

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201511003

何森,王欢,徐鹏飞,等. 芒和荻种子对复合盐碱胁迫的生理响应 [J]. 广西植物, 2016, 36(6):720-727

HE M, WANG H, XU PF, et al. Effects of complex salt-alkali stress on the physiological characteristics of *Miscanthus sinensis* and *M. sacchariflora* [J]. Guihaia, 2016, 36(6):720-727

芒和荻种子对复合盐碱胁迫的生理响应

何 森¹, 王 欢¹, 徐鹏飞², 刘长乐³, 周蕴薇^{1*}

(1. 东北林业大学 园林学院, 哈尔滨 150040; 2. 威海绿苑园林工程有限公司, 山东 威海 264200; 3. 黑龙江省林业科学院, 哈尔滨 150040)

摘 要: 土壤盐碱化在世界范围内普遍存在, 日益严峻的盐碱化形势严重威胁着植物的生长发育。芒 (*Miscanthus sinensis*) 和荻 (*Miscanthus sacchariflora*) 作为能源植物具有良好的经济效益和生态效益, 并且在城市园林中已得到广泛应用。该研究以引种自辽宁省本溪阿家岭的芒和哈尔滨市太阳岛的荻为对象, 模拟我国东北大庆盐碱地的低(浓度 1、2)、中(浓度 3)、高(浓度 4、5)浓度土壤环境, 分别对芒和荻的种子进行复合盐碱胁迫处理, 对芒和荻的种子萌发情况进行研究。结果表明: (1) 复合盐碱胁迫处理下, 芒种子的发芽率随着复合盐碱浓度的升高而降低, 发芽势、活力指数、发芽指数、胚根长度、胚芽长度、胚根鲜重、胚芽鲜重和耐盐碱指数均先升高后降低; 荻种子的发芽率、发芽势、活力指数、发芽指数、胚根长度、胚芽长度、胚根鲜重、胚芽鲜重和耐盐碱指数均随着复合盐碱浓度的升高而降低。(2) 芒和荻的种子能够抵抗低、中浓度的复合盐碱胁迫处理, 当高浓度的复合盐碱胁迫处理时, 各项指标均下降明显, 且芒种子的各项指标均优于荻种子, 说明芒种子比荻种子更耐盐碱。该研究结果基本界定芒荻种子的复合盐碱耐受范围, 为今后芒荻类能源植物的耐盐碱性筛选和在园林中的应用提供了理论依据。

关键词: 芒, 荻, 复合盐碱胁迫, 种子, 生理特性

中图分类号: Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2016)06-0720-08

Effects of complex salt-alkali stress on the physiological characteristics of *Miscanthus sinensis* and *M. sacchariflora*

HE Miao¹, WANG Huan¹, XU Peng-Fei², LIU Chang-Le³, ZHOU Yun-Wei^{1*}

(1. College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. Weihai Luyuan Gardening Engineer Co., Ltd, Weihai 264200, China; 3. Heilongjiang Academy of Forestry, Harbin 150040, China)

Abstract: Today, soil salinization is prevalent in the world. The increasingly salinization seriously threatened the growth and development of plants. With good economic and ecological benefits, *Miscanthus sinensis* and *M. sacchariflora* which are energy plants have been widely used in urban landscape architecture. Taking *M. sinensis*, introduced from Ajialing of Benxi, Liaoning Province, and *M. sacchariflora*, introduced from Sun Island of Harbin, as materials, and simulating the saline-alkali soil environment of Daqing in northeast of China which include low (concentration 1, 2), middle (concentration 3) and high concentration (concentration 4, 5), we studied the seed germination of *M. sinensis* and *M. sacchariflora*

收稿日期: 2015-11-03 修回日期: 2016-03-24

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划课题(2013BAJ12B02); 黑龙江省科研院所基本科研业务费专项; 林业公益性行业科研专项(201404202) [Supported by the National Key Technology R & D Program During the Twelfth Five-year Plan Period(2013BAJ12B02); Fundamental Research Funds of Scientific Research Institutes in Heilongjiang Province; Forestry Industry Research Special Funds for Public Welfare Projects(201404202)].

作者简介: 何森(1975-), 女(满族), 辽宁本溪人, 博士, 副教授, 主要从事园林植物种质资源的教学和科研工作, (E-mail) hemiao@nefu.edu.cn.

*通讯作者: 周蕴薇, 博士, 教授, 主要从事园林植物资源等方向研究工作, (E-mail) nefuzhouyw@126.com.

when they were in the complex salt-alkali stress treatments. The main experiment results were as follows: In the complex salt-alkali stress treatment, the germination percentage of *M. sinensis* seed decreased with the complex salt-alkali concentration increasing, but other indexes of *M. sinensis* seed included the germination energy, seed vigor index, germination index, radicle length, germ length, radicle weight, germ weight and drought-salt index increased at first and then decreased. All the indexes of *M. sacchariflora* seed included the germination percentage, germination energy, seed vigor index, germination index, radicle length, germ length, radicle weight, germ weight and drought-salt index decreased with the mixed alkali-saline concentration increasing. It was found that the two kinds of seeds could resist complex salt-alkali stress of middle and low concentration. When they were in high concentration, all the indexes decreased obviously. But each index of *M. sinensis* seed was superior to that of *M. sacchariflora* seed which could indicate that the salinity tolerance of the former was stronger than the latter. The study basically defined the complex salt-alkali tolerance range of *M. sinensis* and *M. sacchariflora* seeds. This provides a theoretical basis for the screen of saline-alkali tolerant plant and applications in landscape of energy plants like *M. sinensis* and *M. sacchariflora* in the future.

