

不同钠盐胁迫对藜麦种子萌发的影响*

袁飞敏^{1 2 3} 权有娟^{1 2 3} 陈志国^{1 3}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室, 西宁 810008)

提 要: 为探明藜麦种子在不同盐胁迫条件下萌发耐受性。采用 NaCl 单盐、NaCl:NaHCO₃ 复合盐和 NaHCO₃ 单盐等 1/4 Hoagland 营养液不同浓度配比, 对不同类型藜麦品种的种子进行盐胁迫处理, 研究种子发芽率、发芽势、耐盐指数和幼苗高度变化等, 并测定了盐胁迫解除后种子萌发的恢复率。结果表明, 随着盐胁迫强度增加, 藜麦种子的出苗时间推迟、发芽率降低、生长变缓、苗高降低, 并呈现低浓度促进、高浓度抑制的特点。不同品种间耐盐性存在差异, 品种间对盐胁迫的耐受性顺序依次为: 青藜 1 号 > 贡扎 5 号 > real 紫粒 ≈ real 黄粒 > 三江 3 号; 不同钠盐对种子萌发的抑制程度顺序依次为: NaCl:NaHCO₃ 复合盐 > NaHCO₃ 单盐 > NaCl 单盐; 不同钠盐对幼苗生长的抑制程度顺序为: NaHCO₃ 单盐 > NaCl:NaHCO₃ 复合盐 > NaCl 单盐。

关键词: 藜麦; 土壤盐碱化; 盐胁迫; 种子萌发
中图分类号: Q945.78 **文献标识码:** A

土壤盐碱化给全世界的农业发展带来了巨大的挑战, 是当前农牧业发展面临的重要问题之一。盐碱化给环境和植物带来的影响是多个层面的, 是抑制植物生长、降低农作物产量的主要环境因素之一^[1]。据不完全统计, 全世界盐碱地面积约为 9.54 亿 hm², 占陆地总面积的 10%, 我国有 9913 万 hm²^[2], 而青海省盐土总面积约为 270.14 × 10⁴ hm²^[3], 是中国受盐渍化危害较为严重的地区之一。种植盐生植物可缓解土壤盐碱化对农业生产带来的不利影响, 特别是在一些干旱、半干旱地区^[4]。随着土壤盐碱化程度的不断加深, 植物耐盐机制和耐盐植物的培育研究将成为研究的重点之一。据统计, 盐生植物占全球总数不足 2%, 主要用于植被恢复和生态保护, 很少被用于粮食生产, 是一类未被充分利用的资源, 随着淡水资源的减少和土壤盐碱化程度的增加, 盐生植物将会成为珍贵的农业资源^[5-6]。

藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd.) 属苋科藜属植物, 该属植物是含盐生植物最多的家族。藜麦是来自安第斯山脉的高营养作物, 遗传的多样性决定了其被广泛种植于各种生境, 从 20°N(哥伦比亚) ~ 40°S(智利), 从海平面到海拔 4000m, 从亚热带气候到寒冷高原气候均可被种植^[7]。耐盐性优良, 某些品种可在盐浓度接近海水条件下生长^[8]。研究藜麦不同类型品种在盐胁迫下的萌发特性以及对不同钠盐的耐受能力, 可以有助于进一步了解不同类型藜麦品种对盐胁迫耐受机制, 对耐盐藜麦品种选育和推广利用及盐碱地的改良具有重要价值。

表 1 供试材料及其特性

Table 1 The test materials and the characteristics

材料	取样地点	千粒重 (g)	籽粒颜色	生态类型
青藜 1 号	青海格尔木河西农场	3.22	黄色	山谷型
贡扎 5 号	青海格尔木河西农场	3.17	紫红色	盐沼型
real(黄粒)	青海德令哈市一棵树村	2.59	黄色	海岸型
real(紫粒)	青海德令哈市一棵树村	2.53	紫色	海岸型
三江 3 号	青海乌兰县希里沟镇	3.07	黄色	高山型

