

# 种子引发对甜高粱和玉米种子耐盐性的影响

王 莉<sup>1</sup>, 管 博<sup>2</sup>, 周 沫<sup>3</sup>, 于君宝<sup>2</sup>, 张晓龙<sup>1</sup>, 尹 娜<sup>1</sup>, 王 栋<sup>1</sup>

(1. 烟台大学环境与材料工程学院, 山东 烟台 264003;

2. 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室(烟台海岸带研究所), 山东 烟台 264003;

3. 东北师范大学环境学院, 吉林 长春 130024)

## Effects of Seed Priming on Salt Tolerance of Sweet Sorghum and Maize

WANG Li<sup>1</sup>, GUAN Bo<sup>2</sup>, ZHOU Mo<sup>3</sup>, YU Junbao<sup>2</sup>, ZHANG Xiaolong<sup>1</sup>, YIN Na<sup>1</sup>, WANG Dong<sup>1</sup>

**摘 要:**以 M-81 E 甜高粱和郑单 958 玉米 2 种作物种子为实验材料,用 NaCl 模拟盐胁迫,采用水、不同浓度 GA 和 KCl 对甜高粱和玉米种子进行引发处理,研究种子引发对 M-81 E 甜高粱和郑单 958 玉米 2 种种子耐盐性的影响。结果表明:在温度 15 ℃ 条件下,M-81 E 甜高粱种子和郑丹 958 玉米种子吸水饱和的最佳时间分别为 14 h 和 40 h。随着盐浓度的升高,种子的发芽率、发芽速度、根苗长和生物量均显著降低。3 种引发剂均可不同程度增强种子活力、提高发芽质量以及增强耐盐性。其中 GA 引发以 200 mg/L 为最佳引发浓度,KCl 引发以 50 mmol/L 为最佳引发浓度。2 种作物相比郑丹 958 玉米种子较 M-81 E 甜高粱种子有更好的耐盐性。

**关键词:** M-81 E 甜高粱; 郑单 958 玉米; 盐胁迫; 种子引发; 种子活力

DOI 编码: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2015.06.072

中图分类号: S 514; S 513 文献标志码: A

文章编号: 1001-4705(2015)06-0072-06

土壤盐渍化已成为限制植物生长的重要因素<sup>[1-2]</sup>,其中 NaCl 是最主要的盐成分。全球盐碱土约占大陆总面积的 30%<sup>[3]</sup>,中国盐渍化土地分布广泛<sup>[4]</sup>,占耕地面积的 1/3,盐土面积占盐渍土地区土壤盐渍化面

积 46%<sup>[5]</sup>。治理土地盐碱化提高盐碱地粮食产量,筛选耐盐品种,探索增强植物的耐盐性新技术是现阶段农业发展和环境治理的方向。

种子播前处理已被证明有助于提高作物的耐盐性<sup>[6]</sup>,其中种子引发便是有效的处理方法。种子引发是在控制条件下使种子缓慢吸水,为发芽提前进行生理准备的一种播种前种子处理技术,目的是促进种子萌发、减少幼苗之间的差异和增强抗逆性。研究表明,引发过程中种子内部会发生生理生化变化<sup>[7-8]</sup>,种子引发能有效提高种子发芽和出苗时的表现,降低了种子出苗不齐、逆境存活力差的风险<sup>[9-12]</sup>。近年来,盐胁迫对高粱和玉米生理变化的影响以及耐盐的生理生化机制等方面的研究较普遍<sup>[13-19]</sup>。但是种子引发对不同作物耐盐性影响方面的报道较少。马金虎等初步研究表明,用不同浓度的 NaCl 溶液进行种子引发可以增强高粱萌发期及苗期的耐盐性<sup>[20-21]</sup>。Chen 等用 PEG 作为渗透调节剂对菠菜种子进行引发,探讨了 PEG 引发对菠菜种子萌发期发芽情况和生理响应特点的影响<sup>[22]</sup>。索文龙<sup>[23]</sup>、坎平<sup>[24]</sup>等探究了赤霉素作为引发剂对烟草

收稿日期:2015-01-24

基金项目:山东省自然科学基金项目(编号:ZR 2012 CQ 017);山东省自然科学基金杰出青年基金项目(编号:JQ 201114)。

作者简介:王 莉(1989—),女,本科,学士,主要从事作物糖类化学研究;E-mail:807647731@qq.com。

通讯作者:管 博(1981—),男,博士,助理研究员,主要从事植物逆境生理生态学研究;E-mail:guanb627@gmail.com; bguan@yic.ac.cn。

(接上页)

- [8]梁尚燕,彭小飞,路明.不同浓度 IBA 对樱花硬枝扦插生根的影响[J].农技服务,2014(5):116.
- [9]张兆庆,张弛,吴浩浩.微波电磁场生物效应机理研究进展[J].磁性材料及器件,2000(1):53-57,61.
- [10]杨海娇,王智斌,庞岳燕,等.西南桦苗木生长对微波辐射和 IBA 浸种的响应[J].广西林业科学,2013,42(2):120-125.

