西北植物学报,2012,32(2):0362－0369
Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.

文章编号:1000-4025(2012)02-0362-08

盐碱胁迫对两种高粱种子萌发及幼苗生长的影响

何　磊[1,2],陆兆华[1,2*],管　博[3],赵艳云[2],王睿彤[1,2],刘　洋[1,2]

(1 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院 恢复生态研究所,北京 100083;2 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室,滨州学院,山东滨州 256603;3 中国科学院烟台海岸带研究所滨海湿地生态实验室,海岸带环境过程重点实验室,山东烟台 264000)

摘　要:以纤维高粱和普通高粱种子为材料,将 NaCl、Na_2SO_4 和 $NaHCO_3$ 按不同比例混合,模拟 15 种盐度和碱度各不相同的复杂盐碱条件,采用培养皿纸上发芽法研究了混合盐碱胁迫对两种高粱种子萌发及幼苗生长的影响,以探讨两种高粱种子和幼苗的耐盐碱能力及在盐碱胁迫下的变化规律。结果表明,低盐低碱环境促进了两种高粱种子的萌发;随着盐碱胁迫的增强,高粱种子的萌发率、萌发指数与对照相比均显著下降,而纤维高粱的累积萌发率下降幅度较普通高粱小,表明纤维高粱对盐渍环境的适应性略高于普通高粱。在高粱幼苗生长过程中,随着盐碱胁迫的增强,两种高粱的幼根和幼芽长均显著下降,且与对照均具有显著性差异。盐度对两种高粱的萌发率、萌发指数、幼苗长均有极显著影响,盐度与 pH 相互作用对两种高粱的幼根长有极显著影响。

关键词:高粱;种子萌发;幼苗生长;pH;盐度

中图分类号:Q945.79　　**文献标志码**:A

Seed Germination and Seedling Growth of the Two Sorghums under Saline-alkaline Stress

HE Lei[1,2], LU Zhao-hua[1,2*], GUAN Bo[3], ZHAO Yan-yun[2], WANG Rui-tong[1,2], LIU Yang[1,2]

(1 Institute of Restoration Ecology, College of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2 Shandong Provincial Key Laboratory of Eco-Environmental Science for Yellow River Delta, Binzhou University, Binzhou, Shandong 256603, China; 3 Laboratory of Coastal Wetland Ecology, Key Laboratory of Coastal Environment Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong 264000, China)

Abstract: The effects of complex saline-alkaline stress on seeds germination and seedling growth of the fiber sorghum and common sorghum were studied in detail. The features of salt-alkalinized were simulated using 15 kinds of alkali-saline conditions with different salinities and pH obtained by mixing NaCl, Na_2SO_4 and $NaHCO_3$ in various proportions. The results showed that the germination rate increased in the low alkali-saline environment; the germination rate and germination index of two Sorghums significantly decreased with the increasing of salt concentration and pH values. The accumulative germination rate of fiber sorghum were higher than that of common sorghum, which indicating that fiber sorghum's adaptation to saline environment were slightly higher than that of common sorghum. In the process of sorghum seedling growth, the effects on the growth of radical length and shoots length of various mixed salts with different

①收稿日期:2011-09-28;修改稿收到日期:2011-12-07

基金项目:国家"十一五"科技支撑项目(2010BAC68B01);国家"十二五"科技支撑项目(2011BAC02B01-05);滨州学院服务滨州行动计划项目(BZXYFB20100405)

作者简介:何　磊(1987－),女,在读硕士研究生,主要从事生态修复方面研究。E-mail:xiaodilei5152006@126.com

*通讯作者:陆兆华,教授,博士生导师,主要从事恢复生态、生态工程、生态规划与湿地科学等。E-mail:lu-zhh@263.net

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

alkalinities were similar. With the increasing of salt concentration and pH, shoot length, radical length of seedlings were significantly decreased. The results showed that the salinity has highly significant effect on germination percentage, germination index, shoot length of two sorghums and the interaction of salinity and pH has highly significant effect on radical length.