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料来源及其特性(表 1)。

1.2 盐胁迫处理

种子萌发实验在人工光照培养箱内进行: 温度 25℃, 16h 光照/8h 黑暗, 湿度 60-70%^[9]。

* 收稿日期: 2017-12-12; 修回日期: 2018-2-23。

基金项目: 青海省农牧厅 2015 年种子工程项目; 青海省作物分子育种重点实验室资助。

作者简介: 袁飞敏(1991-), 女, 汉族, 陕西兴平人, 硕士研究生, 主要从事植物遗传育种研究。E-mail: yuanfeimin830@163.com

通讯作者: 陈志国(1963-), 男, 汉族, 吉林公主岭市人, 研究员, 博士生导师, 主要从事植物遗传育种研究。E-mail: zgchen@nwipb.cas.cn

实验共设置 3 个处理组: NaCl 单盐处理组、NaCl: NaHCO₃ 复合盐处理组和 NaHCO₃ 单盐处理组。浓度梯度设置依次为 1/4 Hoagland 营养液 + 0 mMol/L(CK)、1/4 Hoagland 营养液 + 100 mMol/L、1/4 Hoagland 营养液 + 200 mMol/L、1/4 Hoagland 营养液 + 300 mMol/L、1/4 Hoagland 营养液 + 400mMol/L。NaCl: NaHCO₃ 复合盐按 Na + 摩尔浓度 1:1 比例混合组成^[10-12]。

每处理各浓度设置 3 次重复,采用 TP 发芽法(纸上,参见 2012 国际种子检验规程^[13]) ,发芽盒(12cm * 12cm* 6cm)内放置 2 层用相应盐溶液(约需 12ml)浸至饱和的发芽纸(12cm* 12cm) ,每盒放置 30 粒种子,整齐均匀排列在滤纸上,加盖,在保温条件下发芽。每天更换一次盐溶液,即使用相应盐溶液 6ml 冲洗滤纸,重复 3 次后加 5ml 对应的盐溶液,利用发芽纸的毛细作用以确保培养盐溶液浓度的稳定性。每 24h 统计一次发芽数,发芽以胚根露出种皮 0.2cm 为标志^[14] ,连续统计 7 天,每个处理随机挑选 10 粒发芽种子测量幼苗高度。第 7 天计数后,用不含盐的 1/4 Hoagland 营养液将所有种子冲洗 3 次,并用营养液将发芽纸浸至饱和,统计到第 17 天的发芽数,期间每天补充一次营养液,观察盐胁迫解除后种子的萌发情况。

1.3 测定指标及方法

- (1) 发芽开始时间: 处理第一天起到第一粒种子萌发所需时间;
- (2) 发芽率(GR): $GR(\%) = (n/N) \times 100\%$ (n 第 7 天正常发芽种子数, N 供试种子数);
- (3) 相对发芽率(RGR): $RGR(\%) = \text{某一处理第 7 天的发芽率} / \text{相应对照的发芽率} \times 100\%$;
- (4) 发芽势(GV): $GV(\%) = (\text{第 3 天发芽的种子数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$;
- (5) 发芽指数(GI): $GI = \sum (Gt/Dt)$,Gt 为 t 日内的发芽数, Dt 为相应的发芽天数;
- (6) 耐盐指数(K): $K = \sum (GR + GV + GI) / mn$,m 为计算指标项数, n 为盐浓度梯度个数;
- (7) 相对盐害率(RSH): $RSH(\%) = (\text{对照萌发率} - \text{处理萌发率}) / \text{对照萌发率} \times 100\%$;
- (8) 萌发回复率(GRR): $GRR(\%) = ((a - b) / (c - b)) \times 100\%$,a 是全部时间的发芽种子数, b 是处理溶液中的发芽种子数, c 是实验用该处理全部种子数。

1.4 苗期高度的测量

第 7 天发芽结束后,对不同供试品种的幼苗高度进行测量(各重复随机选取 10 株,共 30 株),以植株根、茎的分节点为起点测量幼苗高度,计数。

1.5 数据处理与分析

用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据录入、统计与处理,SPSS 22.0 版软件对数据进行 ANOVA 差异显著性分析,采用 LSD 法进行多重比较和显著性检验,显著性水平为 P < 0.05。