- [11]刘振学,黄仁和.实验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [12]张力.SPSS 13.0 在生物统计中的应用[M].厦门:厦门大学出版社,2006:68-80.
- [13]郭樑,李莲芳,孙昂,等.云南松胚根与胚轴伸长对遮荫、微波和 IBA 处理的响应[J].西部林业科技,2014,43(3):110-116.

种子萌发的影响;荆燕等<sup>[25]</sup>采用不同引发剂处理对西瓜种子萌发及生理特性的影响进行了研究。

玉米(*Zea mays* L.),被称为是世界第三大粮食作物,其产量仅次于水稻和小麦,中国的玉米产量占世界的第二位(FAO, 1998),但我国却是玉米进口大国,玉米生产远远满足不了国内需求。玉米对于水分需求量大,耐盐能力较差(Katerji et al., 1996),因此探讨玉米增产相关研究至关重要;甜高粱(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)是绿色能源的佼佼者,有“高能作物”之称,具有高能、高光效、抗旱、耐涝、耐盐碱、高生物产量、高含糖量等特点,被认为是最具开发潜力的能源植物之一。

为了探讨适合盐渍化农耕地高效种植作物的新技术,采用水、不同浓度 GA 和 KCl 对 M-81 E 甜高粱和郑单 958 玉米种子进行引发处理,探索适合 2 个物种的最佳种子引发时间。同时对不同引发试剂引发后甜高粱和玉米萌发和早期幼苗的表现进行评估,以期为增强作物耐盐性的新技术的研发提供科学的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试种子为耐盐性甜高粱品种 M-81 E 甜高粱和郑单 958 玉米种子。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 种子预处理

试验前所有种子均用高锰酸钾(3%)进行消毒,处理时间为 10~15 min,流水冲洗 3 次,然后自然风干。

#### 1.2.2 种子吸水饱和实验

根据种子大小设置不同规格培养皿(甜高粱培养皿直径为 9 cm,玉米培养皿规格为 15 cm×15 cm),培养皿底铺上纱布,每个培养皿放置 25 粒种子,4 次重复。实验前称量每个培养皿的种子重量作为初始重量,之后均匀摆入培养皿中,在甜高粱培养皿中加入 13~14 mL 蒸馏水,在玉米培养皿中加入约 30 mL 蒸馏水,用纱布盖上以保证种子完全浸于溶液中。将所有培养皿放在室温约 15 ℃ 的实验台上进行种子吸水实验,每隔一定时间取出种子用滤纸擦去表面水分称重并记录,直到连续 2 次种子重量几乎无变化停止试验。

#### 1.2.3 种子引发处理

设水( $T_1$ )、50 mmol/L KCl( $T_2$ )、100 mmol/L KCl( $T_3$ )、200 mmol/L KCl( $T_4$ )、50 mg/L(赤霉素)GA( $T_5$ )、100 mg/L GA( $T_6$ )、200 mg/L GA( $T_7$ )共 7 个不同的引发处理。每处理设 4 次重复。

挑选籽粒饱满大小均匀的已消毒种子 25 粒放入

培养皿,均匀排列,盖上纱布。甜高粱培养皿中加入 13~14 mL 相应浓度的引发剂,玉米培养皿中加入约 30 mL 引发剂。将培养皿放置在室温约 15 ℃ 的实验台上,甜高粱种子引发处理 14 h,玉米种子引发处理 40 h。然后取出引发完毕的种子用清水冲洗以去除种子表面的引发剂,用滤纸吸干种子表面的水分,室温下回干到引发前的重量。未经引发的干种子作为对照。

#### 1.2.4 种子盐胁迫处理

用 NaCl 溶液模拟盐胁迫,浓度分别为 0、100 mmol/L 和 200 mmol/L。将经不同浓度引发剂引发的和对照种子分别随机取 25 粒置于培养皿中,均匀摆放,用封口膜密封防止水分蒸发。每个处理 4 次重复。发芽前 2 d 每 12 h 记录 1 次,以后每 24 h 记录 1 次。实验在培养箱(BSG-800,上海)中进行,温度 15 ℃、24 h 黑暗条件下发芽,连续 3 d 没有新萌发的种子视为发芽结束。

#### 1.2.5 测定指标

种子发芽率(%)=实际发芽数/种子总数×100%;