Key words: *Sorghum bicolor*; seed germination; seedling growth; pH; salinity

由于各种人为或自然因素影响，土壤盐渍化已成为主要的环境问题之一[1]。中国盐渍土总面积有 9 913.3 万 hm^2，范围广，种类多[2]。盐渍土环境对很多作物的生长能产生抑制作用，且盐分组成及盐分浓度对不同作物的抑制作用各不相同，当盐渍土中包含 CO_3^{2-} 或 HCO_3^- 时，其对作物的伤害不仅包括盐胁迫作用，还包括碱胁迫作用[3-4]。在自然环境中，盐碱胁迫对作物的抑制作用通常同时存在。近年来，关于盐胁迫对作物种子萌发及幼苗生长的响应机制已有大量研究，如随着 NaCl 浓度增加，苦马豆种子出苗时间延迟，种子萌发率降低，胚根生长量下降，脯氨酸含量上升[5]；低盐浓度能促进黄瓜种子的萌发，而随着盐浓度的增加，黄瓜品种的胚根总面积、总长度逐渐减少[6]；随着盐浓度的增加，高粱幼苗生长受到抑制，物质积累量减少[7]；猪毛菜的萌发率和萌发指数也随着盐度和温度的增高而减少。但上述研究都集中于单一盐胁迫对作物种子萌发的影响，而关于盐碱胁迫对作物种子萌发及幼苗生长的响应机制的报道较少[8-9]。

高粱[*Sorghum bicolor* (L.) Moench]属禾本科高粱属，性喜温暖、抗旱、耐涝、耐盐碱[10-11]，既是重要的粮食作物，也是食品、饲料、酿酒业的主要原料，因此提高高粱的品质及产量尤为重要。在盐碱环境中，种子萌发和幼苗生长是种子生长最重要的阶段[12-14]，探讨种子在盐碱胁迫下的萌发响应机制，对于物种生存具有重要意义。本试验通过对不同盐碱胁迫下 2 个高粱品种种子萌发率、萌发指数以及生物量的研究，试图为高粱适应不同生态环境机理探讨及开发利用提供一定参考。

1　材料和方法

1.1　材料与处理

试验用纤维高粱为杂交品种，2010 年 5 月购于中国科学院北京植物研究所，种子千粒重为(31.05±1.32) g；普通高粱种子为山西‘晋杂 14 号’，2010 年 5 月购于山东省滨州市种子所，种子千粒重为(35.91±0.09) g。购买的种子置于 4℃冰箱中保存待用，试验于 2010 年 11 月在山东省滨州市黄河三角洲生态中心重点实验室进行。

根据黄河三角洲土壤中的盐离子含量及 pH 的实际情况选择两种中性盐 NaCl 和 Na_2SO_4 以及一种碱性盐 $NaHCO_3$，并将这 3 种盐按不同的质量比混合，以碱性盐所占比例由小到大的顺序分成 A、B、C 3 个处理组，其 pH 分别为 7.08、8.78、9.04，NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$ 质量比依次为 2∶1∶0、2∶1∶1、2∶1∶2，各组的盐浓度均设置 100、200、300、400、500 mmol/L 5 个水平，共组成 15 个处理组合，以蒸馏水处理作为对照(0 mmol/L，CK)。在每一个处理组中，由于是缓冲体系，随着盐浓度的增加，pH 无明显变化；不同的盐度和碱度模拟出了与黄河三角洲天然盐碱地相似的 15 种盐碱条件。

1.2　测定指标及方法

随机选择饱满、整齐的种子，用 10%的过氧化氢消毒 10 min，蒸馏水反复冲洗干净。置于微电脑控制人工莱福生化培养箱内，昼/夜光照周期为 12 h/12 h，温度为 25℃/15℃。采用纸上发芽法，选用带盖培养皿(直径 90 mm)，内置 2 层滤纸，每皿 25 粒种子，4 次重复。各皿中加入相应的处理液 10 mL，石蜡膜封口以防水分蒸发，隔天开始开盖观察记录，以种子破胸视为发芽，统计发芽种子数，以后每天同一时间观察记录萌发情况，至连续 3 d 没有新种子萌发视为发芽结束。试验结束后，各处理随机选取 10 株幼苗，分别测量其幼根幼芽长及鲜、干重。各处理液 pH 值用 pH 计测量。萌发率和萌发指数用下列公式计算：

