

张 彬,何伟杰,周羽新,等. 外来植物南美蟛蜞菊对模拟盐胁迫的响应[J]. 江苏农业科学,2020,48(4):105-111.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.04.017

# 外来植物南美蟛蜞菊对模拟盐胁迫的响应

张 彬,何伟杰,周羽新,郑乾璐,祁珊珊,杜道林,黄 萍

(江苏大学环境与安全工程学院/江苏大学环境生态研究所,江苏镇江 212013)

**摘要:**外来植物入侵已成为全球性环境问题,而全球的环境变化如气候变暖、氮沉降及盐渍化等因素又反过来会影响入侵植物的形态属性、入侵性等。以外来植物南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊为研究对象,采用同质园试验研究比较了南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊对模拟盐胁迫的生理生态响应,初步探讨了南美蟛蜞菊对盐环境的适应性。结果表明,南美蟛蜞菊呈现出盐胁迫抑制生长的规律,而本地蟛蜞菊呈现出低盐胁迫(0.1 mol/L)促进生长,中高盐胁迫(0.2、0.3 mol/L)抑制生长的规律,对植物生长的抑制作用主要表现为总生物量、相对株高、茎节数以及根长的减少。其中低盐胁迫下 2 种植物的叶片数均有所增加。随着盐浓度的升高,2 种植物叶片中的脯氨酸含量、丙二醛含量、过氧化物酶和过氧化氢酶活性都呈现先增加后下降的趋势。这些结果可为今后南美蟛蜞菊适生区的预测及其入侵防控提供理论依据。

**关键词:**外来植物;南美蟛蜞菊;同质园实验;盐胁迫;抗氧化系统

**中图分类号:** S451;Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)04-0105-06

在全球人口快速增长,耕地面积逐步减少,土地质量逐渐下降的大背景下,盐分作为影响植物正常生长的重要因素,引起人们越来越多的关注。这是由于植物在高浓度盐胁迫的条件下常表现出吸水困难、光合速率下降、生物膜被破坏等生理紊乱的现象,最终表现出植物叶片脱落、生物量下降甚至死亡<sup>[1]</sup>。

当外来植物进入入侵地时,它会受到入侵地新的环境因子的影响,从而表现出不同的响应与适应机制<sup>[1]</sup>。深入探讨入侵植物成功入侵的机理并进行有效防控一直是入侵生态学研究的核心与热点<sup>[2]</sup>。有学者在研究入侵植物互花米草时发现,无论低盐胁迫还是高盐胁迫都会抑制互花米草的生长,而处于同一生态位的芦苇却只受高盐胁迫的影响<sup>[3]</sup>。Ma 等认为入侵植物非洲菊面临盐胁迫时会更多的资源分配给根部,这有利于植物生物量的积累,提高自身耐盐性<sup>[4]</sup>。不同入侵植物对盐胁迫的响应也不同,郭水良等发现加拿大一枝黄花面临

盐胁迫时植株茎弯曲,下部黄叶增多,并且随着土壤盐胁迫的增加,其叶片的丙二醛含量增加,过氧化物酶活性下降<sup>[5]</sup>。而刘海燕等研究发现,盐胁迫(0.3 mol/L NaCl)对加拿大一枝黄花的叶片数、株高、地上/地下生物量、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率等方面均抑制显著<sup>[6]</sup>。任艳萍等对外来植物黄顶菊的研究表明,较低浓度的盐胁迫(0.01 mol/L)一定程度上促进了黄顶菊种子的萌发,刺激了胚根的伸长,这种对低盐分的喜好及耐受高盐分土壤的特点可能有助于促进其入侵<sup>[7]</sup>。通过对比本地植物和入侵植物对盐胁迫的响应,Liu 等发现在无盐胁迫环境本地植物生长更好,而在盐胁迫条件下五爪金龙比本地植物具有更高的竞争优势<sup>[8]</sup>。Filippou 等研究发现,入侵植物臭椿可以通过调节超氧化物歧化酶和过氧化氢酶来改善盐胁迫对其造成的损害,与对照相比臭椿的过氧化氢酶和超氧化物歧化酶的活性在中高浓度盐胁迫(0.15、0.3 mol/L NaCl)下显著增加<sup>[9]</sup>。

南美蟛蜞菊[*Wedelia trilobata* (L.) Hitchc.]是菊科蟛蜞菊属植物,原产热带美洲,繁殖能力较强,对逆境有较好的适应性,覆盖力强且少有病虫害发生,已被 IUCN 列为“世界 100 大恶性入侵物种”之一,广泛分布于我国南方各地。2018 年 11 月 14 日中国农业科学研究院农业基因组研究所与植物保护研究所在深圳成立了 IAS1000 联盟并启动了 IAS1000 计划(1 000 种入侵物种基因组计划),旨在

收稿日期:2018-12-27

基金项目:国家自然科学基金(编号:31200316、31570414、31600326);江苏省自然科学基金(编号:BK20150504);江苏大学高级人才基金(编号:11JDG150)。