发芽速度(%)= $\sum G/t \times 100\%$ ,式中: $G$ 为每天的发芽率, $t$ 为发芽总时间。

种子吸水率(%)= $W_1/W_0 \times 100\%$ ( $W_0$ 为初始重量, $W_1$ 为吸湿过程中的称量值)。

生物量测定:发芽结束后,将不同浓度 NaCl 溶液条件下发芽的甜高粱幼苗用蒸馏水清洗,去除表面盐溶液,分别测量幼苗胚根、胚轴长度,后于 60 ℃ 烘箱中烘干至恒重,每 10 株幼苗为 1 次重复(随机挑选 30 株),共 3 次重复,测量胚根、胚轴生物量。

#### 1.2.6 数据分析

数据用 SPSS 16.0 进行统计分析。单因素方差分析用于比较多种试剂引发效果间的显著性差异(LSD,  $p < 0.05$ ),一般线性模型(General liner model)用于比较试剂和预处理方法以及交互作用的显著性差异(LSD,  $p < 0.05$ ),Excel 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 种子引发最佳时间的确定

由图 1 可知,M-81 E 甜高粱和玉米种子均存在快速吸水期,为种子引发开始的 0~3 h,之后吸水量逐渐降低。M-81 E 甜高粱在 12 h 以后种子吸水基本处于饱和状态,特别是在 14~16 h 阶段部分种子胚根处出现种皮破裂现象。而郑单 958 玉米种子吸水饱和和曲线结果表明,在 3~40 h 种子逐渐转为缓慢吸水阶段,在 40~44 h 阶段部分种子胚根处出现种皮破裂现象。因此认为,甜高粱种子最佳引发时间为 14 h,玉米种子最

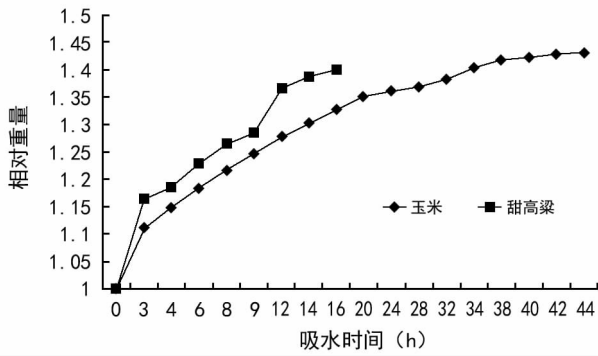


图 1 水引发 M-81 E 甜高粱种子和郑丹 958 玉米种子吸水饱和曲线

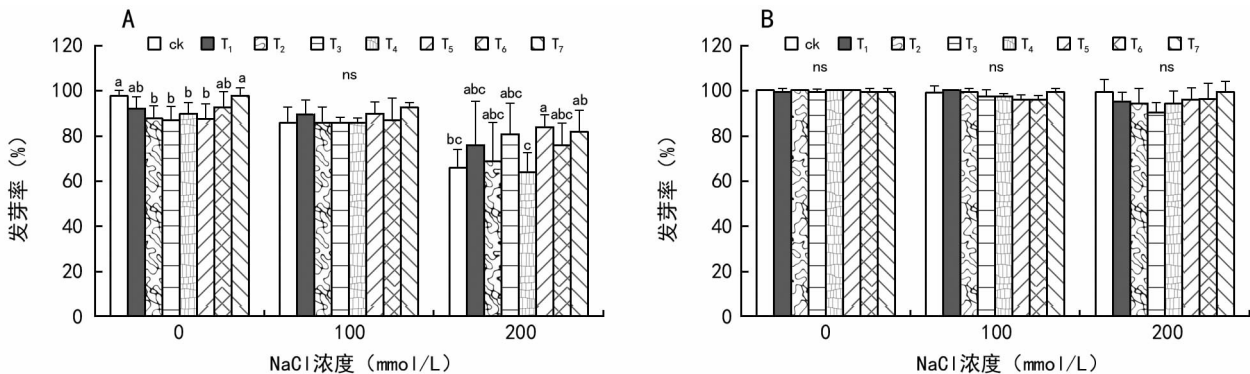
佳引发时间为 40 h。

### 2.2 不同试剂引发对盐胁迫下 2 种种子发芽的影响

由图 2 可知,随着盐胁迫强度增加,甜高粱种子最终发芽率呈逐渐降低的趋势。不同引发剂引发对种子发芽率产生不同程度的影响。对于甜高粱种子而言,在无盐胁迫和 NaCl 浓度为 100 mmol/L 时,种子引发均没有显著提高种子的发芽率( $p < 0.05$ );在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时, $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_5$ 、 $T_6$ 、 $T_7$  处理均不同程度提高了种子的发芽率,其中  $T_7$  处理比 ck 显著提高了 27.27% ( $p < 0.05$ )。而玉米种子在 3 种盐浓