Key words: *Miscanthus sinensis*, *M. sacchariflora*, complex salt-alkali stress, seed, physiological characteristics

土壤盐碱化在世界范围内普遍存在,尤其是在较为干旱的地区,盐碱化问题显得更为严重,据不完全统计,世界范围内的盐碱地面积约为 9.54 亿 hm^2 ,而我国盐碱地面积约 670 万 hm^2 ,约占耕地总面积的 7% (耿华珠等,1990)。大庆市位于松嫩平原腹地,是我国重要的石油城,而松嫩平原是我国北方土壤盐渍化最严重的区域之一 (刘东兴和宫伟光,2009),盐碱地面积占全国盐碱地总面积的一半以上,盐碱化形式日益严峻 (宋德成等,2014)。土地盐碱化程度过高,会严重抑制植物的生长发育,土地几乎不能使用 (田福平等,2004)。盐碱胁迫能引起植物的生理干旱 (张敏等,2008)、危害植物组织 (商洪池和洪金祥,2003)、影响植物的正常营养 (夏阳等,2005)、引发氨的积累 (商洪池和洪金祥,2003)、并影响植物的气孔关闭 (段九菊等,2008)。如何改良盐碱化土壤、合理地将盐碱地利用起来,成为目前急需解决的问题,而利用、筛选耐盐碱植物并培育抗盐碱材料是改良和利用盐碱化土壤最经济有效的措施之一 (李述刚等,1998)。

芒 (*Miscanthus sinensis*) 和荻 (*M. sacchariflora*) 是禾本科极具开发潜力的 C_4 能源植物,引起了很多欧美国家的关注 (Pang et al,2014)。芒荻类植物在我国主要分布有 14 个种,全国各地均有分布 (赵先南和萧运峰,1990),但是不同种在地理区域分布上也有差异,例如川芒几乎只生长于四川地区。芒荻类植物一般靠地下横走茎繁殖,可连续生长,生长量在 3~5 a 后基本维持稳定 (周昌弘等,2007)。芒荻类植物不仅有很高的经济价值,而且在生态保护和园林应用中有很潜力。五节芒能适应重金属残留较严重的地区,对重金属地区的生态恢复起到了很

大的作用,有效降低该地区土壤中重金属的含量 (张崇邦等,2009)。五节芒之所以能忍受重金属的土壤环境,主要是因为其体内有特殊的耐受机制 (Ezaki et al,2008)。芒荻群落比起一般的植物,能吸收更多的二氧化氮,同时也能固尘、吸收空气热量、调节空气湿度和温度,对缓解温室效应作用显著 (Lewandowski & Kicherer,1997;陈曦等,2007)。某些情况下,园林应用上的竞争力甚至超过宿根花卉 (苏醒,2009)。本研究以能源植物芒和荻为研究对象,模拟我国东北大庆盐碱地的土壤盐碱胁迫环境,对芒和荻的种子萌发情况进行研究,以期为今后芒和荻类能源植物的耐盐碱性筛选和在园林应用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料

所用种子材料分别是 2012 年 10 月份采自于辽宁省本溪市阿家岭 ($41^{\circ}14'47''\text{N}$, $123^{\circ}41'45''\text{E}$) 的中国芒种子和 2012 年 10 月份采自于黑龙江省哈尔滨市松花江北岸太阳岛风景区 ($45^{\circ}47'09''\text{N}$, $126^{\circ}35'28''\text{E}$) 外围的荻种子,种子采完后保存于东北林业大学园林学院种子储藏柜中,并于 12 月上旬进行复合盐碱胁迫下的种子萌发试验。

1.2 试验设计

采用滤纸皿床发芽试验,选取外观形态完好,无机械损伤和病虫害,大小一致,籽粒饱满充实的中国芒和荻种子,用 5% 的次氯酸钠溶液消毒 5 min 后,用蒸馏水将表面的残留溶液冲洗干净,用滤纸将多余的水分吸干,备用。试验分为 5 个处理组和 1 个

表 1 复合盐碱溶液的成分
Table 1 Composition of complex salt-alkali liquor

浓度级别 Concentration level	处理组别 Treatment group	MgCl ₂ (g · L ⁻¹)	KCl (g · L ⁻¹)	NaCl (g · L ⁻¹)	CaCl ₂ (g · L ⁻¹)	Na ₂ SO ₄ (g · L ⁻¹)	NaHCO ₃ (g · L ⁻¹)	Na ₂ CO ₃ (g · L ⁻¹)	总量 Total	pH 值 pH value
对照 CK		—	—	—	—	—	—	—	—	7.00
低 Low	L1	0.1976	0.1721	0.2773	0.2220	0.3365	2.5200	0.4220	4.1675	9.38
	L2	0.3952	0.3442	0.5546	0.4440	0.6730	5.0400	0.8440	8.3350	9.72
中 Medium	M	0.5928	0.5163	0.8319	0.6660	1.0095	7.5600	1.2660	12.5025	10.04
高 High	H1	0.7904	0.6884	1.1092	0.8880	1.3460	10.0800	1.6880	16.6700	10.38
	H2	0.9880	0.8605	1.3865	1.1100	1.6825	12.6000	2.1100	20.8375	11.02

对照组(CK),5个处理组溶液是模拟大庆碱斑土盐分的种类和pH值,相当于碱斑土盐分浓度1倍、2倍、3倍、4倍和5倍配置的复合盐碱溶液,具体配置方法如表1所示(李淑娟,2010),对照组(CK)用蒸馏水进行处理。

在经过消毒处理的9cm培养皿中铺入2层滤纸并将其润湿,将消毒好的芒和荻的种子整齐地摆在滤纸上,每皿50粒,分别在各个培养皿中滴入3mL各浓度复合盐碱液,对照组(CK)则用等量蒸馏水处理,每组设置3次重复。将培养皿放入东北林业大学园林学院110室光照培养箱中进行发芽试验,培养箱的设置应为温度24℃、光照5000lx、湿度70%。每天在培养皿中加入1mL复合盐碱液,滤纸每2d一换,连续培养10d。每天上午9时进行观察并详细记录发芽情况。