作者简介:张 彬(1992—),男,湖北黄石人,硕士研究生,主要从事入侵生态学研究。E-mail:forbingo@163.com。

通信作者:黄 萍,副教授,主要从事植物生态学研究。E-mail:huangjiehp@163.com。

深度阐述生物入侵的分子机理与过程。IAS1000 联盟首批确定了 25 个重要入侵物种的测序工作,南美蟛蜞菊便名列其中<sup>[10]</sup>。目前对南美蟛蜞菊的研究大都集中在资源化利用<sup>[11-14]</sup>、化感作用<sup>[15-16]</sup>、克隆繁殖策略分析<sup>[17-18]</sup>以及环境因子胁迫响应<sup>[19-21]</sup>等方面,对盐胁迫响应的研究相对较少。因此,本研究旨在通过比较南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊对模拟盐胁迫的生理生态响应,探究南美蟛蜞菊对盐环境的适应性,为今后南美蟛蜞菊适生区的预测及其入侵防控提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本项目所采用的试验材料南美蟛蜞菊采自海南海口市,本地蟛蜞菊(*Wedelia chinensis*)采自江苏大学环境学院温室。试验选取生长健壮、长势(长短、粗细)一致的南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊再生茎段,每个茎段保留 2 个茎节。于 2018 年 5 月分别扦插于 90 mm × 60 mm × 80 mm 的圆形塑料花盆中,每盆扦插 2 株。将过筛河沙洗净烘干与营养土混合(营养土:沙子:蛭石 = 5:4:1)作为本试验所需的基质土壤,每个花盆中称取 240 g。将选取的植物茎段垂直扦插在花盆相同位置,浇水浸透后置于江苏大学环境学院温室中,4~5 d 后待其开始冒出嫩牙后开始施加盐胁迫处理。

### 1.2 试验设计

我国盐碱地按照盐分含量作如下分类:轻度盐碱土为土壤含盐量 0.1%~0.2%,中度盐碱土为土壤含盐量 0.2%~0.4%,重度盐碱土为土壤含盐量 0.4%~0.6%。本试验设置的盐胁迫浓度换算成土壤盐分百分含量分别为 0、0.117%、0.234%、0.351% 和 0.468%,设置的浓度梯度跨越低、中、高 3 种类型。使用分析纯氯化钠(NaCl)试剂准确配置 1.0 mol/L 的 NaCl 溶液,并按照比例用超纯水分别稀释至工作浓度:0.1 mol/L(低盐胁迫浓度)、0.2 mol/L(中盐胁迫浓度)、0.3 mol/L(高盐胁迫浓度)、0.4 mol/L(超高盐胁迫浓度),以超纯水处理作为试验的空白对照。每个盐浓度梯度设置 5 个平行处理,共 50 盆植物。为了避免高浓度盐处理引起盐激效应,0.2、0.3、0.4 mol/L NaCl 处理均从 0.1 mol/L NaCl 开始增加,每隔 1 d 施加 1 次盐处理,每次添加的体积为 80 mL,总共添加 4 次,并在同一时间达到相应的浓度。在盐胁迫处理结束后,

每隔 3 d 浇 1 次水,每次每盆植物浇水体积均为 100 mL。

### 1.3 数据收集与分析

待植物生长到第 30 天时开始收获植物,收取植物并测量相关指标。每个处理下生长指标(包括相对株高、叶片数、茎节数和根长)均测量 5 个重复,而生理指标测量 3 个重复,结果取平均值。叶片数目和茎节数采用人工计数;相对株高和根长用数码相机拍摄照片后采用 Image J 软件测量,然后进行数据统计;相对株高为植物模拟盐胁迫添加前与最后收获时株高的差值。将洗净的植物置于 105 ℃烘箱中杀青 10 min,转至 65 ℃烘干 72 h 后用分析天平分别称取地上生物量和地下生物量,所得指标之和为总生物量,根冠比为地下生物量与地上生物量的比值。抗氧化系统的测量包括脯氨酸、丙二醛(MDA)含量、过氧化物酶(POD)活性和过氧化氢酶(CAT)活性的测定。其中脯氨酸含量的测量采用酸性茚三酮法<sup>[22]</sup>,丙二醛含量的测定采用硫代巴比妥酸法<sup>[23]</sup>,过氧化物酶活性的测定采用愈创木酚显色法<sup>[24]</sup>,过氧化氢酶活性的测定采用紫外吸收法<sup>[25]</sup>。