度条件下,最终发芽率均达到了 90% 以上( $p < 0.05$ )。以上结果表明,对甜高粱而言,盐胁迫对其最终发芽率的抑制作用较明显,种子引发处理在盐胁迫条件下均不同程度的提高了种子的最终发芽率,且随着盐浓度的增加促进效果更明显。与甜高粱种子相比,郑单 958 玉米品种具有较高的耐盐性,200 mmol/L NaCl 处理不足以对玉米种子发芽率产生较明显的胁迫,引发处理对玉米种子的最终发芽率的促进效果不明显。

由图 3 可知,随着盐胁迫强度增加,2 种作物种子发芽速度均呈逐渐降低的趋势,种子引发均不同程度的提高了种子的发芽速度。对甜高粱种子而言,在无盐胁迫条件下, $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_5$ 、 $T_6$ 、 $T_7$  处理均不同程度提高了种子的发芽速度,其中  $T_7$  处理比 ck 显著提高了 12.67% ( $p < 0.05$ );在 NaCl 浓度为 100 mmol/L 时,各引发处理均不同程度提高了种子的发芽速度,其中  $T_6$  和  $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 11.64% 和 12.59% ( $p < 0.05$ );在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时, $T_1$ 、 $T_3$ 、 $T_5$ 、 $T_6$ 、 $T_7$  处理均不同程度提高了种子的发芽速度 ( $p < 0.05$ )。对玉米种子来讲,在无盐胁迫下, $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_4$ 、 $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 13.40%、13.26%、11.67%、4.76% ( $p < 0.05$ );在 NaCl 浓度为 100 mmol/L



注:ck—对照; $T_1$ —水引发; $T_2$ —50 mmol/L KCl; $T_3$ —100 mmol/L KCl; $T_4$ —200 mmol/L KCl; $T_5$ —50 mg/L GA; $T_6$ —100 mg/L GA; $T_7$ —200 mg/L GA 同浓度盐胁迫下不同引发处理的差异显著 ( $p < 0.05$ ), ns 表示不同引发处理的差异不显著 ( $p < 0.05$ );下同。

图 2 种子引发对不同浓度盐胁迫下 M-81 E 甜高粱种子(A)和郑丹 958 玉米种子(B)最终发芽率的影响

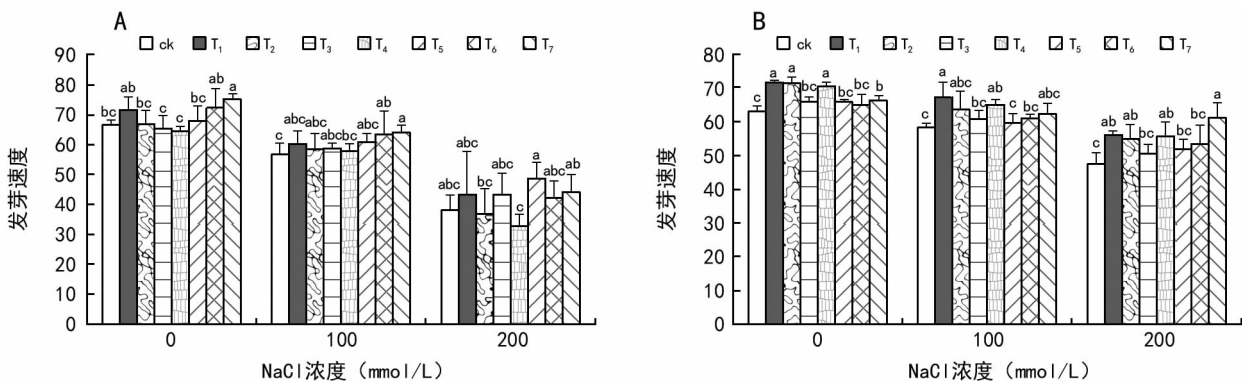


图 3 种子引发对不同浓度盐胁迫下 M-81 E 甜高粱种子(A)和郑丹 958 玉米种子(B)发芽速度的影响

时,  $T_1$ 、 $T_4$  处理分别比 ck 显著提高了 13.39% 和 10.24% ( $p < 0.05$ ); 在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时,  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_4$ 、 $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 17.82%、15.52%、17.24%、28.74% ( $p < 0.05$ )。以上结果表明, 种子发芽速度随着盐胁迫增强而降低, 种子引发处理可以不同程度的提高 2 种作物种子的发芽速度, 且随着盐浓度增加引发效果更加明显,  $T_7$  处理效果较其他引发浓度明显, 能适应更大的盐浓度范围, 958 品系玉米种子较 M-81 E 甜高粱在相同浓度盐胁迫下发芽更快, 有更好的耐盐性, 种子引发对玉米种子发芽速度的促进作用比甜高粱种子效果更明显。