2 结果与分析

2.1 种子初始特征

供试的 5 个藜麦品种的千粒重(表 1)依次为:青藜 1 号、贡扎 5 号、三江 3 号、real 黄、real 紫。一般来说,千粒重大,种子中内含物多,具有寿命长、耐贮藏、质量好、成苗率高的特点^[15]。

2.2 盐胁迫对发芽开始时间的影响

不同盐处理对藜麦种子初始发芽时间(表 2)。随着盐溶液浓度的增大,藜麦种子的初始发芽开始的时间推迟,但贡扎 5 号种子的初始发芽时间对盐浓度的变化不敏感,说明盐沼型藜麦耐盐性较强。不同类型盐处理对初始发芽时间推迟的影响程度依次为:NaCl、NaHCO₃ 复合盐 > NaHCO₃ > NaCl。

表 2 不同类型藜麦品种在不同盐及浓度下萌发开始时间

Table 2 The times of germination beginning for Quinoa under different salt stresses

材料	处理												
	CK	NaCl/mMol · L ⁻¹				NaCl、NaHCO ₃ /mMol · L ⁻¹				NaHCO ₃ /mMol · L ⁻¹			
	0	100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
青藜 1 号	1	1	1	2	4	1	1	2	5	1	1	2	2
三江 3 号	1	1	1	2	5	1	2	3	6	1	1	2	5
real 紫粒	1	1	1	2	3	1	1	3	4	1	1	2	3
real 黄粒	1	1	1	2	3	1	1	2	4	1	1	2	4
贡扎 5 号	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2

2.3 盐胁迫对藜麦种子发芽的影响

2.3.1 发芽率及相对发芽率变化

由图 1 可知,对照组的种子首先萌发,且萌发率最高,在不同浓度盐溶液处理下,随着浓度的增大,藜麦种子发芽率、相对发芽率均随着盐浓度升高呈现下降趋势。

在 NaCl 单盐处理下,青藜 1 号在 200 mMol/L 处理浓度下发芽率仍为 100%,在 400 mMol/L 高浓度处理下仍有高达 71.1% 的发芽率;三江 3 号的发芽率在 100 mMol/L 处理浓度下与对照发芽率相差无几,浓度大于 100 mMol/L 时,随着盐浓度的增大其发芽率呈显著下降趋势;其余 3 个品种的发芽率随着处理浓度的增大,发芽率呈明显下降趋势。在 NaCl:NaHCO₃ 复合盐处理下,青藜 1 号在 200 mMol/L 处理浓度下发芽率仍为 100%,与对照和其在 100 mMol/L 处理浓度下相当,之后随着盐浓度的增大发芽率降低;其余 4 份品种的发芽率随着盐浓度的增大发芽率逐渐降低,降低趋势大于 NaCl 单盐处理时的趋势。在 NaHCO₃ 单盐处理下,参试的 5 个品种的发芽率随着盐浓度的增大明显降低,且均低于对照。在三种不同处理下,来自 real 的藜麦姊妹系(紫粒和黄粒)在不同处理浓度下发芽率、相对发芽率并无显著差异。

2.3.2 发芽势及发芽指数变化

与 CK 相比,不同类型盐胁迫均降低了藜麦种子的发芽势及发芽指数,且随着盐浓度的升高,下降的幅度愈加增大,在浓度大于 300 mmol/L 时,所有藜麦品种的发芽势、发芽指数均显著低于对照。相比于其他 4 个品种,青藜 1 号在三种类型盐低浓度处理下(100~200mmol/L)发芽势、发芽指数与对照并无显著差异(表 3)。同样,藜麦姊妹系(紫粒和黄粒)发芽势及发芽指数也无显著差异。

表 3 藜麦品种在盐胁迫下的发芽势及发芽指数

Table 3 The germination potential and germination index of Quinoa under salt stresses