使用 Origin 8.1 软件对数据统计分析结果进行作图,采用 SPSS 22.0 软件进行方差分析、相关性分析。

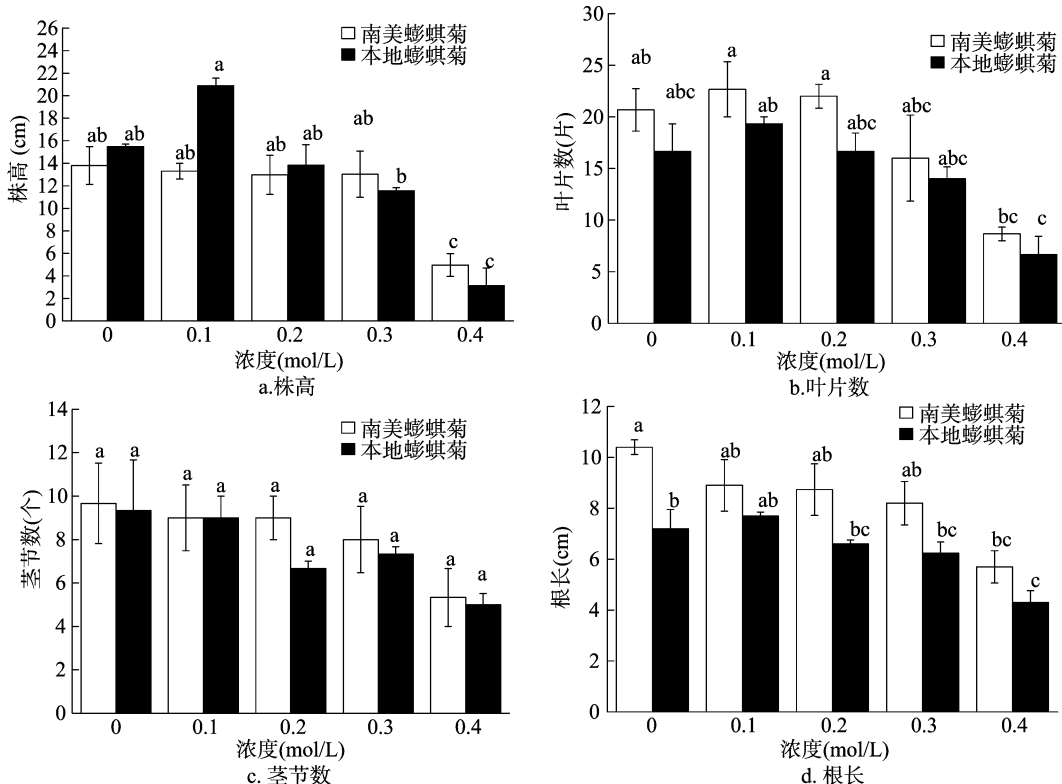
## 2 结果与分析

### 2.1 模拟盐胁迫对 2 种植物生长的影响

通过观察不同盐浓度处理下植物的生长状况,发现低中盐胁迫对南美蟛蜞菊生长影响相对较小,各处理之间无显著差异,高盐胁迫则对南美蟛蜞菊的生长有显著影响,超高盐胁迫浓度处理时其相对株高减少了 64.0%(图 1-a,  $P < 0.05$ )。而本地蟛蜞菊在低盐胁迫环境下相对株高增加了 34.8%,高盐胁迫和超高盐胁迫降低了本地蟛蜞菊相对株高,其在超高盐胁迫下相对株高最小(图 1-a)。中低盐胁迫增加了南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊的叶片数,与对照处理相比,低盐胁迫下南美蟛蜞菊叶片数增加了 9.6%,本地蟛蜞菊增加了 16.0%。而在超高盐胁迫下南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊叶片数达到最小值,其中南美蟛蜞菊减少了 58.1%,本地蟛蜞菊减少了 60.0%(图 1-b),且各个处理组南美蟛蜞菊叶片数均多于本地蟛蜞菊。盐胁迫抑制了南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊茎节的生长,随着盐浓度的增

加抑制作用越明显。与对照处理相比,超高盐胁迫下南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊茎节数分别减少了 44.8% 和 46.4% (图 1 - c)。盐胁迫会抑制南美蟛蜞菊根的生长,且随着盐浓度升高抑制作用越显

著,其中超高盐胁迫时抑制最明显,其根长减少了 45.2% (图 1 - d)。低盐胁迫会促进本地蟛蜞菊根的生长,而随着盐浓度的升高,本地蟛蜞菊根的生长也受到盐的抑制(图 1 - d)。



柱上不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。图 2、图 3 同  
图 1 模拟盐胁迫对南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊相对株高、叶片数、茎节数和根长的影响

盐胁迫降低了南美蟛蜞菊的总生物量,盐浓度越高抑制作用越明显。其中,超高盐胁迫下南美蟛蜞菊总生物量减少了 41.2%,与对照组差异显著 (图 2 - a,  $P < 0.05$ )。低盐胁迫下本地蟛蜞菊总生物量增加了 45.0%,而随着盐胁迫浓度的升高,其总生物量逐渐降低。随着盐浓度的增加,南美蟛蜞菊根冠比呈现减小的趋势,对照组的根冠比是超高盐胁迫处理的 2.3 倍 (图 2 - b),且高盐胁迫处理组与对照组之间差异显著 (图 2 - b,  $P < 0.05$ )。随着盐浓度的增加,本地蟛蜞菊根冠比呈现增大的趋势。本地蟛蜞菊高盐胁迫处理组根冠比是对照组的 1.4 倍 (图 2 - b),且高盐胁迫处理组与对照组之间差异显著 (图 2 - b,  $P < 0.05$ )。