萌发率(GR)＝(萌发种子数/测试种子数)×100%

萌发指数(GI)＝$\sum Gt/t$

式中，Gt 为 t 天内发芽种子数；t 为相应的萌发天数

1.3　数据分析

试验数据采用统计分析软件 SPSS 13.0 进行单因素及双因素方差分析，考虑 95%置信水平，应用最小显著差异法(LSR)进行差异显著性检测。

2　结果与分析

2.1　盐碱胁迫对两高粱品种种子萌发进程的影响

萌发率是反映种子发芽能力的重要指标，盐碱

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

胁迫会使种子的发芽能力受到影响，且盐碱胁迫强度越大，萌发率越低[15]。从图1中可以看出，两个高粱品种不同处理的种子累积萌发率曲线变化趋势相似，均随着盐浓度的增加而不同程度地降低。两个品种高粱种子对盐渍环境有一定的适应性，在低盐低碱环境下，萌发率受到的抑制作用较轻。如在pH为7.08、盐浓度为100 mmol·L^{-1}(A_1)时，两个高粱品种的种子累积萌发率均大于70%，萌发率略高于对照，即低盐浓度促进了纤维高粱的生长；进一步分析表明，从A组到C组，随着处理液碱性盐比例增大和pH升高，累积萌发率下降幅度增大，当pH>8.78、盐浓度高于400 mmol·L^{-1}时，纤维高粱和普通高粱种子萌发都受到严重抑制，累积萌发率均降至10%及以下。同时，随着盐碱胁迫程度的增强，两个品种高粱的发芽时间均推迟，如当pH为9.04、盐分浓度为500 mmol·L^{-1}(C_5)时，纤维高粱第4天才开始发芽，普通高粱则在第5天才开始发芽。另外，从图中还可以看出，随着盐碱度的增加，纤维高粱的累积萌发率下降幅度较普通高粱小，说明纤维高粱对盐渍环境的适应性略强于普通高粱。

2.2 盐碱胁迫对两高粱品种种子萌发的影响

萌发率是种子发芽的常用指标，而萌发指数是衡量种子活力的重要指标，在一定程度上可以反映种子发芽速度、发芽整齐度和幼苗健壮的潜势；萌发指数和活力指数越高，说明种子在发芽前期发芽越多，种子活力越强，在自然条件下能快速地出苗[16-17]。

图2显示，随着处理液盐浓度和pH的升高，两种高粱种子的萌发率和萌发指标均呈现逐渐降低的趋势，且各水平处理间大多存在显著性差异，但两品种的下降趋势和幅度不尽相同，这说明萌发指数可以反映高粱品种的耐盐碱程度。由表1可以看出，当pH为7.04、盐浓度为100 mmol·L^{-1}(A_1)时，两个高粱种子的萌发率与萌发指数与对照均无显著性差异，说明在一定的碱度范围内，低盐浓度可能不会抑制两种高粱种子的萌发。进一步分析发现，除了A_1组外，两个高粱品种其他处理组的萌发率与萌