1.3 测定项目及测定方法

中国芒和荻种子的测定方法主要是根据《种子检验学》里面的相关规定,从种子放入培养皿中第1d起,把胚芽长度是种子长度1/2时作为种子发芽的标识,每天上午9时准时记录每个培养皿中发芽种子的数量,并观察是否有种子产生霉变,在其中选择6个长势最好的测量其胚根、胚芽的长度,当连续3d芒和荻种子的发芽数量达不到供试验种子总量1%时,作为发芽结束的标识。试验结束后,用天平和游标卡尺分别测量胚芽、胚根的鲜重和长度。

1.4 种子指标计算

1.4.1 种子相关指标的计算方法

种子的发芽率、发芽势、活力和发芽指数的计算方法主要参照的是《国际种子检验规程》的相关规定(国际种子检验协会,1995),公式具体如下:

$$\text{发芽率}(\%) = \frac{\text{发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%$$

$$\text{发芽势}(\%) = \frac{\text{达到高峰时发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%$$

发芽指数(GI) = $\sum(Gt/Dt)$,式中,Gt为第t天芒和荻种子的发芽数,Dt为对应的天数。

活力指数(VI) = GI × S,其中S为植株鲜重

1.4.2 芒荻种子萌发耐盐碱指数的计算 芒荻种子耐盐碱指数的计算主要参照王赞等的种子萌发抗旱指数的计算方法(王赞,2008),公式如下:

$$\text{萌发耐盐碱指数} = \frac{\text{复合盐碱胁迫条件下的萌发指数}}{\text{对照萌发指数}}$$

式中,萌发指数 = $(1.00)nd_2 + (0.75)nd_4 + (0.50)nd_6 + (0.25)nd_8$

nd₂,nd₄,nd₆,nd₈分别为第2、4、6、8天芒和荻种子发芽率;1.00,0.75,0.50,0.25分别为相应发芽天数所赋予的耐盐碱系数。

1.5 数据处理和分析

试验数据的处理、Duncan多重比较分析、显著性分析、方差分析及相关性分析均采用SPSS 19.0和Excel 2007软件进行。

2 结果与分析

2.1 复合盐碱胁迫对芒和荻种子萌发的影响

2.1.1 对芒和荻种子发芽率和发芽势的影响 由图1可见,在同一浓度下,芒种子的发芽率明显高于荻种子,并随着复合盐碱浓度的增加,这种差距越来越明显。从复合盐碱浓度对芒和荻种子发芽率影响的变化趋势来看,随着复合盐碱浓度的不断增加,芒和

荻种子的发芽率都呈现出下降趋势,但对芒种子而言,在浓度1、2、3处理时,芒种子的发芽率与对照组(CK)差异性不显著($P>0.05$)。这说明此浓度下的复合盐碱胁迫对芒种子的发芽率几乎没有抑制作用,当达到浓度4时,与对照组(CK)相比,差异性显著($P<0.05$),浓度5时,发芽率更低,此浓度下复合盐碱胁迫对芒种子发芽率有明显的抑制作用。而荻种子的发芽率,在浓度1、2、3处理时,就显著低于对照组(CK) ($P<0.05$),此时的复合盐碱胁迫处理对荻种子发芽的抑制作用已经很明显,在浓度4、5处理时,与对照组(CK)差异更为明显,基本上不萌发。

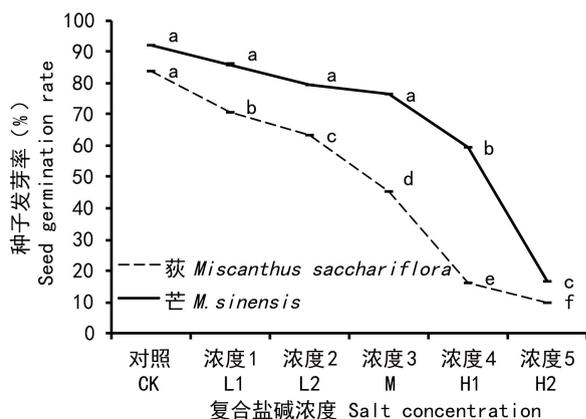


图1 复合盐碱胁迫对芒和荻种子发芽率的影响 数据为平均值±标准差;CK为对照,L1、L2为低浓度,M为中浓度,H1、H2为高浓度;不同字母表示同一植物种不同处理组之间差异显著($P<0.05$)。下同。

Fig. 1 Effects of complex salt-alkali stress on the seed germination rate of *Miscanthus sinensis* and *M. Sacchariflora*.

Data were means±SD; CK means control check, L1, L2 means low concentration, M means medium Concentration, and H1, H2 means High concentration; Values with different lower case letters show significant differences among different treating groups in the same plant species ($P<0.05$). The same below.

由图2可见,在同一浓度下,芒种子的发芽势明显高于荻种子,且芒种子的发芽势随着复合盐碱浓度的增加呈现先上升后降低的趋势,在浓度1、2处理时,与对照组(CK)差异性不显著,浓度3、4则显著低于对照(CK),而在浓度5处理时,芒种子的发芽势与对照组(CK)相差更大。荻种子的发芽势随着复合盐碱浓度的增加呈现逐渐下降的趋势,在浓度1处理时与对照组相比,差异性不显著($P>0.05$),当达到浓度2、3、4、5时,荻种子发芽势迅速下降,与对照组(CK)相比差异明显。