南美蟛蜞菊总生物量与根冠比、茎节数以及根长均呈显著相关,与叶片数相关性极显著,与相对株高相关性不显著 (表 1)。本地蟛蜞菊总生物量与相对株高、叶片数以及根长呈极显著相关,与茎节数相关性不显著,本地蟛蜞菊根冠比与相对株高、

叶片数、根长、总生物量均极显著相关,与茎节数相关性不显著 (表 2)。

## 2.2 模拟盐胁迫对 2 种植物抗氧化系统的影响

植物在逆境中会积累游离的脯氨酸,并通过调节细胞的渗透势来保护蛋白质分子和酶活性,以增加植物对逆境的适应能力<sup>[26]</sup>。本研究结果表明,随着盐胁迫浓度的增加,南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊的脯氨酸含量均先升高后降低。高盐胁迫下南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊的脯氨酸含量都达到峰值,与对照组相比分别增加了 1.3 倍和 2.0 倍 (图 3 - a)。

丙二醛 (MDA) 是膜脂过氧化作用的最终产物,而且它在生物体内积累还会对膜和细胞造成进一步的伤害,因此 MDA 含量的多少可以反映膜脂过氧化的程度和生物体衰老或遭受逆境伤害的程度<sup>[27]</sup>。本研究表明,随着盐浓度的增加南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊的 MDA 含量均先升高后降低 (图 3 - b)。高盐胁迫时本地蟛蜞菊 MDA 含量达到峰值,中盐胁迫时南美蟛蜞菊 MDA 含量达到峰值,且各个处

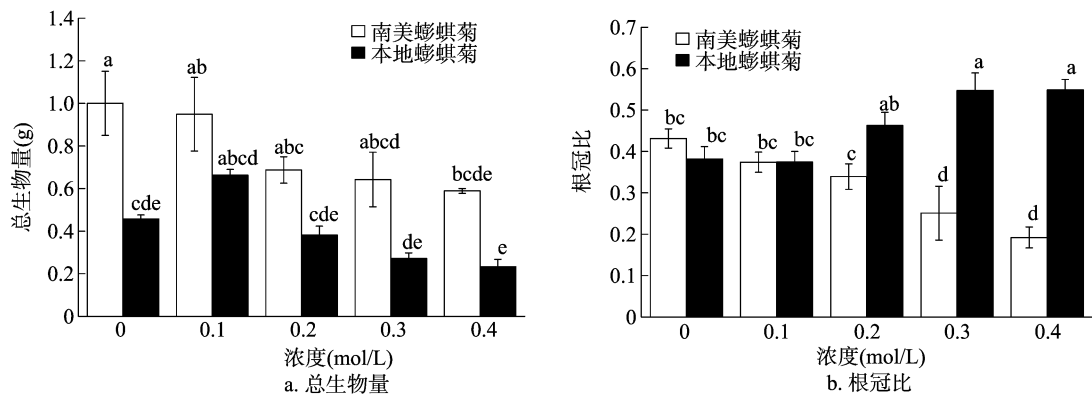


图2 模拟盐胁迫对南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊总生物量和根冠比的影响

表 1 模拟盐胁迫对南美蟛蜞菊生长指标、抗氧化系统影响的相关性分析

指标	相关系数									
	相对株高	叶片数	茎节数	根长	总生物量	根冠比	脯氨酸含量	MDA 含量	CAT 活性	POD 活性
相对株高	1.000									
叶片数	0.698 **	1.000								
茎节数	0.464	0.772 **	1.000							
根长	0.599 *	0.484	0.339	1.000						
总生物量	0.502	0.718 **	0.631 *	0.522 *	1.000					
根冠比	0.311	0.627 *	0.535 *	0.564 *	0.552 *	1.000				
脯氨酸含量	-0.193	-0.182	-0.052	-0.087	-0.410	-0.190	1.000			
MDA 含量	-0.018	0.090	-0.052	-0.226	-0.384	-0.262	0.344	1.000		
CAT 活性	0.092	0.099	0.098	0.148	0.170	0.435	-0.131	-0.541 *	1.000	
POD 活性	0.497	0.588 *	0.389	0.324	0.067	0.437	0.271	0.596 *	-0.138	1.000

注：\* 表示显著相关( $P<0.05$ )，\*\* 表示极显著相关( $P<0.01$ )。表 2 同。

表 2 模拟盐胁迫对本地蟛蜞菊生长指标、抗氧化系统影响的相关性分析

指标	相关系数									
	相对株高	叶片数	茎节数	根长	总生物量	根冠比	脯氨酸含量	MDA 含量	CAT 活性	POD 活性
相对株高	1.000									
叶片数	0.796 **	1.000								
茎节数	0.587 *	0.802 **	1.000							
根长	0.812 **	0.860 **	0.624 *	1.000						
总生物量	0.856 **	0.642 **	0.418	0.786 **	1.000					
根冠比	-0.768 **	-0.649 **	-0.486	-0.684 **	-0.828 **	1.000				
脯氨酸含量	0.107	0.050	-0.092	0.139	-0.054	0.362	1.000			
MDA 含量	-0.317	-0.214	-0.357	-0.340	-0.450	0.669 **	0.688 **	1.000		
CAT 活性	-0.640 *	-0.675 **	-0.285	-0.649 **	-0.426	0.427	-0.218	-0.130	1.000	
POD 活性	0.038	0.031	-0.237	0.188	-0.061	0.198	0.598 *	0.447	-0.542 *	1.000