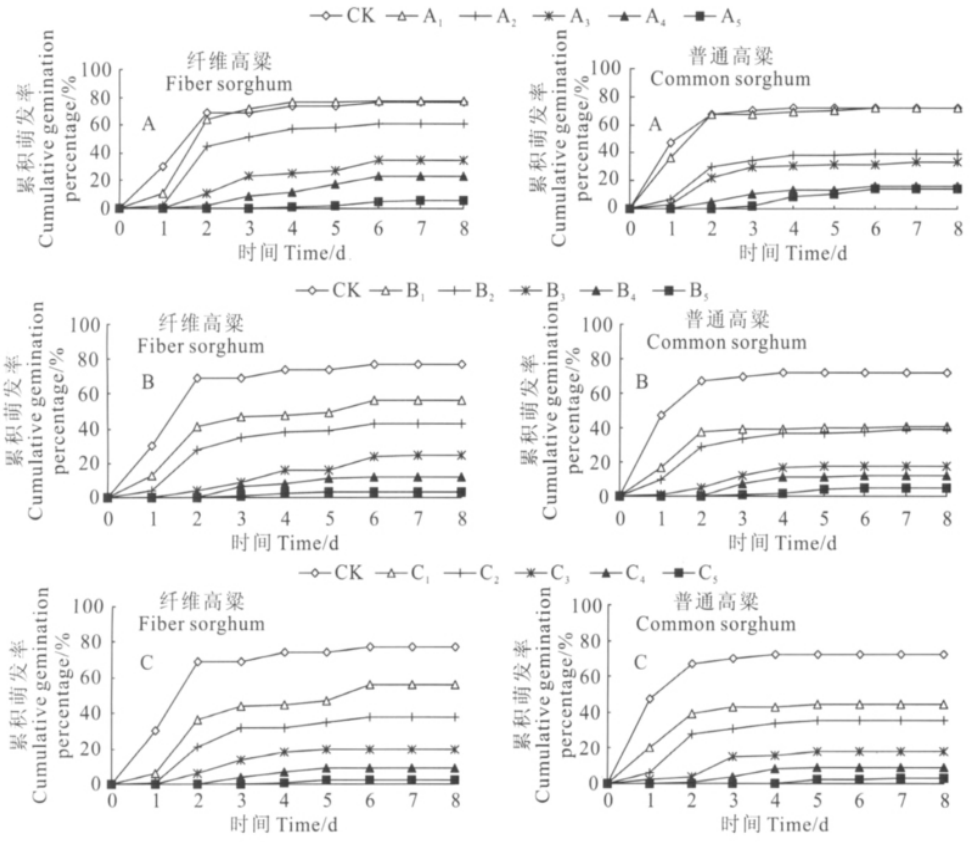

图1 不同胁迫处理下的普通高粱与纤维高粱种子的累积萌发率

A、B、C组的pH分别为7.08、8.78、9.04；1～5水平的盐浓度分别为100、200、300、400、500 mmol·L^{-1}；下同

Fig.1 Cumulative germination percentages of common sorghum and fiber sorghum incubated in different treatments

The pH of group A, B, C are 7.08, 8.78, 9.04, while the salt concentration of level 1～5 are 100, 200, 300, 400 and 500 mmol·L^{-1}, respectively; The same as below

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

发指数与对照相比均存在着显著性差异，且随着盐度与 pH 的增大，两种高粱种子的萌发率和萌发指数均快速下降，下降幅度最大的均为 C_5 处理，纤维高粱种子的萌发率和萌发指数分别下降了97.40%、99.01%，普通高粱则分别下降了95.83%、99.09%，这主要是由于在高盐高碱环境下，种子不能从外界

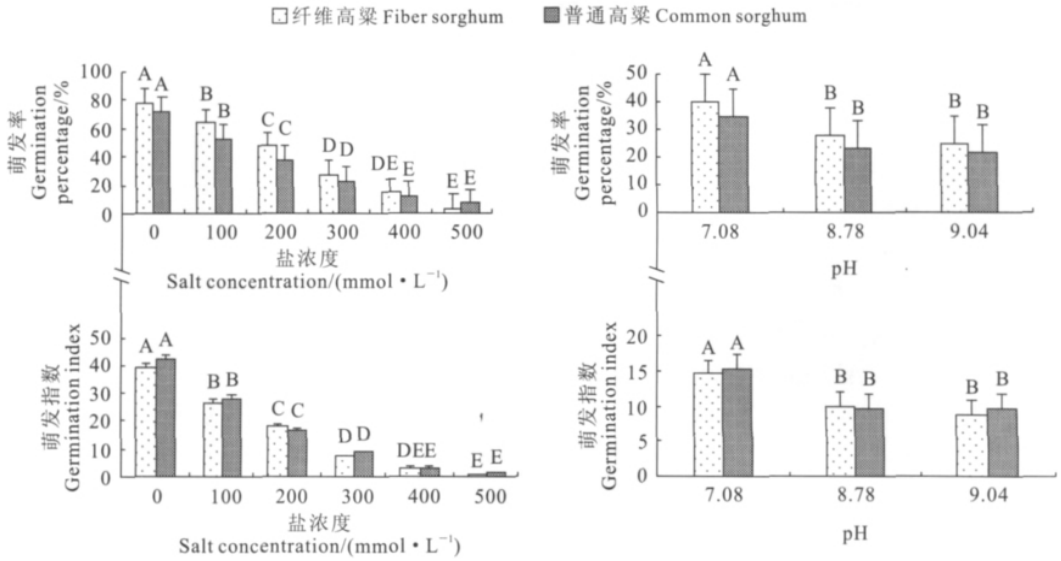

图 2　不同盐度和 pH 下纤维高粱与普通高粱萌发率和萌发指数

不同大写字母表示处理间差异极显著($P<0.01$)；下同

Fig. 2　Germination percentage and germination index comparison of fiber sorghum and common sorghum incubated in different salt concentrations and pH values

Different capital letters indicate significant difference among treatments at 0.01 level; The same as below

表 1　不同胁迫处理下纤维高粱和普通高粱种子的萌发情况比较

Table 1　Germination comparison of fiber sorghum and common sorghum incubated in different treatments