2.1.2 对芒和荻种子发芽指数和活力指数的影响

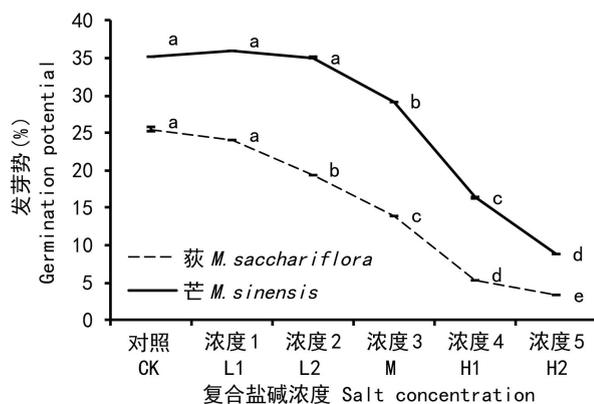


图2 复合盐碱胁迫对芒和荻种子发芽势的影响

Fig. 2 Effects of complex salt-alkali stress on the seed germination energy of *Miscanthus sinensis* and *M. Sacchariflora*

如图3、4所示,随着复合盐碱浓度的增加,芒种子的活力指数和发芽指数均呈现出先升高后降低的趋势,说明低浓度的复合盐碱处理对芒种子的活力和萌发指数有促进作用,而当浓度进一步增大时,就会对其产生抑制效果。而荻种子的活力指数和发芽指数相对于芒种子来说较低,且随着复合盐碱浓度的增加,呈现出不断下降的趋势,这说明低浓度的复合盐碱胁迫处理也会对荻种子的活力指数和萌发指数产生抑制作用。从种子的活力指数来看,浓度1、2处理时芒种子的活力指数显著高于对照组(CK),而当浓度达到浓度4时,则显著低于对照组(CK),荻种子的活力指数在浓度1、2时,与对照组(CK)相比,差异性不显著($P>0.05$),而到浓度3、4时,则显著低于对照组(CK)。从种子的发芽指数来看,芒种子的发芽指数在浓度1时略有升高,但与对照组(CK)相比,差异性不显著($P>0.05$),从浓度2开始芒种子的发芽指数开始缓慢下降,在浓度3、4时,与对照组(CK)相比,差异性显著($P<0.05$),而荻种子在浓度2处理时发芽指数就开始显著低于对照组(CK),之后继续降低,当浓度5的复合盐碱液处理时,芒和荻种子的活力和发芽指数都几乎趋近于0,基本上丧失了发芽能力。

2.2 复合盐碱胁迫对芒和荻种子发育的影响

2.2.1 对芒和荻种子胚根和胚芽长度的影响 如图5、6所示,随着复合盐碱浓度的不断增大,芒种苗的胚根胚芽长度均呈现出先升高后下降的趋势,芒种苗的胚根长度在浓度1时略有上升,但是与对照组(CK)相比较,差异性并不显著($P>0.05$),在浓度2、

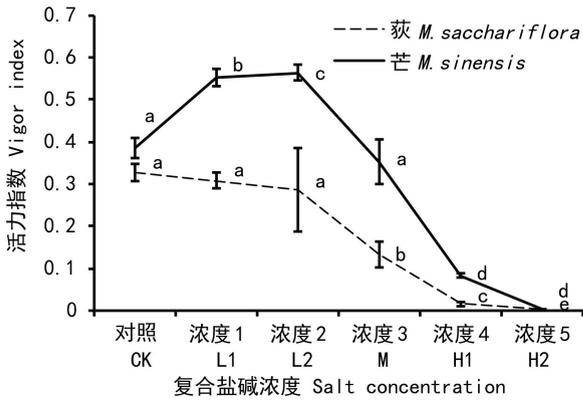


图3 复合盐碱胁迫对芒和荻种子活力指数的影响
Fig. 3 Effects of complex salt-alkali stress on the seed vigor index of *Miscanthus sinensis* and *M. sacchariflora*

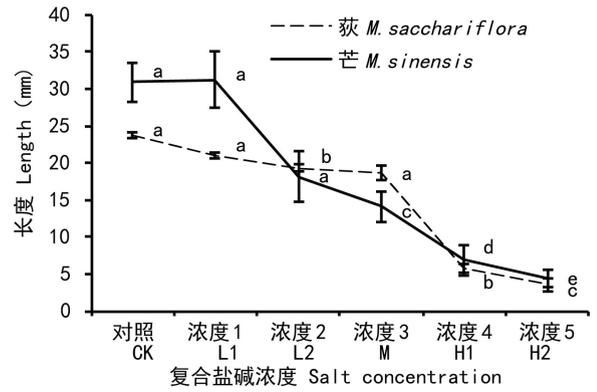


图5 复合盐碱胁迫对芒和荻胚根长度的影响
Fig. 5 Effects of complex salt-alkali stress on the seedling radicle length of *Miscanthus sinensis* and *M. Sacchariflora*

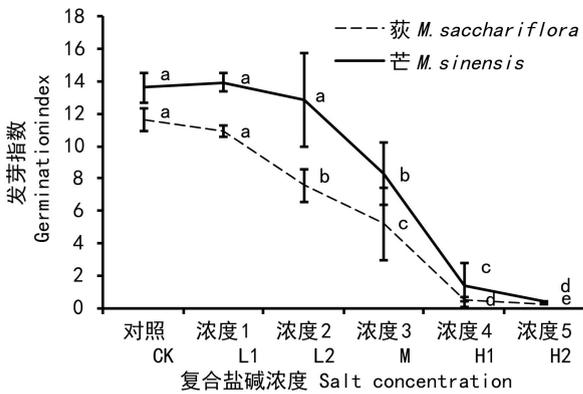


图4 复合盐碱胁迫对芒和荻种子发芽指数的影响
Fig. 4 Effects of complex salt-alkali stress on the seed germination index of *Miscanthus sinensis* and *M. Sacchariflora*