理组与对照组之间差异显著(图 3 - b,  $P<0.05$ )。

POD 和 CAT 作为植物体内 2 种重要的抗氧化酶,主要负责清除氧自由基、防止生物膜结构和功能的破坏,从而保护植物免受氧化损伤<sup>[28]</sup>。本研究表明,低盐胁迫下南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊的 POD 含量较对照组分别减少 3.5% 和 6.6% (图 3 - c)。中盐胁迫促使南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊产生较多的 POD,与对照组相比分别增加 57.3% 和 38.5%,且处理组与对照组之间差异显著(图 3 - c,  $P<$

0.05)。超高盐胁迫下南美蟛蜞菊的 POD 含量下降幅度远大于本地蟛蜞菊,与对照组相比分别下降 41.2% 和 6.3% (图 3 - c)。与此同时,盐胁迫诱导南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊产生更多的 CAT,随着盐浓度的增加,南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊的 CAT 含量均先升高后降低(图 3 - d)。中高盐胁迫下 2 种植物都产生较多的 CAT,其中高盐胁迫下 2 种植物 CAT 含量分别增加了 2.9 倍和 3.5 倍,且都与对照组之间差异显著(图 3 - d,  $P<0.05$ )。超高盐胁迫

时,2种植物CAT含量均显著下降。

南美蟛蜞菊过氧化物酶活性与叶片数呈显著相关,脯氨酸含量、丙二醛含量以及过氧化氢酶活性与表型指标以及生物量指标相关性不显著(表

1)。本地蟛蜞菊过氧化氢酶活性与相对株高显著相关,与叶片数以及根长呈极显著相关,丙二醛含量与根冠比呈极显著相关(表2)。

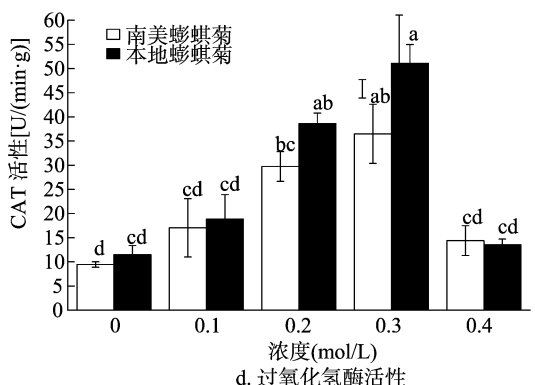
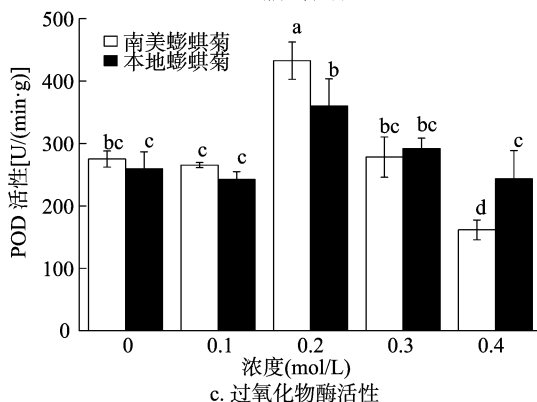
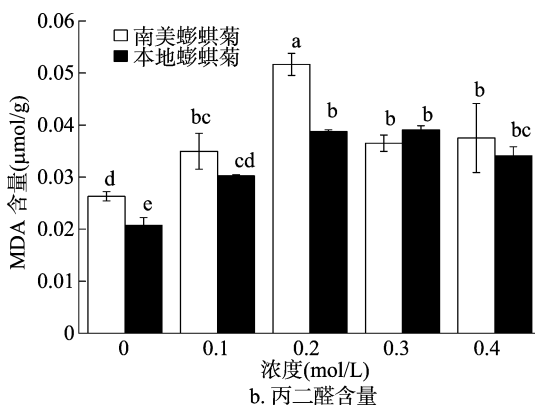
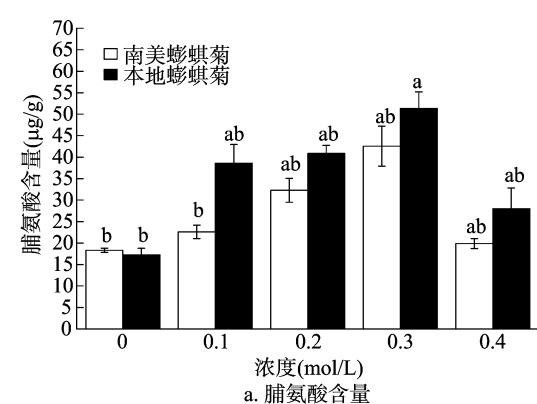