处理	青藜 1 号		三江 3 号		材料 real 紫		real 黄		贡扎 5 号		
	发芽势	发芽指数	发芽势	发芽指数	发芽势	发芽指数	发芽势	发芽指数	发芽势	发芽指数	
CK	0	98.89 ± 1.92a	75.92 ± 1.63a	87.78 ± 1.62a	55.88 ± 1.29a	82.22 ± 9.62a	53.92 ± 1.31a	86.67 ± 5.77a	63.12 ± 1.63a	98.89 ± 1.92a	71.09 ± 1.63a
NaCl	100	98.89 ± 1.92a	73.09 ± 2.14a	86.67 ± 6.67a	50.37 ± 1.54ab	81.11 ± 1.83a	50.78 ± 1.68a	80.00 ± 1.20ab	50.46 ± 1.25a	94.44 ± 1.62ab	62.64 ± 1.47a
	200	98.89 ± 1.92a	58.34 ± 2.23b	47.78 ± 3.46b	27.53 ± 1.69bc	62.22 ± 2.21a	33.69 ± 1.06ab	70.00 ± 3.75ab	39.48 ± 1.78ab	85.56 ± 1.92ab	54.37 ± 1.51ab
	300	64.44 ± 3.16b	30.33 ± 1.04c	33.33 ± 2.18bc	17.33 ± 1.20cd	44.44 ± 3.74ab	23.88 ± 1.51bc	41.11 ± 3.33bc	21.80 ± 1.18bc	60.00 ± 3.52bc	34.76 ± 1.72bc
	400	2.22 ± 9.62c	9.51 ± 0.57d	1.11 ± 0.01c	1.83 ± 2.33d	6.67 ± 5.77b	7.85 ± 0.05c	4.44 ± 0.05c	3.99 ± 0.11c	25.56 ± 2.21c	16.22 ± 1.08c
NaCl 、 NaH- CO ₃	100	100.00 ± 0a	68.29 ± 4.27a	67.78 ± 2.69a	43.48 ± 1.31ab	81.11 ± 1.57a	48.52 ± 1.43a	81.11 ± 1.89a	50.83 ± 1.50ab	90.00 ± 0a	60.36 ± 1.13a
	200	98.89 ± 1.92a	48.51 ± 1.60b	53.33 ± 3.38a	26.81 ± 1.35bc	64.44 ± 3.84a	32.82 ± 1.68ab	66.67 ± 2.33a	36.21 ± 1.15b	76.67 ± 2.18a	48.34 ± 2.27ab
	300	35.56 ± 3.75b	22.60 ± 1.55c	22.22 ± 2.54b	12.75 ± 0.67c	37.78 ± 3.42ab	19.18 ± 1.5bc	23.33 ± 2.40b	13.76 ± 0.62c	44.44 ± 2.77b	26.66 ± 1.36bc
	400	0.00 ± 0c	2.39 ± 0.09d	0.00 ± 0b	0.39 ± 0.06c	82.22 ± 5.09b	3.51 ± 0.01c	2.22 ± 0.05b	2.47 ± 0.06c	10.00 ± 0.07c	7.30 ± 0.01c
NaH- CO ₃	100	100.00 ± 0a	67.95 ± 5.30a	66.67 ± 1.73a	40.26 ± 1.52ab	75.56 ± 0.07a	47.97 ± 1.64ab	75.56 ± 1.34ab	47.58 ± 1.10ab	94.44 ± 5.09a	60.56 ± 1.08ab
	200	96.67 ± 5.77a	52.87 ± 1.22b	51.11 ± 3.33ab	30.32 ± 1.61bc	56.67 ± 2.30ab	28.99 ± 0.14bc	64.44 ± 1.83b	38.36 ± 1.71b	64.44 ± 2.34b	41.18 ± 1.83bc
	300	70.00 ± 1.00b	32.09 ± 1.04c	24.44 ± 2.03bc	13.48 ± 0.51cd	50.00 ± 2.18b	23.42 ± 0.08cd	35.56 ± 1.26c	18.10 ± 1.09c	51.11 ± 1.62b	30.97 ± 0.28cd
	400	37.78 ± 1.20b	23.29 ± 0.27c	4.44 ± 0.07c	3.88 ± 0.09d	6.67 ± 0.08c	6.56 ± 0.03d	7.78 ± 0.04d	4.47 ± 0.07c	17.78 ± 0.04c	12.73 ± 0.73d