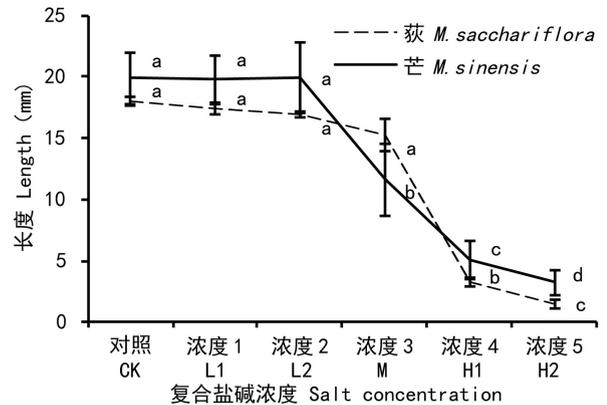


图6 复合盐碱胁迫对芒和荻胚芽长度的影响
Fig. 6 Effects of complex salt-alkali stress on the seedling germ length of *Miscanthus sinensis* and *M. Sacchariflora*

3、4处理时,胚根长度开始下降并显著低于对照组(CK) ($P < 0.05$),芒种苗的胚芽长度在浓度1、2处理时略有上升,同样在与对照组(CK)相比时,差异性不显著 ($P > 0.05$),而在浓度3、4处理时,芒种苗的胚芽下降明显,在浓度5处理时,芒种苗胚根胚芽长度基本停止生长,因此低浓度的复合盐碱处理会对芒种苗的胚根胚芽生长起到促进作用,但是随着复合盐碱浓度的增大,抑制作用就会显现出来。

荻种苗的胚根胚芽长度随着复合盐碱浓度的增加呈现出下降的趋势,荻种苗的胚根长度在浓度1、2、3处理时就开始下降,与对照组(CK)相比,差异性不显著 ($P > 0.05$),但在浓度4处理时,则显著低于对照组(CK)。而荻种苗胚芽的生长情况和它的胚根生长情况相似。在浓度5时荻种苗胚根胚芽的

生长也基本停止,因此无论高浓度还是低浓度的复合盐碱胁迫处理,都会对荻种苗胚根胚芽的生长产生抑制作用。

2.2.2 对芒和荻种子胚根和胚芽鲜重的影响 如图7、8所示,随着复合盐碱浓度的不断增加,芒种苗的胚根胚芽鲜重所呈现出的趋势均是先升高后降低。芒种苗胚根的鲜重在浓度1时略有升高,在浓度2、3时迅速下降,与对照组(CK)相比,差异性显著 ($P < 0.05$),芒种苗胚芽鲜重的生长变化和胚根相似,且都在浓度4、5时生长基本停止,说明低浓度的复合盐碱处理促进芒种苗胚根胚芽鲜重的增加,而高浓度则会对其产生抑制。对荻幼苗的胚根胚芽鲜重而言,随着复合盐碱浓度的增加,均呈现下降趋势,而胚芽的变化趋势较胚根明显,荻胚根鲜重在浓度

1、2 处理下与对照组(CK)相比,差异性不显著($P > 0.05$),浓度 4、5 处理下,显著低于对照组(CK)。荻幼苗胚芽的鲜重在浓度 1 时略有降低,但在浓度 2、3、4 时开始迅速下降,与对照组(CK)相比,差异性显著($P < 0.05$)。以上说明无论高浓度还是低浓度的复合盐碱胁迫,都对荻胚根胚芽鲜重有抑制作用,但对胚芽的抑制作用要高于胚根。

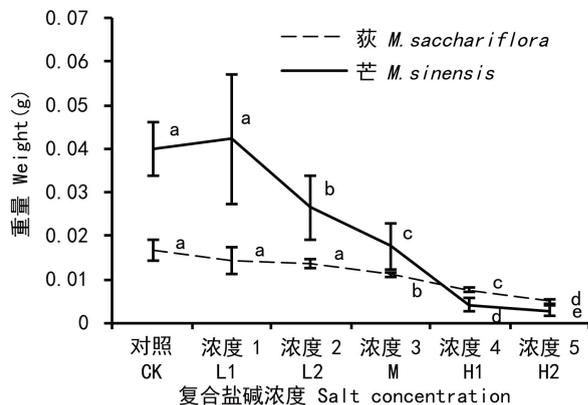


图 7 复合盐碱胁迫对芒和荻胚根鲜重的影响

Fig. 7 Effects of complex salt-alkali stress on the seedling radicle weight of *Miscanthus sinensis* and *M. Sacchariflora*

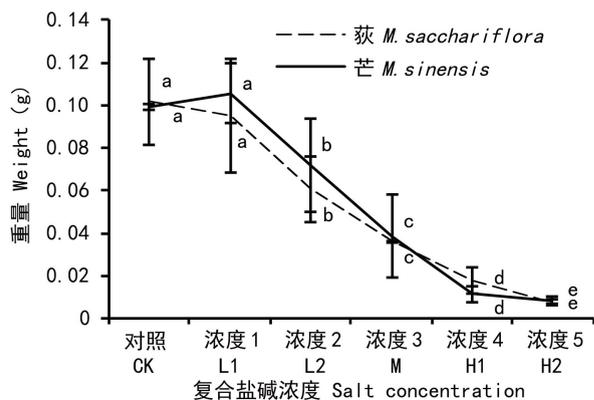


图 8 复合盐碱胁迫对芒和荻胚芽鲜重的影响

Fig. 8 Effects of complex salt-alkali stress on the seedling germ weight of *Miscanthus sinensis* and *M. Sacchariflora*

2.3 复合盐碱胁迫对芒和荻种子耐盐碱指数的影响

如图 9 所示,随着复合盐碱浓度的增大,芒种子的耐盐碱指数呈现出先上升后下降的趋势,在浓度 1、2 处理时,耐盐碱指数与对照组(CK)相比略有提升,在浓度 3、4 处理时,芒种子的耐盐碱指数迅速下降,并显著低于对照组(CK)。当达到浓度 5 时,基