### 2.3 不同试剂引发对盐胁迫下 2 种作物胚根、胚轴长度和生物量的影响

由表 1 可看出, 随着盐胁迫强度增加, 2 种作物胚根胚轴长度均呈显著减小的趋势, 种子引发可以有效促进种子胚根胚轴的生长。对甜高粱种子而言, 在无盐胁迫下, 其胚轴长处理中,  $T_6$  和  $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 12.92% 和 33.97%, 胚根长处理中,  $T_2$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$  和  $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 30.28%、23.34%、16.09%、30.91%、29.65% ( $p < 0.05$ ); 在 NaCl 浓度为 100 mmol/L 时, 其胚轴长处理中,  $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_6$ 、 $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 55.93%、50.85%、84.75%、94.35%、69.49%, 胚根长处理中,  $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$  和  $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 56.85%、40.41%、79.45%、45.43%、71.69%、

38.13% ( $p < 0.05$ )。对玉米种子来说, 在无盐胁迫下, 种子引发对其胚根胚轴的生长并无显著促进作用 ( $p < 0.05$ ); 在 NaCl 浓度为 100 mmol/L 时, 其胚轴长处理中,  $T_5$ 、 $T_6$ 、 $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 15.79%、26.32%、19.30%, 胚根长处理中,  $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$ 、 $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 20.65%、22.83%、43.48%、25.00%、33.70%、26.09% ( $p < 0.05$ ); 在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时, 其胚轴长处理中,  $T_5$ 、 $T_6$ 、 $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 12.50%、50.00%、191.67%, 胚根长处理中,  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$ 、 $T_7$  处理均不同程度促进了其胚根的生长, 其中  $T_7$  处理比 ck 显著提高了 162.79% ( $p < 0.05$ )。可见, 盐胁迫可抑制 2 种作物胚根胚轴的生长, 种子引发可以不同程度的促进 2 种作物胚根胚轴的生长, 且随着盐浓度的增加效果更明显,  $T_7$  处理较其他浓度好, 能适应更大的盐浓度阈值,  $T_2$  处理较其他浓度引发效果好。

由表 2 可看出, 随着盐胁迫强度增加, 2 种作物生物量均呈显著减小的趋势, 种子引发可以有效促进胚根胚轴生物量的积累。对甜高粱而言, 在无盐胁迫下, 胚轴处理中,  $T_2$ 、 $T_4$ 、 $T_6$ 、 $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 21.49%、24.87%、22.67%、36.55%, 胚根处理中,  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$  处理分别比 ck 显著提高了 38.05%、90.73%、65.37%、117.56%、30.73%、36.59% ( $p < 0.05$ ); NaCl 浓度为 100 mmol/L 时, 胚轴处理中,  $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_6$ 、 $T_7$  处理分别比 ck 显著提高了 59.31%、

表 1 种子引发对不同浓度盐胁迫下 M-81 E 甜高粱和郑丹 958 玉米种子胚根、胚轴长度的影响

种子	处理	氯化钠 NaCl(mmol/L)					
		0		100		200	
		胚轴长	胚根长	胚轴长	胚根长	胚轴长	胚根长
郑单 958 玉米	ck	9.3±1.5 ab	17.0±3.3 ab	5.7±1.1 c	9.2±1.8 c	2.4±0.5 cd	4.3±0.9 bc
	$T_1$	6.9±1.4 c	14.5±3.3 ab	5.7±0.8 c	11.0±2.4 bc	2.0±0.8 d	4.6±1.1 bc
	$T_2$	6.4±1.2 cd	14.0±3.6 b	5.8±1.0 bc	11.1±2.3 b	2.2±0.5 cd	5.3±1.5 b
	$T_3$	6.2±1.3 cd	12.4±3.0 b	5.5±1.5 c	11.3±2.7 ab	2.4±0.6 cd	4.1±1.2 c
	$T_4$	5.6±1.6 d	13.3±2.9 b	5.7±1.4 c	13.2±3.5 a	2.2±0.7 d	4.5±1.4 bc
	$T_5$	9.9±1.8 ab	19.3±3.6 a	6.6±1.1 ab	11.5±2.3 ab	2.7±0.7 c	4.9±1.4 bc
	$T_6$	9.1±2.3 b	16.1±3.0 ab	7.2±1.1 a	12.3±3.3 ab	3.6±1.0 b	5.1±1.3 bc
	$T_7$	10.1±2.0 a	14.0±2.9 ab	6.8±1.5 a	11.6±2.7 ab	7.0±1.9 a	11.3±3.3 a
M-81 E 甜高粱	ck	2.09±0.06 c	3.17±0.23 d	0.59±0.02 ef	1.46±0.11 e	0	0
	$T_1$	1.82±0.17 d	3.24±0.24 cd	0.57±0.07 f	1.67±0.15 de	0	0
	$T_2$	1.96±0.03 cd	4.13±0.16 a	0.92±0.11 bcd	2.29±0.32 abc	0	0
	$T_3$	1.89±0.15 d	3.58±0.11 bcd	0.89±0.17 cd	2.05±0.26 cd	0	0
	$T_4$	2.01±0.18 cd	3.91±0.19 ab	1.09±0.06 ab	2.62±0.11 a	0	0
	$T_5$	1.93±0.11 cd	3.68±0.14 abc	0.78±0.13 de	2.12±0.35 bc	0	0
	$T_6$	2.36±0.12 b	4.15±0.57 a	1.15±0.06 a	2.51±0.41 ab	0	0
	$T_7$	2.80±0.07 a	4.11±0.38 a	1.00±0.18 abc	2.02±0.19 cd	0	0