图3 模拟盐胁迫对南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊叶片中脯氨酸含量、丙二醛含量、过氧化物酶活性以及过氧化氢酶活性的影响

### 3 讨论与结论

植株的形态指标及生物量是植物响应盐胁迫的重要指标,也是植物对盐胁迫反应的综合体现<sup>[29]</sup>。本研究结果表明,不同浓度盐胁迫对南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊的影响呈现出不同的规律。盐胁迫对南美蟛蜞菊生长的抑制,主要表现为相对株高、茎节数、根长、总生物量的减少。低盐胁迫在一定程度上促进了本地蟛蜞菊的生长,其叶生物量、相对株高、叶片数和根长均有所增加。而随着盐浓度继续升高本地蟛蜞菊的生长受到明显地抑制。Kazemeini 等研究发现,盐胁迫显著抑制了埃及车轴草的株高、根长以及根和茎的生物量<sup>[30]</sup>;而刘海燕等发现盐胁迫对加拿大一枝黄花的抑制作用主要体现在叶片数、株高、地上生物量、地下生物量上<sup>[6]</sup>。本试验得到的盐胁迫对植物生长的抑制作用结果与之相似。低盐胁迫条件下南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊的叶片数和叶生物量均有所增加,这可

能是由于低盐胁迫条件下南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊会采取增加叶片数及叶生物量的方式增加植物的光合作用效率以补偿盐胁迫带来的损伤。

朱义等研究发现,盐胁迫导致高羊茅生长受到抑制,随着盐胁迫浓度的增加,株高下降,生物量、干质量和株高的降低幅度增大,同时根冠比增加,表明盐分对高羊茅地上部分生长的抑制作用大于根系<sup>[31]</sup>;而 Ma 等发现,向日葵遭受盐胁迫时其生物量分配策略是在苗期向根部分配更多的生物量,优先增加细根生长,从而提高芽和开花期的耐盐性和生物量积累,而在达到成熟阶段后,将其生长策略的核心从地下转向地面<sup>[5]</sup>。本试验研究表明,盐胁迫改变了南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊地上和地下生物量的分配。随着盐浓度的升高,中高胁迫浓度时南美蟛蜞菊的根冠比逐渐减少,而本地蟛蜞菊的根冠比却逐渐增加。这说明南美蟛蜞菊和本地蟛蜞菊在应对盐胁迫时的生物量的分配策略不同,南美蟛蜞菊会将更多的生物量转移到地上,而本地蟛

蜚菊将更多的生物量转移到地下,由此推测在应对盐胁迫时南美蜚菊会优先保证地上部分尤其是叶片的生长,通过增加叶片的光合作用来补偿盐胁迫带来的损伤,而本地蜚菊将更多的生物量集中在根部,优先保证根的生长以便更好地从土壤中吸收营养,来缓解盐胁迫对植物生长造成的影响。

有研究表明,植物在逆境条件下会产生更多的 MDA<sup>[32]</sup>,也会通过增加细胞内的渗透调节物质来缓解逆境带来的损伤<sup>[33]</sup>。而 POD 和 CAT 等保护酶活性的升高将有利于维持细胞内活性氧的代谢平衡,保护膜结构,从而使植物在一定程度上忍耐、减缓或抵御盐胁迫造成的伤害<sup>[34]</sup>。本试验结果表明,随着盐浓度的升高,南美蜚菊和本地蜚菊叶片中的脯氨酸含量、MDA 含量、POD 活性和 CAT 活性都呈现先增加后下降的趋势。表明这 2 种植物都能积极响应盐胁迫引起的氧化损伤。在低、中、高 3 种胁迫浓度下,这 2 种植物可以通过增加体内脯氨酸的含量和抗氧化酶的活性调节细胞的渗透能力,维持植物体内蛋白质的稳定以抵御盐害,而在超高盐胁迫条件下,这 2 种植物的生长受到很大的影响,不足以抵御高浓度的盐害,因而呈现出脯氨酸含量和抗氧化酶活性下降的趋势,植物体内丙二醛含量的变化也很好地说明了这一点。

综上所述,本试验的结果表明,外来植物南美蜚菊和本地蜚菊对模拟盐胁迫的响应不同,其生存策略也不尽相同。低盐胁迫对南美蜚菊生长的抑制作用并不显著,而对本地蜚菊的生长却有明显地促进作用,这对于未来指导研究和预测南美蜚菊的入侵性和潜在的适生区具有重要的参考意义。