注: 1. 盐处理浓度单位均为 mmol/L; 2. 不同字母表示差异显著 (P < 0.05)。

表 4 藜麦在盐胁迫下的耐盐指数

Table 4 The salt tolerance vigor indexes and relative salt injury rate for Quinoa under salt stresses

处理	青藜 1 号		三江 3 号		材料 real 紫		real 黄		贡扎 5 号		
	相对盐害率	耐盐指数	相对盐害率	耐盐指数	相对盐害率	耐盐指数	相对盐害率	耐盐指数	相对盐害率	耐盐指数	
CK	0	0.00a	6.49(强)	0.00a	4.81(强)	0.00a	4.64(强)	0.00a	5.42(强)	0.00a	6.09(强)
NaCl	100	-0.04 ± 0a	6.26(强)	11.11 ± 0.91a	4.35(强)	7.41 ± 0.28a	4.37(强)	3.45 ± 0.09a	4.34(强)	2.19 ± 0.08a	5.38(强)
	200	-1.15 ± 0.01a	5.03(强)	44.44 ± 1.65ab	2.39(中等)	14.81 ± 1.02a	2.93(中等)	1.72 ± 0.54a	3.39(中等)	4.45 ± 0.07a	4.68(强)
	300	3.33 ± 0.07a	2.66(中等)	81.48 ± 3.74b	1.52(弱)	48.15 ± 0.74a	2.09(中等)	8.62 ± 0.26a	1.91(弱)	16.67 ± 0.87ab	3.01(中等)
	400	28.01 ± 0.28b	0.85(弱)	96.30 ± 1.22c	0.16(弱)	81.48 ± 1.45b	0.69(弱)	55.17 ± 1.33b	0.35(弱)	44.83 ± 0.07b	1.42(弱)
NaCl 、 NaH- CO ₃	100	-1.15 ± 0.09a	5.86(强)	3.70 ± 0.54a	3.76(中等)	3.70 ± 0.02a	4.19(强)	5.17 ± 0.93a	4.38(强)	3.37 ± 0.10a	5.18(强)
	200	1.15 ± 0.06a	4.21(强)	33.33 ± 1.36ab	2.34(中等)	37.04 ± 0.46a	2.86(中等)	12.07 ± 0.02a	3.14(中等)	11.19 ± 0.30a	4.17(强)
	300	4.45 ± 0.07a	1.99(弱)	81.48 ± 3.97b	1.12(弱)	81.48 ± 0.84a	1.68(弱)	29.31 ± 1.60b	1.21(弱)	27.93 ± 0.21a	2.32(中等)
	400	68.28 ± 0.58b	0.23(弱)	100.00 ± 5.97c	0.04(弱)	100 ± 1.63b	0.49(弱)	72.41 ± 1.55c	0.22(弱)	61.69 ± 0.54b	0.65(弱)
NaH- CO ₃	100	-1.15 ± 0.09a	5.83(强)	3.70 ± 0.71a	3.48(中等)	7.41 ± 0.03ab	3.10(中等)	3.45 ± 0.50a	4.10(强)	1.07 ± 0.21a	5.21(强)
	200	-0.04 ± 0a	4.57(强)	29.63 ± 1.35a	2.64(中等)	25.93 ± 0.56ab	2.52(中等)	20.69 ± 0.82a	3.32(中等)	15.67 ± 0.51a	3.55(中等)
	300	1.15 ± 0.09a	2.8(中等)	77.78 ± 2.68b	1.18(弱)	37.04 ± 0.66b	2.03(中等)	20.69 ± 0.04b	1.59(弱)	16.63 ± 0.12a	2.66(中等)
	400	13.41 ± 0.55b	2.04(中等)	100.00 ± 1.58b	0.35(弱)	92.59 ± 1.74c	0.58(弱)	72.41 ± 1.64c	0.40(弱)	52.61 ± 0.21b	1.11(弱)

注: 1. 盐浓度单位均为 mmol/L; 2. 不同字母表示差异显著 (P < 0.05); 3. 耐盐指数 ≥ 4: 耐盐性强; 4 > 耐盐指数 ≥ 2: 耐盐性中等; 2 > 耐盐指数 > 0: 耐盐性弱。