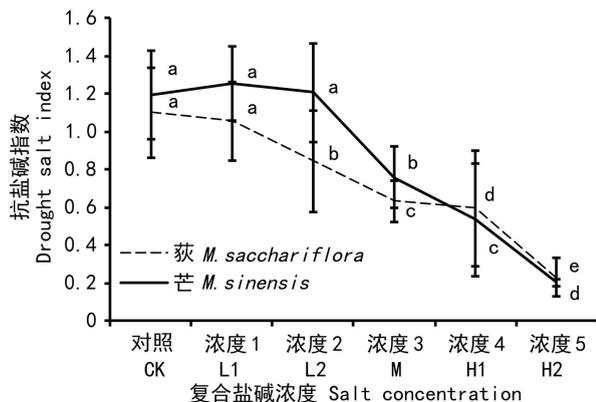


图 9 复合盐碱胁迫对芒和荻种子耐盐碱指数的影响
Fig. 9 Effects of complex salt-alkali stress on the seed drought salt index of *Miscanthus sinensis* and *M. Sacchariflora*

本上丧失耐盐碱能力。而荻种子的耐盐碱指数随着复合盐碱浓度的增大,所呈现出的趋势是逐渐降低,在浓度 1 与对照组(CK)相差不大,并在浓度 2 之后下降明显,与对照组(CK)相比,差异性显著($P < 0.05$),同样到浓度 5 时,基本上丧失了耐盐碱能力。

3 讨论与结论

土壤盐碱化是影响东北松嫩平原植物生长主要逆境因素之一。种子能在盐碱胁迫的条件下萌发出苗,是植物在盐碱条件下生长发育的前提(刘玉艳等,2009)。以往对于植物盐碱胁迫方面的研究大多集中于植物成熟苗期(即种子萌发后 30 d 左右)(YANG et al,2008),而关于盐碱胁迫对植物种子发芽阶段影响的探讨较为缺乏。所以,芒和荻种子对盐碱胁迫响应的研究,在植物耐盐碱性早期鉴定和耐盐碱个体早期选择及园林应用上具有重要实践价值和理论指导意义。

植物能否在土壤上健康长成,取决于种子萌发态势的优劣。种子萌发包含了复杂的生理生化变化过程,受多种因素影响,其中土壤盐碱环境对种子萌发影响较大(Han et al,1997)。发芽率、发芽势、发芽指数和种子活力是种子各项指标最综合的反映,这 4 个指标能有效反映复合盐碱胁迫对种子发芽的影响。在本研究中,对于芒种子来说,除了发芽率随着复合盐碱液的浓度升高而降低外,发芽势、发芽指数、活力指数均表现出低浓度复合盐碱胁迫处理会促进其发芽,而高浓度处理则会对其产生抑制作用。

在这个过程中,低浓度盐碱胁迫对芒种子萌发的促进作用,会随着盐碱浓度的增加而逐渐消失,抑制作用反而逐渐增强。低浓度盐碱胁迫能够促进芒种子的萌发,可能是由于低浓度盐碱溶液促进了细胞膜的渗透调节过程,也可能是因为微量无机离子(Na^+)对呼吸酶的刺激作用(郭彦等,2008),而高浓度盐碱胁迫对种子萌发的抑制作用可能与渗透效应和毒性效应有密不可分的关系(张剑云等,2009)。这与国内很多植物种子耐盐碱性的研究结果相似,例如,低浓度的盐碱胁迫刺激了碱地肤种子的发芽,表现出明显的增效效应,高浓度处理诱导了种子的休眠,抑制种子萌发(颜宏等,2006);低浓度盐碱胁迫下农菁11号羊草、农菁7号偃麦草和东北羊草种子的发芽率、发芽势、种子活力指数和发芽指数都高于对照,而高浓度处理时则低于对照(申忠宝等,2012);盐碱胁迫对芨芨草种子萌发也有同样的影响(纪荣花等,2011)。而复合盐碱胁迫处理下荻种子的各项指标变化与芒不同。荻种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均随着复合盐碱液浓度的增加不断降低。同样的,在低浓度的复合盐碱胁迫时各个指标能够维持在较高的水平,而高浓度的复合盐碱胁迫处理时,荻种子各项指标均下降明显,说明高浓度已经不适合其萌发。这与部分燕麦品种的研究结果相似,随着盐碱胁迫浓度的递增,燕麦品种白燕7号和1号种子的发芽率、活力指数、发芽指数都呈现下降的趋势,可能是盐碱胁迫对植物细胞中水和离子热力学平衡的改变,造成高渗胁迫、离子不平衡和离子毒害作用,从而降低种子的发芽率(杨科等,2009)。

随着芒和荻种子进一步吸水 and 萌发,胚根突破种皮,植株将面临的不仅仅是渗透胁迫,还有盐碱环境中阴阳离子所产生的离子胁迫和阴离子产生的pH影响(Shannon & Grieve,1999)。胚根与胚芽的生长是植物种子由萌发期向苗期过渡的重要阶段,同时也是植物能否在盐碱胁迫环境下生存的决定性阶段。在低浓度处理下,燕麦胚芽的生长并未受到显著影响,而胚根的生长却受到明显的抑制作用,说明燕麦胚根生长对盐碱胁迫更为敏感(高战武等,2014)。而在本研究中,芒的胚根胚芽生长在低浓度时受到一定的促进作用,随着复合盐碱浓度的增加,胚根胚芽的长度与鲜重都受到了明显的抑制作用,而对于荻来说,无论高浓度,还是低浓度的复合盐碱胁迫,都对荻胚根胚芽的长度与鲜重有抑制作