处理 Treatment	盐浓度 Salt concentration /(mmol/L)	萌发率 Germination percentage/%		萌发指数 Germination index	
		纤维高粱 Fiber sorghum	普通高粱 Common sorghum	纤维高粱 Fiber sorghum	普通高粱 Common sorghum
CK	0	77.00±7.57aA	72.00±3.27aA	38.57±5.57aA	41.88±3.66aA
A_1	100	78.00±0.95aA	72.00±0.98aA	33.89±5.08aA	38.85±3.53aA
A_2	200	61.00±1.28bA	39.00±0.95bB	23.46±5.56bB	16.93±3.42bB
A_3	300	35.00±8.25cB	34.00±1.48bB	10.01±3.02cC	13.15±5.50bB
A_4	400	23.00±1.05cBC	16.00±3.27cC	5.10±2.47cdCD	4.74±1.54cC
A_5	500	6.00±2.31dC	14.00±5.16cC	0.77±0.56dD	2.80±0.62cC
B_1	100	56.00±1.70bB	41.00±7.57bB	23.83±6.40bB	21.10±6.34bB
B_2	200	43.00±1.0bBC	39.00±1.00bB	16.41±5.32cB	17.32±5.74bB
B_3	300	25.00±8.25cCD	18.00±6.93cC	5.60±1.67dC	5.89±2.75cC
B_4	400	12.00±0.73cdDE	12.00±6.53cdC	2.86±1.85dC	3.13±1.73cC
B_5	500	3.00±2.00dE	5.00±0.20dC	0.68±0.05dC	0.95±0.63cC
C_1	100	56.00±1.46bB	44.00±6.53bB	20.91±5.86bB	23.13±4.54bB
C_2	200	38.00±0.95cBC	35.00±1.55bB	13.42±2.59cBC	15.26±5.76cC
C_3	300	20.00±0.80dCD	18.00±4.00cC	6.21±2.73dCD	7.36±1.50dD
C_4	400	9.00±0.60edD	9.00±2.00cdCD	2.20±1.49deD	2.39±0.81deDE
C_5	500	2.00±0.40eD	3.00±2.00dD	0.38±0.08eD	0.38±0.31eE

注：同列不同的大小写字母表示处理间在 0.01 和 0.05 水平上存在显著性差异；下同。

Note: Values followed by different capital and normal letters in the same column indicate significant difference among treatments at 0.01 and 0.05 level; The same as below.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

吸收足够的水分来合成萌发所需的各种酶和结构蛋白，难以完成细胞分裂分化、胚生长，从而降低了种子萌发率[18]。另外，在高盐强碱条件下，虽然两种高粱种子在前期发芽较少较慢，但普通高粱萌发率与萌发指数略高于纤维高粱；而在低盐碱下，两种高粱种子在前期发芽较多较快且纤维高粱的萌发率和萌发指数略高于普通高粱。

2.3 盐碱胁迫对两品种高粱幼苗生长的影响

2.3.1 幼芽长和幼根长 随着处理液盐浓度和pH的升高，两种高粱幼苗的幼根长和幼芽长均呈现逐渐降低的趋势，且各水平处理间大多存在显著性差异，盐处理比pH处理的影响更大(图3)。表2的结果表明，各处理组内两种高粱的幼芽长和幼根长随盐碱胁迫浓度的增加而降低的趋势相似，即随着盐碱胁迫的增强，高粱的幼根幼芽长均显著性逐渐下降，且与对照均具有显著性差异；两个高粱品种幼芽幼根长均在对照时最大，纤维高粱的幼芽幼根长分别为5.45和9.03 cm，而普通高粱的幼芽幼根长分别为5.33和9.28 cm。其中，随着盐浓度的升高，纤维高粱A_1～A_5处理幼芽长分别比对照下降了60.73%、82.94%、93.76%、94.50%、96.33%，幼根长则分别下降了44.96%、72.98%、91.81%、95.02%、100%；普通高粱A_1～A_5幼芽长比对照分别下降了37.34%、68.11%、86.30%、94.93%、95.87%，幼根长则分别下降了42.89%、81.79%、90.63%、95.58%、97.84%。

同时，在相同盐浓度条件下，随着碱浓度(pH)的增大，两种高粱品种的幼根长和幼芽长均基本呈逐渐降低的趋势。其中，纤维高粱A_1、B_1、C_1处理幼芽长与对照相比分别下降了60.73%、54.13%、62.39%，幼根长则分别下降了44.96%、72.20%、75.64%；普通高粱A_1、B_1、C_1组幼芽长比对照分别下降了37.34%、48.59%、52.53%，而幼根长则分别下降了42.89%、68.10%、78.23%。以上结果表明，总体上混合盐碱胁迫对幼根生长的抑制作用大于幼芽，这主要是由于根是最先接触到水分和盐溶液的器官，同时也是受渗透胁迫和离子毒害作用最明显的部位。在盐浓度为500 mmol·L^{-1}、pH>8.78时，盐碱胁迫对高粱幼苗的抑制作用最大，两种高粱品种均出现了无根畸形苗。