2.3.3 藜麦种子耐盐性的变化

逐渐升高的盐浓度对藜麦种子萌发伤害进一步增强,但低浓度的盐胁迫(100 mmol/L ~ 200 mmol/L)的 NaCl 单盐和 NaHCO₃ 单盐以及 100 mmol/L NaCl、NaHCO₃ 复合盐并未对青藜 1 号产生较大的盐害

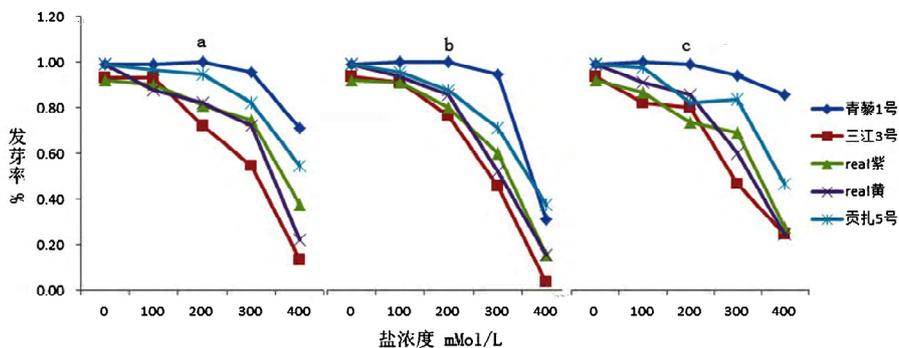
(表 4)。

通过计算藜麦品种的耐盐指数,3 种盐胁迫处理下,藜麦种子耐盐指数大小随盐浓度的升高而减小趋势是一致的(表 3)。其中青藜 1 号、贡扎 5 号在 100 mmol/L ~ 200 mmol/L 的盐胁迫下仍表现较强的耐盐性;尤其是青藜 1 号在 400 mmol/L 高浓度的 NaHCO₃ 胁迫下仍表现较强的耐盐性,而三江 3 号、real 紫和 real 黄仅在 100 mmol/L 的 NaCl 胁迫下表现较强的耐盐性。

2.4 盐胁迫对藜麦幼苗高度影响

7 天发芽结束后,对各供试品种幼苗高度进行测量,并经 Multi-way ANOVA 分析。结果表明:不同种类盐在相同浓度胁迫下和同一种盐浓度不同,各品种幼苗苗高差异均呈现显著变化,不同盐之间,苗高大小随盐浓度的增大的变化趋势是一致的(图 2)。

NaCl 单独处理下,青藜 1 号、贡扎 5 号两品种在 100 mMol/L 时苗高生长情况与对照处理无显著性差异,而在 200 mMol/L 及以上浓度则与对照呈现显著性差异;其余 3 个品种在各浓度下均与对照呈显著性差异。在 NaCl:NaHCO₃ 复合盐和 NaHCO₃ 处理下,各品种在 100mMol/L - 400mMol/L 苗高均与对照呈显著性差异。