用,只不过对胚芽的抑制作用要甚于胚根。

综上所述,芒和荻的种子在低浓度的复合盐碱胁迫时各指标都能维持在较高水平,而高浓度的复合盐碱胁迫处理时,芒荻种子各项指标均下降明显,说明高浓度已不适合芒和荻种子萌发。各浓度处理下,芒种子各项指标基本都优于荻种子,说明芒种子表现出了比荻种子更耐盐碱的特性。大庆地区盐碱地的离子种类和pH值基本符合低、中浓度的复合盐碱液浓度(刘东兴和宫伟光,2009),芒和荻种子能适应低浓度的复合盐碱胁迫处理,在中浓度处理中也有一定的发芽率,说明芒和荻种子基本能适应大庆地区的土壤环境,将有一定的存活率。

植物的耐盐碱性是一种多基因控制的复杂性状,是植物在长期的生态适应中形成的综合结果,并随着发育进程与外界环境条件的改变而变化。因此,不同种甚至是同一种的不同发育阶段耐盐碱性也可能存在很大的差异,因而对于芒和荻的抗盐碱性还需进一步的研究。

参考文献:

- CHEN X, HAN ZQ, KONG FH, et al, 2007. Exploitation and utilization of bioenergy [J]. Prog Chem, 19(7): 1 091-1 097. [陈曦, 韩志群, 孔繁华, 等, 2007. 生物质能源的开发与利用化学进展 [J]. 化学进展, 19(7): 1 091-1 097.]
- DUAN JJ, GUO SR, KANG YY, et al, 2008. Effect of salt stresses on cucumber seedlings root growth and polyamine metabolism [J]. Chin J Appl Ecol, 19(1): 57-64. [段九菊, 郭世荣, 康云艳, 等, 2008. 盐胁迫对黄瓜幼苗根系生长和多胺代谢的影响 [J]. 应用生态学报, 19(1): 57-64.]
- EZAKI B, NAGAO E, YAMAMOTO Y, et al, 2008. Wild plants, *Andropogon virginicus* L. and *Miscanthus sinensis* Anders, are tolerant to multiple stresses including aluminum, heavy metals and oxidative stresses [J]. Plant Cell Rep, 27(5): 951-961.
- GAO ZW, LIN JX, SHAO S, et al, 2014. Effects of complex salt-alkali stresses on seed germination of oat [J]. Pratac Sci, 31(3): 451-456. [高战武, 蔺吉祥, 邵帅, 等, 2014. 复合盐碱胁迫对燕麦种子发芽的影响 [J]. 草业科学, 31(3): 451-456.]
- GENG HZ, LI C, LI MS, 1990. Preliminary study on the salt tolerance of alfalfa [J]. Grassl Chin, 2: 69-72. [耿华珠, 李聪, 李茂森, 1990. 苜蓿耐盐性鉴定初报 [J]. 中国草地, 2: 69-72.]
- GUO Y, YANG HS, ZHAO JB, 2008. Effects of complex saline alkaloid stress on the seed germ ination of soybean [J]. Seed, 27(12): 92-94. [郭彦, 洪双, 赵家斌, 2008. 混合盐碱对大豆种子萌发的影响 [J]. 种子, 27(12): 92-94.]
- HANSON AD, NELSEN CE, EVERSON EH, 1997. Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contracting barley cultivars [J]. Crop Sci, 37: 720-726.
- ISTA, 1995. International rules for seed testing [M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press: 54-57. [国际种子检验协会, 1995. 国际种子检验规程 [M]. 北京: 北京农业大学出版社: 54-57.]