#### 参考文献:

- [1] Zhou J, Cui L J, Pan X, et al. Does salt stress affect the interspecific interaction between regionally dominant *Suaeda salsa* and *Scirpus planiculmis*? [J]. PLoS One, 2017, 12(5): e0177497.
- [2] Strayer D L, Eviner V T, Jeschke J M, et al. Understanding the long-term effects of species invasions [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2006, 21(11): 645–651.
- [3] Legault I R, Zogg G P, Travis S E. Competitive interactions between native *Spartina alterniflora* and non-native *Phragmites australis* depend on nutrient loading and temperature [J]. PLoS One, 2018, 13(2): e0192234.
- [4] Ma T, Zeng W, Li Q, et al. Shoot and root biomass allocation of sunflower varying with soil salinity and nitrogen applications [J]. Agronomy Journal, 2017, 109(6): 2545–2555.
- [5] 郭水良, 方 芳. 入侵植物加拿大一枝黄花对环境的生理适应性

- 研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1): 47–52.
- [6] 刘海燕, 李钧敏, 闫 明. 加拿大一枝黄花对盐胁迫的响应[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(5): 124–126.
- [7] 任艳萍, 古 松, 江 莎, 等. 温度、光照和盐分对外来植物黄顶菊种子萌发的影响[J]. 云南植物研究, 2008, 30(4): 477–484.
- [8] Liu G, Siemann E, Gao Y, et al. Nutrient addition amplifies salinity-dependent differences in competitive ability of invasive and native vines [J]. Biological Invasions, 2015, 17(12): 3479–3490.
- [9] Filippou P, Bouchagier P, Skotti E A. Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species *Ailanthus altissima* to drought and salinity [J]. Environmental and Experimental Botany, 2014, 97(1): 1–10.
- [10] 钱万强, 万方浩. 中国启动 IAS1000 计划 [J]. 中国农业科学, 2018, 51(22): 4395–4396.
- [11] 吴彦琼, 胡玉佳, 廖富林. 从引进到潜在入侵的植物——南美蜚菊 [J]. 广西植物, 2005, 25(5): 413–418.
- [12] 陈秀清, 胡亦平, 林益坤, 等. 南美蜚菊叶蛋白提取方法筛选 [J]. 南方农业学报, 2017(7): 1274–1279.
- [13] 詹嘉红, 杨东娟, 林丽云. 超声波辅助提取南美蜚菊精油的工艺研究 [J]. 江苏农业科学, 2013, 41(1): 260–262.
- [14] 廖富林, 杨期和, 曾宪录, 等. 南美蜚菊在煤矿废弃地的栽培与应用研究 [J]. 嘉应学院学报, 2008, 10(3): 55–58.
- [15] Qiang Y, Du D L, Chen Y J, et al. Ent-Kaurane diterpenes and further constituents from *Wedelia trilobata* [J]. Helvetica Chimica Acta, 2011, 94(5): 817–823.
- [16] 柯展鸿, 陈雁飞, 惠 苗, 等. 南美蜚菊和蜚菊化感作用的比较研究 [J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2014(1): 83–88.
- [17] 杨东娟, 朱 慧. 入侵植物南美蜚菊克隆繁殖特性初探 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(15): 6469–6470, 6532.
- [18] Si C C, Dai Z C, Lin Y, et al. Local adaptation and phenotypic plasticity both occurred in *Wedelia trilobata* invasion across a tropical island [J]. Biological Invasions, 2014, 16(11): 2323–2337.
- [19] 易 立, 胡晓颖, 韦 霄, 等. 遮荫对南美蜚菊、蜚菊及其自然杂交种叶片显微结构及叶绿体超微结构的影响 [J]. 广西植物, 2014(1): 19–26, 3.
- [20] 朱建玲, 徐志防, 曹洪麟, 等. 镉对南美蜚菊光合特性的影响 [J]. 生态环境, 2008, 17(2): 657–660.
- [21] Qi S S, Dai Z C, Miao S L, et al. Light limitation and litter of an invasive clonal plant, *Wedelia trilobata*, inhibit its seedling recruitment [J]. Annals of Botany, 2014, 114(2): 425–433.
- [22] Sun S W, Lin Y C, Weng Y M, et al. Efficiency improvements on ninhydrin method for amino acid quantification [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(2/3): 112–117.
- [23] Janero D R. Malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactivity as diagnostic indexes of lipid-peroxidation and peroxidative tissue injury [J]. Free Radical Biology and Medicine, 1990, 9(6): 515–540.
- [24] Amako K, Chen G X, Asada K. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants [J]. Plant & Cell Physiology, 1994, 35(3): 497–504.