2.3.2 干重和鲜重 生物量变化是植物对盐碱胁迫的综合反应，是评估胁迫程度和植物抗盐能力的可靠指标[19]。表3表明，随着盐浓度的增大，高粱幼苗的鲜重和干重均迅速大幅度下降。当pH≥8.78、盐浓度>300 mmol·L^{-1}时，几乎完全抑制了两种高粱幼苗的生长，幼苗干鲜重几乎无法计算。进一步分析发现，对照组纤维高粱幼苗生物量略高于普通高粱；处理组则普通高粱幼苗生物量略高于纤维高粱，这可能是由于高粱品质的原因，也有可能是普通高粱幼苗有更强的抗盐碱能力。

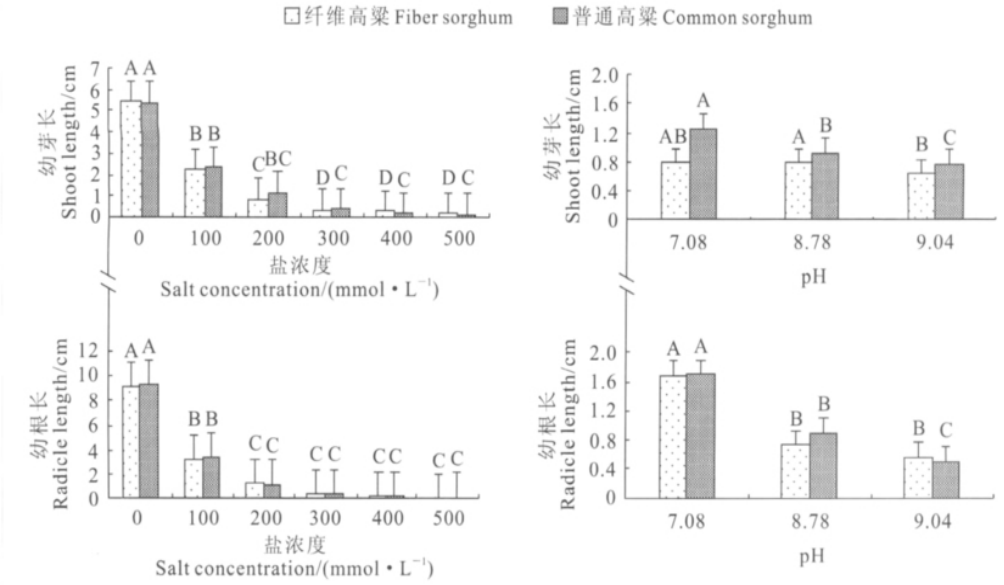

图3 不同盐度和pH下纤维高粱与普通高粱的幼芽长和幼根长比较

Fig. 3 Shoot length and radical length comparison of fiber sorghum and common sorghum incubated in different salt concentrations and pH values

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　不同胁迫处理下纤维高粱和普通高粱种子的幼芽长和幼根长比较

Table 2　Shoot length and radical length of fiber sorghum and common sorghum incubated in different treatments

处理 Treatment	盐浓度 Salt concentration /(mmol/L)	幼芽长 Shoot length/cm		幼根长 Radical length/cm	
		纤维高粱 Fiber sorghum	普通高粱 Common sorghum	纤维高粱 Fiber sorghum	普通高粱 Common sorghum
CK	0	5.45±1.15aA	5.33±0.97aA	9.03±1.63aA	9.28±1.47aA
A_1	100	2.14±0.27bB	3.34±0.39bB	4.97±1.55bB	5.30±1.69bB
A_2	200	0.98±0.37cC	1.70±0.41cC	2.44±0.54cC	1.69±0.62cC
A_3	300	0.34±0.18dCD	0.73±0.39dD	0.74±0.20dD	0.87±0.34cdeCD
A_4	400	0.30±0.13dD	0.27±0.13eD	0.45±0.07dD	0.41±0.16deD
A_5	500	0.20±0.05dD	0.22±0.04eD	0.00±0.00dD	0.20±0.00deD
B_1	100	2.5±0.44bB	2.74±0.29bB	2.51±0.92bB	2.96±0.47bB
B_2	200	0.76±0.20cC	1.48±0.27cC	0.93±0.21cC	1.23±0.24cC
B_3	300	0.28±0.08dC	0.22±0.08dD	0.50±0.11dD	0.24±0.10dD
B_4	400	0.22±0.04dC	0.14±0.05dD	0.23±0.00dD	0.10±0.00dD
B_5	500	0.20±0.00dC	0.10±0.00dD	0.00±0.00dD	0.00±0.00dD
C_1	100	2.05±0.68bB	2.53±0.19bB	2.20±0.50bB	2.02±0.62bB
C_2	200	0.63±0.23cC	0.86±0.26cC	0.29±0.13cC	0.54±0.17cC
C_3	300	0.23±0.07cC	0.21±0.06dD	0.35±0.02cC	0.18±0.06cC
C_4	400	0.18±0.04cC	0.12±0.04dD	0.00±0.00cC	0.00±0.00cC
C_5	500	0.15±0.02cC	0.10±0.00dD	0.00±0.00cC	0.00±0.00cC