注:表中不同字母表示同一品种在同浓度盐胁迫下不同引发处理之间的差异显著 ( $p < 0.05$ ), 下同。

表 2 种子引发对不同浓度盐胁迫下 M-81 E 甜高粱和郑丹 958 玉米种子生物量的影响

种子	处理	氯化钠 NaCl(mmol/L)					
		0		100		200	
		胚轴重	胚根重	胚轴重	胚根重	胚轴重	胚根重
郑单 958 玉米	ck	33.07±0.25 bc	22.58±1.39 c	21.71±1.92 c	13.48±1.05 bc	11.49±1.93 cd	9.08±0.28 c
	T <sub>1</sub>	32.84±2.26 bcd	17.14±0.94 d	25.54±2.73 bc	8.91±0.92 c	10.20±0.84 d	5.85±0.13 d
	T <sub>2</sub>	27.37±2.74 de	14.76±1.89 d	25.09±1.66 bc	9.63±0.83 c	11.85±1.03 cd	7.02±0.22 d
	T <sub>3</sub>	27.78±4.03 cde	14.92±1.49 d	27.40±2.71 bc	10.62±0.10 c	13.49±0.36 c	6.32±0.47 d
	T <sub>4</sub>	24.09±3.52 e	15.46±1.15 d	28.40±3.33 ab	10.72±0.19 c	12.60±0.48 c	6.16±0.91 d
	T <sub>5</sub>	35.54±4.47 ab	28.67±3.03 b	28.50±3.21 ab	17.81±0.92 ab	12.41±1.14 cd	8.81±1.46 c
	T <sub>6</sub>	34.11±1.54 b	28.95±1.24 b	33.84±2.04 a	20.58±2.37 a	19.08±2.67 b	10.85±0.52 b
	T <sub>7</sub>	39.84±4.51 a	32.83±4.20 a	33.62±6.83 a	21.83±7.48 a	35.30±0.39 a	18.71±2.15 a
M-81 E 甜高粱	ck	1.97±0.05 c	0.68±0.03 d	0.68±0.05 c	0.54±0.05 c	0	0
	T <sub>1</sub>	2.00±0.14 c	0.94±0.07 c	0.64±0.09 c	0.58±0.05 bc	0	0
	T <sub>2</sub>	2.39±0.09 b	1.30±0.15 ab	1.08±0.19 ab	0.90±0.23 a	0	0
	T <sub>3</sub>	2.09±0.11 c	1.13±0.05 b	0.95±0.18 b	0.76±0.11 ab	0	0
	T <sub>4</sub>	2.46±0.18 ab	1.49±0.17 a	1.23±0.04 a	0.88±0.06 a	0	0
	T <sub>5</sub>	1.91±0.18 c	0.89±0.06 c	0.84±0.13 bc	0.74±0.07 ab	0	0
	T <sub>6</sub>	2.42±0.17 b	0.93±0.11 c	1.32±0.11 a	0.88±0.06 a	0	0
	T <sub>7</sub>	2.69±0.25 a	0.86±0.13 cd	0.97±0.24 b	0.71±0.10 ab	0	0