张瑞萍,相世刚,刘琪,等. 助剂安融乐对 2 种不同剂型草铵膦除草剂的增效作用[J]. 江苏农业科学,2020,48(4):111-114.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.04.018

# 助剂安融乐对 2 种不同剂型草铵膦除草剂的增效作用

张瑞萍<sup>1,3</sup>, 相世刚<sup>2</sup>, 刘琪<sup>2</sup>, 强胜<sup>2</sup>, 夏爱萍<sup>1</sup>, 魏佳峰<sup>1</sup>, 李春林<sup>1</sup>, 宋小玲<sup>2</sup>

(1. 北京成禾佳信农资贸易有限公司, 北京 100025; 2. 南京农业大学生命科学学院杂草研究室, 江苏南京 210095;

3. 江苏爱佳福如土壤修复有限公司, 江苏南通 226300)

**摘要:**为了明确以卵磷脂和维生素 E 为有效成分的桶混农用增效助剂安融乐对灭生性除草剂草铵膦的增效作用,在温室下测定了 20% 草铵膦水剂和 18% 草铵膦可溶液剂 6 个剂量单用及其与 0.02% (体积比) 安融乐混用后对杂草野生芥菜 (*Brassica juncea*) 的防除效果,统计中毒症状综合指数并得到回归方程及  $ED_{50}$  和  $ED_{90}$  值。结果显示,安融乐与 2 种剂型的草铵膦混用后野生芥菜死亡时间提前 1 d 左右。20% 草铵膦水剂和 18% 草铵膦可溶液剂与安融乐混用处理后,  $ED_{50}$  值 (商品量) 分别降低 207.0、801.0 mL/hm<sup>2</sup>, 增效 23.1% 和 44.8%;  $ED_{90}$  值 (商品量) 分别降低 273.0、397.5 mL/hm<sup>2</sup>, 增效 10.9% 和 12.2%。综上所述,安融乐能有效增加不同剂型草铵膦对野生芥菜的作用速度和防除效果,可作为草铵膦的增效助剂进一步示范和推广。

**关键词:** 安融乐; 草铵膦; 增效作用; 桶混助剂; 除草效果; 野生芥菜

**中图分类号:** S482.92 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)04-0111-04

草铵膦具有活性高、杀草谱广、作用速度快、低

毒、环境兼容性好等特点<sup>[1]</sup>,随着草铵膦抗性基因的发现及耐草铵膦转基因大豆、油菜、玉米、棉花、甜菜、烟草等转基因作物的商业化种植<sup>[2-3]</sup>,草铵膦的使用量呈不断增长态势,目前已经成为非选择性茎叶处理除草剂的第二大品种,也是全球第二大转基因作物耐受除草剂品种<sup>[4]</sup>。重复使用同一种除草剂会导致杂草群落的改变,且会加速抗药性杂草的产生,如何科学合理使用除草剂值得深入研究<sup>[5]</sup>。

助剂是缓解除草剂对环境污染、延缓抗性杂草

收稿日期:2019-11-18

基金项目:2019 年江苏省“双创”计划;校企合作项目“安融乐对除草剂的增效机理及应用技术研发”(编号:2017392);2019 年江苏省南通市“江海英才”计划。

作者简介:张瑞萍(1981—),女,河北滦县人,博士,研究方向为药肥增效减量技术, E-mail: zhangrp2006@sina.com;共同第一作者:相世刚(1995—),男,硕士研究生,研究方向为除草剂助剂应用, E-mail: xsgxiangshigang@163.com。

通信作者:宋小玲,博士,教授,博士生导师,研究方向为杂草生物生态学及管理。 E-mail: sxl@njau.edu.cn。

[25] Morales Hernandez C E, Padilla Guerrero I E, Gonzalez Hernandez G A, et al. Catalase overexpression reduces the germination time and increases the pathogenicity of the fungus *Metarhizium anisopliae* [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2010, 87 (3): 1033-1044.

[26] 许祥明,叶和春,李国凤. 脯氨酸代谢与植物抗渗透胁迫的研究进展[J]. 植物学通报,2000,17(6):536-542.

[27] Davey M W, Stals E, Panis B, et al. High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues[J]. Analytical Biochemistry, 2005, 347(2):201-207.

[28] 王智明,张峰举,许兴. 植物耐盐生理生化指标研究进展[J]. 湖北农业科学,2014,53(7):1493-1496.

[29] Glenn E, Tanner R, Mendez S, et al. Growth rates, salt tolerance and water use characteristics of native and invasive riparian plants from the delta of the Colorado River, Mexico [J]. Journal of Arid Environments, 1998, 40(3):281-294.

[30] Kazemeini S A, Pirasteh - Anosheh H, Basirat A, et al. salinity tolerance threshold of berseem clover (*Trifolium alexandrinum*) at different growth stages [J]. Pakistan Journal of Botany, 2018, 50 (5):1675-1680.

[31] 朱义,谭贵娥,何池全,等. 盐胁迫对高羊茅 (*Festuca arundinacea*) 幼苗生长和离子分布的影响[J]. 生态学报,2007, 27(12):5447-5454.

[32] Yang Y L, Shi R X, Wei X E, et al. Effect of salinity on antioxidant enzymes in calli of the halophyte *Nitraria tangutorum* Bobr [J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 2010, 102(3):387-395.

[33] Liang Y C, Chen Q, Liu Q, et al. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in Roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.) [J]. Journal of Plant Physiology, 2003, 160(10):1157-1164.

[34] 杜浩,张彬,黄萍,等. 4 个甜高粱品种 (系) 发芽期耐盐性比较分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(12):63-66.