- JI RH, YU L, LU HW, et al, 2011. Effects of saline-alkaloid stress on the seed germination of *Achantherum splendens* [J]. Pratacul Sci, 28(2): 245-250. [纪荣花, 于磊, 鲁为华, 等, 2011. 盐碱胁迫对芨芨草种子萌发的影响 [J]. 草业科学, 28(2): 245-250.]
- LEWANDOWSKI I, KICHERER A, 1997. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus×giganteus* [J]. Eur J Agron, 6(3): 163-177.
- LI SG, CHENG XJ, WANG ZQ, 1998. Agro-ecosystem in the Desert Oases [M]. Beijing: China Meteorological Press: 75-90. [李述刚, 程心俊, 王周琼, 1998. 荒漠绿洲农业生态系统 [M]. 北京: 气象出版社: 75-90.]
- LI SJ, ZHAN YG, YANG CP, et al, 2014. Effects on growth and physiological indices of introduced species of *Fraxinus velutina* under mixed salt stress [J]. J NE For Univ, 38(1): 15-17. [李淑娟, 詹亚光, 杨传平, 等, 2014. 混合盐胁迫对引种绒毛白蜡生长及相关生理指标的影响 [J]. 东北林业大学学报, 38(1): 15-17.]
- LIU DX, GONG WG, 2009. Evaluation of site quality for saline-alkali soil in Daqing [J]. Sci Soil Water Conserv, 7(3): 98-103. [刘东兴, 宫伟光, 2009. 大庆盐碱地立地质量评价 [J]. 中国水土保持科学, 7(3): 98-103.]
- LIU YY, WANG H, YU FM, et al, 2009. Effects of salt stress on *Limonium bicolor* seed germination [J]. Chin J Ecol, 28(9): 1 794-1 800. [刘玉艳, 王辉, 于凤鸣, 等, 2009. 盐胁迫对二色补血草种子萌发的影响 [J]. 生态学杂志, 28(9): 1 794-1 800.]
- PANG J, ZHENG M, WANG A, et al, 2014. Catalytic conversion of concentrated *Miscanthus* in water for ethylene glycol production [J]. Aiche J, 60(6): 2 254-2 262.
- SHANG HC, HONG JX, 2003. Improvement measures and construction methods of saline environment [J]. J Hebei For Sci Technol, 4: 29-32. [商洪池, 洪金祥, 2003. 盐碱环境的改良措施及施工方法 [J]. 河北林业科技, 4: 29-32.]
- SHANNON MC, GRIEVE CM, 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity [J]. SCI Hort-amsterdam, 78: 5-38.
- SHEN ZB, PAN DF, WANG JL, 2012. Effects of saline-alkaloid stress on seed germination and seedling growth of grass [J]. Acta Agr Sin, 20(5): 914-920. [申忠宝, 潘多锋, 王建丽, 等, 2012. 混合盐碱胁迫对5种禾草种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 草地学报, 20(5): 914-920.]
- SONG DC, HONG Y, YU DY, 2014. Analysis on the development and utilization of saline soil in Songnen Plain [J]. Water Resour Hydro NE Chin, (9): 21-22. [宋德成, 洪影, 于大永, 2014. 松嫩平原盐碱地开发利用状况分析 [J]. 东北水利水电, (9): 21-22.]
- SU X, 2009. Investigation and study on resources, design of ornamental grasses and its prospect in landscape-take North and East China for example [D]. Beijing: Beijing Forestry University: 1-91. [苏醒, 2009. 观赏草资源、配植及其在园林中应用前景的调查研究——以华北、华东地区为例 [D]. 北京: 北京林业大学: 1-91.]
- TIAN F, WANG SM, GUO ZG, et al, 2004. Relationship between proline content and water content, single plant drymatter, and drought resistance of alfalfa [J]. Pratacul Sci, 21(1): 3-6. [田福平, 王锁民, 郭正刚, 等, 2004. 紫花苜蓿脯氨酸含量和含水量, 单株干质量与抗旱性的相关性研究 [J]. 草业科学, 21(1): 3-6.]
- WANG Z, LI Y, WU XM, et al, 2008. Study on germination characteristics and drought-resistance evaluation of *Dactylis glomerata* L. under osmotic stress [J]. Chin J Grassl, 30(1): 50-55. [王赞, 李源, 吴欣明, 等, 2008. PEG 渗透胁迫下鸭茅种子萌发特性及抗旱性鉴定 [J]. 中国草地学报, 30(1): 50-55.]
- XIA Y, LIANG HM, WANG TM, et al, 2005. Effects of NaCl stress on Ca, Mg, Fe and Zn contents of different apple organs [J]. Chin J Appl Ecol, 11(3): 431-434. [夏阳, 梁慧敏, 王大明, 等, 2005. 盐胁迫对苹果器官中钙镁铁锌含量的影响 [J]. 应用生态学报, 11(3): 431-434.]
- YAN H, ZHAO W, QIN FM, et al, 2006. Effects of saline-alkaline stress salt on the germination and seedlings of *Kochia sieversiana* and *Kochia scoparia* [J]. J NE Norm Univ: Nat Sci Ed, 38(4): 117-123. [颜宏, 赵伟, 秦峰梅, 等, 2006. 盐碱胁迫对碱地肤、地肤种子萌发以及幼苗生长的影响 [J]. 东北师大学报·自然科学版, 38(4): 117-123.]
- YANG CW, SHI DC, WANG DL, 2008. Comparative effect of salt and alkali stresses on growth, osmotic and ionic balance of an alkali-resistant halophyte *Suaeda glauca* (Bge.) [J]. Plant Growth Regul, 56(2): 179-190.
- YANG K, ZHANG BJ, HU Y, 2009. Effects of complex saline-alkaline stress on seeds germination and physiological and biochemical parameters of oats seedlings [J]. Agr Res Arid Areas, 27(3): 188-192. [杨科, 张保军, 胡银岗, 等, 2009. 混合盐碱胁迫对燕麦种子萌发及幼苗生理生化特性的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 27(3): 188-192.]
- ZHANG CB, WANG J, KE SS, et al, 2009. Effect of natural inhabitation by *Miscanthus floridulus* on heavy metal speciations and function and Diversity of micro-bial community in mine tailing sand [J]. Chin J Plant Ecol, 33(4): 629-637. [张崇邦, 王江, 柯世省, 等, 2009. 五节芒定居对尾矿砂重金属形态、微生物群落功能及多样性的影响 [J]. 植物生态学报, 33(4): 629-637.]
- ZHANG JY, CHEN SH, WEI P, 2009. Study on the salt tolerance of four wild legumes in Tarim River Basin [J]. Pratacul Sci, 26(6): 116-120. [张剑云, 陈水红, 魏萍, 2009. 塔里木河流域4种野生豆科植物种子耐盐性研究 [J]. 草业科学, 26(6): 116-120.]
- ZHANG M, CAI RG, LI HZ, et al, 2008. Responses of seeding growth and endogenous hormone contents in different wheat cultivars to salt stress [J]. Acta Ecol Sin, 28(1): 310-320. [张敏, 蔡瑞国, 李慧芝, 等, 2008. 盐胁迫环境下不同抗盐性小麦品种幼苗长势和内源激素的变化 [J]. 生态学报, 28(1): 310-320.]
- ZHAO XN, XIAO YF, 1990. Plant resources and its exploitation, utilization of the genus *Miscanthus* in Anhui Province [J]. J Wuhan Bot Res, 8(4): 374-381. [赵先南, 萧运峰, 1990. 安徽省的芒属植物资源及其开发利用 [J]. 武汉植物学研究, 8(4): 374-381.]
- ZHOU CH, HUANG S, CHEN SH, 2007. Ecology and evolution of Taiwan *Miscanthus* plant [J]. Sci Dev, 27(10): 1 158-1 169. [周昌弘, 黄生, 陈淑华, 2007. 台湾芒属植物生态与演化 [J]. 科学发展, 27(10): 1 158-1 169.]