39.22%、80.88%、94.61%、42.16%，胚根处理中，T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>、T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub> 处理分别比 ck 显著提高了 65.03%、39.88%、62.58%、36.20%、61.96%、31.92% (p<0.05)。对玉米来说，在无盐胁迫下，对胚轴的处理，T<sub>7</sub> 处理比 ck 显著提高了 20.47%，对胚根的处理，T<sub>5</sub>、T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub> 处理分别比 ck 提高了 26.97%、28.21%、45.39% (p<0.05)；NaCl 浓度为 100 mmol/L 时，胚轴处理中，T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>、T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub> 处理分别比 ck 显著提高了 30.82%、31.28%、55.87%、54.86%，胚根处理中，T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub> 处理分别比 ck 显著提高了 52.67% 和 61.94% (p<0.05)；NaCl 浓度为 200 mmol/L 时，胚轴处理中，T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub> 处理分别比 ck 显著提高了 66.08% 和 207.34%，胚根处理中，T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub> 处理分别比 ck 显著提高了 19.53% 和 106.06% (p<0.05)。可见，盐胁迫可抑制 2 种作物生物量的积累，种子引发可以有效增加两种作物生物量的积累，且随着盐浓度的增加效果更明显，T<sub>7</sub> 处理效果较其他浓度好，能适应更大的盐浓度阈值，T<sub>2</sub> 处理较其他浓度引发效果好。

### 3 讨 论

3.1 种子引发技术是重要的播前预处理方式，常被用于提高作物在胁迫环境中萌发阶段的表现<sup>[26]</sup>。种子引发的时间因不同物种而各有差异，引发时间的长短决定了种子引发能否成功。因此，探寻不同物种吸湿饱和阶段所需的时间尤为重要，可以有效控制种子引发使其处于最佳阶段。本实验结果表明，在温度 15℃

条件下，M-81 E 甜高粱种子吸水饱和的最佳时长为 14 h，郑丹 958 品系的玉米种子吸水饱和的最佳时长为 40 h。

3.2 最终发芽率是反映种子发芽能力的重要指标，盐胁迫会影响种子的发芽能力，且盐胁迫强度越大，最终发芽率越低<sup>[27]</sup>。发芽速度是衡量种子活力的重要指标，发芽速度越快，说明种子活力越强，在自然条件下能快速的出苗。盐胁迫对发芽率和发芽速度的影响其原因可能是盐胁迫制约种子的吸水速度和吸水量，外界环境中 Na<sup>+</sup> 的进入形成的单盐毒害，在吸胀过程中影响膜修复，甚至造成膜结构的破坏，致使种子内大量溶质外渗<sup>[28]</sup>。种子引发均不同程度的提高了 2 种种子的发芽速度，其原因可能与种子发芽、活力和抗劣变相关酶的活性等有关，从而提高了种子发芽速度<sup>[29]</sup>。本实验结果表明，在温度 15℃、黑暗条件下，3 种引发剂引发均不同程度影响种子的发芽。GA 引发中 200 mg/L 适合更大的盐浓度阈值，50 mg/L GA 在高浓度盐胁迫下也表现出良好的引发效果。KCl 引发中以 50 mmol/L 引发效果最好，可以更有效的提高种子的耐盐性。盐胁迫抑制幼苗的生长，随盐胁迫强度增大幼苗根苗长和根苗重量均下降，这与杨小环等<sup>[30]</sup>、李玉明等<sup>[31]</sup>的研究结论一致。其原因主要是高浓度盐胁迫对幼苗细胞渗透以及引起的离子毒害作用所致<sup>[32-33]</sup>。引发处理可以不同程度地减缓盐胁迫引起的伤害，促进幼苗的生长。本实验中同等浓度盐胁迫下，

种子引发处理组根苗长和生物量均较对照组高,这可能是种子引发处理引起种子内部一些生理生化反应,增强了幼苗的耐盐性。这与阮松林等<sup>[34]</sup>对杂交水稻耐盐性的研究结果一致,说明引发处理可以提高种子的耐盐性。赤霉素作为引发剂对高粱和玉米的促进作用明显,马文广等<sup>[35]</sup>对烟草的研究也有相似的结论。