a. NaCl 处理的发芽率; b. NaCl,NaHCO₃ 复合盐处理的发芽率; c. NaHCO₃ 处理的发芽率

图 1 不同盐浓度胁迫下藜麦种子发芽率

Figure 1 The germination rate of Quinoa under salt stresses

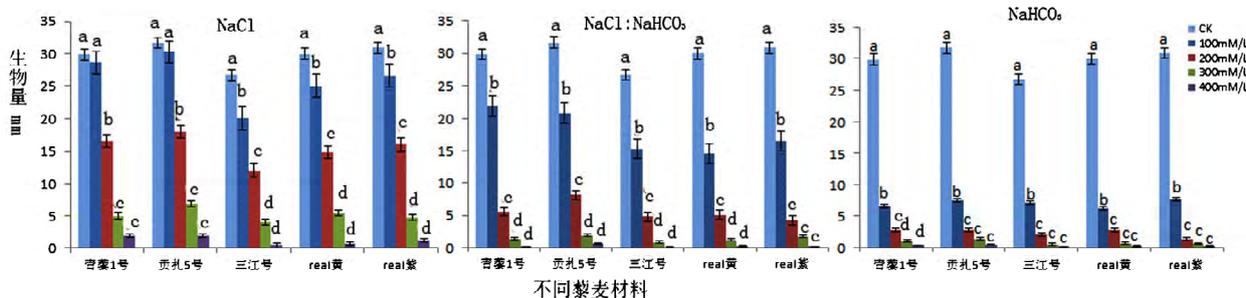


图 2 不同盐胁迫下藜麦幼苗的高度

Figure 2 The seedling heights of Quinoa under salt stresses

3 讨论

3.1 不同盐胁迫对藜麦种子萌发的影响

实验结果表明,不同的钠盐胁迫处理对藜麦种子的发芽均存在高浓度抑制、低浓度促进现象,即呈现随着盐溶液浓度升高发芽率先升后降的特征。经多因素方差分析,NaCl 单盐、NaCl:NaHCO₃ 复合盐和 NaHCO₃ 单盐胁迫对藜麦种子的萌发均有显著的影响,不同盐胁迫之间在发芽率、发芽势上并无显著性差异,而在幼苗株高上呈现显著性差异。高盐浓度(大于 200mMol/L)下种子吸水困难,萌发延迟,萌发率、发芽势等指标均呈下降趋势。

在 NaCl 单盐胁迫下,最高浓度处理(400mmol/L)的青藜 1 号、贡扎 5 号仍有 71% 和 54% 的发芽率,而 real 黄粒、real 紫粒、三江 3 号等品种的发芽率不足 50%。与其他农作物比较,藜麦耐盐性仍然明显偏高;在 NaCl:NaHCO₃ 复合盐胁迫下,所有品种发芽率均不足 50%,说明复合盐对种子萌发影响最大;NaHCO₃ 单盐胁迫下,仅有青藜 1 号品种的发芽率达到 50% 以上,说明 NaHCO₃ 单盐对藜麦种子发芽的影响低于 NaCl:NaHCO₃ 复合盐,且青藜 1 号的耐盐性最好。

相比单盐,NaCl:NaHCO₃ 复合盐中盐度和碱度对种子萌发影响具有协同效应,即高盐度与高碱度交

互后对藜麦种子萌发的抑制明显大于单盐与单碱的作用,因此对藜麦种子的萌发来说,NaCl:NaHCO₃复合盐对萌发的抑制效应最大,其次是NaHCO₃单盐和NaCl单盐。从对萌发后的藜麦生长来看,NaHCO₃对苗高的抑制效应最大,其次是NaCl:NaHCO₃复合盐和NaCl。

3.2 不同类型藜麦种子萌发特征

就品种的萌发能力和对盐的耐受能力评价,青藜1号品种均大于其余4个品种,依次为贡扎5号、real紫粒、real黄粒、三江3号对高盐处理萌发后的幼苗高度统计,贡扎5号最高,依次为青藜1号、real黄粒、real紫粒、三江3号。种子的耐盐性因品种的不同而有一定的差异,在无盐和低盐浓度下,种子可以正常萌发生长,表明藜麦种子萌发时可以耐受一定浓度的盐分。但高盐浓度使种子的开始萌发时间、萌发和生长速率变得缓慢。对7天内仍未萌发的种子进行复水试验发现,在盐胁迫下未萌发的种子复水后仍能在培养液中继续萌发且复萌率可高达100%,表明短期高盐处理并未对种子造成不可恢复的伤害。这种复萌现象是其对高盐分环境的一种生理适应策略。自然界中,未萌发的种子以休眠的形式来躲避不良的生境因素,等到雨水来临,生境中的盐浓度降低后,恢复萌发。

4 结论

对5种不同生态型藜麦品种盐胁迫实验表明,藜麦萌发期较其他农作物具有明显的耐盐特性,结合其原产地高山生态环境比较,藜麦可作为新作物在青海高原柴达木盆地土壤盐碱含量较高地区推广种植;不同藜麦品种(生态型)之间对不同盐分耐受性差异明显,山谷型藜麦青藜1号和盐沼型藜麦贡扎5号耐盐性强,并且种子萌发期有短期休眠复萌现象,应在生产实践和育种中加以充分利用。

