 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.
- [28] 张志良,瞿伟菁,李小方. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2009.
- [29] 王亚楠,赵思明,曹兵. PEG—6000 模拟干旱胁迫下 10 种草本植物萌发期抗旱性比较[J]. 草地学报,2020,28(4):983—989.
- [30] 石开明,吴强盛. 干旱胁迫对山桐子种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版),2018,15(10):8—13,4.
- [31] 张航,战金雨,杨柳,等. 聚乙二醇模拟干旱胁迫对榆树种子萌发影响[J]. 西部林业科学,2021,50(2):78—83,108.
- [32] 刘艳,陈贵林,蔡贵芳,等. 干旱胁迫对甘草幼苗生长和渗透调节物质含量的影响[J]. 西北植物学报,2011,31(11):2259—2264.
- [33] 李志萍,张文辉,崔豫川. PEG 模拟干旱胁迫对栓皮栎种子萌发及生长生理的影响[J]. 西北植物学报,2013,33(10):2043—2049.
- [34] 时雨冉,刘志华. 干旱胁迫对苜蓿菜抗氧化酶和渗透调节物质的影响[J]. 草地学报,2010,18(5):673—677.
- [35] 赵丽英,邓西平,山仑. 活性氧清除系统对干旱胁迫的响应机制[J]. 西北植物学报,2005,25(2):413—418.

## Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of *Lythrum salicaria*

LIU Lu<sup>1</sup>, WU Zhi-bo<sup>2</sup>, LI Xiao-jia<sup>1</sup>, Jiang Hong-tao<sup>1</sup>, HAI Chun-xing<sup>1</sup>,

HAO Si-ming<sup>2</sup>, LIU Shi-ying<sup>2</sup>

(1. *The Geographical Science College of Inner Mongolia Normal University, Hohhot, 010022, China*; 2. *Alxa League Aviation Forest Guard Station, Alxa Left Banner, 750306, China*)

**Abstract:** The effects of drought stress on seed germination and seedling growth of *Lythrum salicaria* were studied by simulating drought conditions with different concentrations of polyethylene glycol (PEG-6000). The results showed that with the increase of PEG concentration, the seed germination rate, germination potential, germination index, root length, plant height and fresh weight of the seedlings increased firstly and then decreased, and reached the maximum at PEG 5%. The contents of proline and soluble protein reached the maximum in PEG 25%, and the activities of superoxide dismutase and catalase reached the maximum in PEG 5%. The soluble sugar content and peroxidase activity increased first and then decreased, and were higher than those in the control group. The content of malondialdehyde and the activity of ascorbate peroxidase increased with the increase of PEG concentration. The correlation analysis showed that PEG concentration was negatively correlated with various indexes of seed germination and seedling growth, and positively correlated with various indexes of seedling physiology. In conclusion, the drought resistance of *Lythrum salicaria* is determined by multiple factors rather than a single factor.

**Key words:** *Lythrum salicaria*; drought stress; seed germination; seedling growth; physiological characteristic