#### 参考文献:

- [1] Epstein E, Norlyn J D, Rush D W, et al. Saline culture of crops: a genetic approach[J]. Science, 1980, 210(3): 399-404.
- [2] Ghassemi F, Jakeman A J, Nix H A. Salinisation of land and water resource: Human Causes, Extent, Management and Case Studies[M]. CAB International Wallingford, UK, 1995: 1-3.
- [3] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-6.
- [4] 李彬, 王志春, 孙志高, 等. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 154-158.
- [5] 李怒云, 龙怀玉. 植树造林与 21 世纪我国盐渍土开发利用的关系[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(3): 99-100.
- [6] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 81-83.
- [7] 郑光华, 燕义唐, 张庆昌. 大豆种子吸胀冷害与“修补”过程的探讨[J]. 中国科学(B 辑), 1988, 4: 395-402.
- [8] Castro R D, Zheng X Y, Bergervoet J H W, et al.  $\beta$ -Tubulin accumulation and DNA replication in imbibing tomato seeds[J]. Plant Physiol, 1995, 109: 499-504.
- [9] Heydecker W, Higgins J, Gulliver R L. Accelerated germination by osmotic seed treatment[J]. Nature, 1973, 246: 42-44.
- [10] 黄淑贤. 种子引发提高植株耐盐性的研究进展[J]. 南京农业大学, 2010, 14(7): 54-55, 67.
- [11] 刘慧霞, 王彦荣. 水引发处理对紫花苜蓿种子萌发及其生理活动的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(4): 78-84.
- [12] 胡晋主编. 种子生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 302-320.
- [13] 王宝山, 邹琦. NaCl 胁迫对高粱根、叶鞘和叶片液泡膜 ATP 酶和焦磷酸酶活性的影响[J]. 植物生理学报, 2000, 26(3): 181-188.
- [14] 王颖, 杜荣骞, 赵素然. 高粱在盐胁迫下特定蛋白的表达及与耐盐性的研究[J]. 作物学报, 1999, 25(1): 76-81.
- [15] 贝盍临, 张欣, 魏玉清. 盐碱胁迫对 M-81 E 甜高粱种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 河南农业科学, 2012, 41(2): 45-49.
- [16] 周桂生, 安琳琳, 童晨, 等. 盐胁迫对甜高粱种子吸水 and 萌发的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(12): 84-86.
- [17] 葛江丽, 石雷, 谷卫彬, 等. 盐胁迫条件下甜高粱幼苗的光和特性及光系统 II 功能调节[J]. 作物学报, 2007, 33(8): 1 272-1 278.
- [18] Jana Kholova, Raj Kumar Sairam, Ramesh C Meena. Osmolytes and metal ions accumulation oxidative stress and antioxidant enzymes activity as determinants of salinity stress tolerance in maize genotypes[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2010, 32(3): 477-486.
- [19] Suriyan Cha-Um, Chalermopol Kirdmanee. Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars[J]. Pak J Bot, 2009, 41: 87-98.
- [20] 马金虎, 王宏富, 王玉国, 等. 种子引发对高粱幼苗耐盐性的生理效应[J]. 中国农业科学, 2009, 42(10): 3 713-3 719.
- [21] 马金虎, 郭数进, 王玉国, 等. 种子引发对盐胁迫下高粱幼苗生物量分配和渗透物质含量的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(10): 1 950-1 956.
- [22] Chen Keting, Arora R. Priming memory invokes seed stress-tolerance[J]. Environmental and Experimental Botany, 2013, 94: 33-45.
- [23] 索文龙, 郑昀晔, 马文广, 等. 不同 pH 赤霉素引发对烟草种子萌发和幼苗素质的影响[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(6): 60-63.
- [24] 坎平, 王莎莎, 马文广, 等. 赤霉素引发同时提高烟草种子及幼苗抗旱性和抗冷性[J]. 种子, 2014, 33(2): 30-34, 38.
- [25] 刑燕, 王吉庆, 菅广宇, 等. 不同引发剂处理对西瓜种子萌发及生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(11): 133-136.
- [26] Bradford K J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions[J]. HortScience, 1986, 21: 1 005-1 112.
- [27] 武冲, 张勇, 唐树梅, 等. 盐胁迫对木麻黄种子萌发的影响[J]. 种子, 2010, 29(4): 30-32.
- [28] 杨春武, 李长有, 尹红娟, 等. 小冰麦 (*Triticum aestivum*-*Agropyron intermedium*) 对盐胁迫和碱胁迫的生理响应[J]. 作物学报, 2007, 33(8): 1 255-1 261.
- [29] 贺长征, 胡晋, 朱志玉, 等. 混合盐引发对水稻种子在逆境条件下发芽及幼苗生理特性的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2002, 28(2): 175-178.
- [30] 杨小环, 马金虎, 郭数进, 等. 种子引发对盐胁迫下高粱种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1): 103-109.
- [31] 李玉明, 石德成, 李毅丹, 等. 混合盐碱胁迫对高粱幼苗的影响[J]. 杂粮作物, 2002, 22(1): 41-45.
- [32] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant Cell Environ, 2002, 25(2): 239-250.
- [33] Zhu J K. Salt and drought stress signal transduction in plants[J]. Ann Rev Plant Biol, 2002, 53: 247-273.
- [34] 阮松林, 薛庆中, 王清华. 种子引发对杂交水稻幼苗耐盐性的生理效应[J]. 中国农业科学, 2003, 36(4): 463-468.
- [35] 马文广, 郑昀晔, 索文龙, 等. 赤霉素引发处理提高烟草丸化种子活力和幼苗素质[J]. 浙江农业学报, 2009, 21(3): 293-298.