表 3　不同胁迫处理下纤维高粱和普通高粱幼苗的单株干重和鲜重比较

Table 3　Fresh weight and dry weight of fiber sorghum and common sorghum plant incubated in different treatments

处理 Treatment	盐浓度 Salt concentration /(mmol/L)	鲜重 Fresh weight/mg		干重 Dry weight/mg	
		纤维高粱 Fiber sorghum	普通高粱 Common sorghum	纤维高粱 Fiber sorghum	普通高粱 Common sorghum
CK	0	62.90	50.20	6.30	5.00
A_1	100	39.90	54.10	4.50	6.90
A_2	200	14.60	16.20	2.30	2.70
A_3	300	12.20	12.50	1.50	2.90
A_4	400	0.00	0.00	0.00	0.00
A_5	500	0.00	0.00	0.00	0.00
B_1	100	29.30	33.60	3.50	4.30
B_2	200	14.40	15.30	2.40	2.80
B_3	300	0.00	0.00	0.00	0.00
B_4	400	0.00	0.00	0.00	0.00
B_5	500	0.00	0.00	0.00	0.00
C_1	100	24.20	32.70	2.70	4.60
C_2	200	0.00	0.00	0.00	0.00
C_3	300	0.00	0.00	0.00	0.00
C_4	400	0.00	0.00	0.00	0.00
C_5	500	0.00	0.00	0.00	0.00

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 结论与讨论

种子萌发率、萌发指数是表征种子萌发水平最主要的指标，有关盐碱胁迫对作物种子萌发的影响已经有一些报道。燕麦[8]、甜瓜[20]、帚用高粱[21]、短命植物[22]种子萌发的研究表明，随着盐碱胁迫增强，种子萌发率、萌发指数均显著性降低，盐碱胁迫能显著抑制种子萌发；但对超大甜辣椒[23]、奇异藜草和小子藜草[24]、沙枣[25]等种子的萌发研究表明，低盐碱环境促进了种子的萌发水平，但随着盐碱强度的增强，种子萌发率降低。本试验中，两个高粱品种 A_1 处理的萌发率和萌发指数与对照均无显著性差异，低盐低碱环境促进了高粱种子的萌发；但是随着盐碱胁迫的增强，两个高粱品种的萌发率、萌发指数与对照相比均显著性下降，C_5 处理的下降幅度最大，这主要是由于在高盐高碱环境下，种子不能从外界吸收足够的水分来合成萌发所需的各种酶和结构蛋白，难以完成细胞分裂分化、胚生长，从而降低了种子萌发率。同时，高盐高碱环境下高粱种子不但发芽率低而且发芽延迟；而在低盐低碱情况下，发芽率高且发芽速率快，能在短时间内迅速发芽。这说明高粱种子能在低盐低碱环境下生长。

盐碱胁迫对作物种子萌发的影响不仅表现在萌发率上，还表现在幼根幼芽长上[26]，而生物量变化是植物对盐碱胁迫的综合反映。本试验研究表明，在高粱幼苗生长过程中，盐碱胁迫对高粱种子幼根幼芽生长的影响一致，随着盐碱胁迫的增强，高粱的幼根幼芽长均显著性下降，且与对照均具有显著性差异。这与马红媛等[27]对 4 种禾木科牧草种子的研究结果类似。通过双因素方差分析表明，盐度对两种高粱的萌发率、萌发指数、幼苗长均有极显著性影响，而盐度与 pH 相互作用对两种高粱的幼根长有极显著性影响。

据报道，在黄河三角洲滨海盐碱地土壤中，阴离子以 Cl^- 为主，SO_4^{2-} 次之，阴离子组成中 CO_3^{2-} 含量最少，而阳离子以 Na^+ 为主，占阳离子总量86.49%，K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+} 占阳离子总量分别为4.35%[28]。本实验根据对滨海盐碱地土壤的实际情况，研究了混合盐碱胁迫对两种高粱的种子萌发及幼苗生长的影响，对于开发利用盐碱化地区的土地资源，扩大高粱的种植面积具有重要意义。

参考文献：

[1] GUMA I R, PADRO′ N-MEDEROS M A, SANTOS-GUERRA A, *et al*. Effect of temperature and salinity on germination of *Salsola vermiculata* L. (Chenopodiaceae) from Canary Islands[J]. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74: 708－711.