参考文献

- [1] Shabala S. Salinity and programmed cell death: unravelling mechanisms for ion specific signaling[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2009, 60(3): 709-712.
- [2] 景艳霞,袁庆华. 不同钠盐胁迫对苜蓿种子萌发的影响[J]. *种子*, 2010, 29(2): 69-72.
- [3] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. *土壤学报*, 2008, 45(5): 837-845.
- [4] 庞宁菊,郝学宁,李月梅,等. 青海黄河沿岸农田土壤盐渍化成因及改良途径[J]. *土壤通报*, 2001, 32(s1): 52-55.
- [5] Ruiz K B, Biondi S, Martínez E A, et al. Quinoa - a model crop for understanding salt - tolerance mechanisms in halophytes[J]. *Giornale Botanico Italiano*, 2016, 150(2): 357-371.
- [6] Glenn E P, Anday T, Chaturvedi R, et al. Three halophytes for saline - water agriculture: An oilseed, a forage and a grain crop[J]. *Environmental & Experimental Botany*, 2013, 92(5): 110-121.
- [7] Jacobsen S E. The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. *Food Reviews International*, 2003, 19(1-2): 167-177.
- [8] Adolf V I, Shabala S, Andersen M N, et al. Varietal differences of Quinoa's tolerance to saline conditions[J]. *Plant & Soil*, 2012, 357(1-2): 117-129.
- [9] 刘鹏,田长彦,张科. 温度和盐分胁迫对紫翅猪毛菜种子萌发特性的影响[J]. *种子*, 2007, 26(8): 16-20.
- [10] 刘寅哲,张义. 不同温度下复合盐胁迫及恢复对紫花苜蓿种子萌发特性的影响[J]. *种子*, 2009, 28(11): 22-25.
- [11] 尚河英,尹忠东,张鹏. 盐爪爪沙堆形态特征及其固沙能力分析 - 以卡拉贝利工程区为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(4): 79-84.
- [12] 薄鹏飞,孙秀玲,宋杰,等. NaCl胁迫对海滨木槿种子萌发及Na⁺、K⁺含量的影响[J]. *安徽农业科学*, 2008(8): 3098-3100.
- [13] 刘玲,孟淑春. 2012版《国际种子检验规程》修订通报[J]. *核农学报*, 2012, 26(5): 762-763.
- [14] 王璐,蔡明,兰海燕. 藜科植物藜与灰绿藜耐盐性的比较[J]. *植物生理学报*, 2015(11): 1846-1854.
- [15] 渠纪腾,阎毛毛,戴晓港,等. 马尾松、黄山松及其杂种球果形态和种子性状变异[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2012, 36(6): 143-146.

Effects of sodium stress on seed germination of *Chenopodium quinoa* Willd

YUAN Feimin^{1 2 3}, QUAN Youjuan^{1 2 3}, CHEN Zhiguo^{1 3}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

3. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, China Academy of Sciences, Xining 810008, China)

Abstract: An experiment has been conducted to investigate the germination characteristics of *Chenopodium quinoa* Willd. under different sodium stress. The seed were cultivated by 1/4 Hoagland nutrition solution with NaCl, NaCl: NaHCO₃ and NaHCO₃. The research aimed to discuss the effects of salt treatment with different concentration and type on seed germination rate, germination potential, salt tolerance index and seedling height. Results showed *Chenopodium quinoa* Willd seed germination were promoted with lower concentration and inhibited with higher concentrations of sodium, and the germination rates treated with a low concentration of sodium were significantly higher than those of control group. The results showed that with salt concentration increase the seed germination gradually decreased compared with the control. of The salt tolerability of seed germination was different among cultivars. The order was: Qingli No. 1 > Gongzha No. 5 > real yellow > real purple > Sanjiang No. 3; the order of seed germination restraint by the different sodium salt concentrations was: NaCl: NaHCO₃ > NaHCO₃ > NaCl; the order of seedling growth restraint by the different sodium salt concentration was: NaHCO₃ > NaCl: NaHCO₃ > NaCl.

Key words: *Chenopodium quinoa* Willd.; salinization; salt stress; seed germination