[2] LIN B G(林宝刚), ZHANG Y F(张尧锋), YU H SH(余华胜), *et al*. Effect of NaCl stress on seed germination of *Brassica napus*[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*(浙江农业学报), 2010, **22**(5): 624－627(in Chinese).

[3] LI R, SHI F, FUKUDA K. Interactive effects of salt and alkali stresses on seed germination, germination recovery, and seedling growth of a halophyte *Spartina alterniflora* (Poaceae)[J]. *South African Journal of Botany*, 2010, (76): 380－387.

[4] FANNY I S, E ELIZABETH SIGSTAD. Calorimetric studies of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed germination under saline stress conditions[J]. *Thermochimica Acta*, 2005, (428): 71－75.

[5] JIA G Y(贾广云), ZHANG B(张 博), WANG Y X(王玉祥), *et al*. Effects of salt stress and physiological reaction on germination of *Swainsona salsula* Taub seeds[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*(中国农学通报), 2009, **25**(8): 181－184(in Chinese).

[6] XU H N(徐慧妮), WANG X F(王秀峰), SUN X D(孙旭东), *et al*. Response and stress tolerance evaluation of different cucumber cultivars under NO_3^- stress[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报), 2011, **31**(1): 325－331(in Chinese).

[7] YANG X H(杨小环), MA J H(马金虎), GUO SH J(郭数进), *et al*. Effect of seed priming on sorghum (*Sorghum bicolor* L.) seed germination and seedling growth under salt stress[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*(中国生态农业学报), 2011, **19**(1): 103－109(in Chinese).

[8] YANG K(杨 科), ZHANG B J(张保军), HU Y G(胡银岗), *et al*. Effects of complex saline-alkaline stress on seeds germination and physiological and biochemical parameters of oats seedlings[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*(干旱地区农业科学), 2009, **27**(3): 188－192(in Chinese).

[9] GUO Y(郭 彦), YANG H SH(杨红双), ZHAO J B(赵家斌). Effects of complex saline-alkaloid stress on the seed germination of soybean[J]. *Seed*(种子), 2008, **27**(12): 92－94(in Chinese).

[10] CUI J H(崔江慧), LI X(李 霄), CHANG J H(常金华). Effect of NaCl stress on physio-biochemical characteristics of sorghum seed-

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

lings[J]. *Crop*(**作物杂志**),2011,(1):30－32(in Chinese).

[11] MA J H(**马金虎**),WANG H F(**王宏富**),WANG Y G(**王玉国**),*et al*. Physiological effects of seed priming on salt resistance of sorghum seedlings[J]. *Scientia Agricultura Sinica*(**中国农业科学**),2009,**42**(10):3 713－3 719(in Chinese).

[12] Al-KHATEEB S A. Effect of salinity and temperature on germination,growth and ion relations of *Panicum turgidum* Forssk[J]. *Bioresource Technology*,2006,97:292－298.

[13] PEDRO J Z,MARIA S,M TERESA PRETEL,*et al*. Changes in ethylene evolution and polyamine profiles of seedlings of nine cultivars of *Lactuca sativa* L. in response to salt stress during germination[J]. *Plant Science*,2003,164:557－563.

[14] JIE SONG,HAIFAN,YUANYUAN ZHAO,*et al*. Effect of salinity on germination,seedling emergence,seedling growth and ion accumulation of a euhalophyte *Suaeda salsa* in an intertidal zone and on saline inland[J]. *Aquatic Botany*,2008,88:331－337.

[15] WU CH(**武　冲**),ZHANG Y(**张　勇**),TANG SH M(**唐树梅**),*et al*. Effect of NaCl stress on casuarina seed germination[J]. *Seed*(**种子**),2010,**29**(4):30－32(in Chinese).

[16] GAO X ZH(**高新中**),ZHAO X(**赵　祥**),SUN J(**孙　洁**),*et al*. Effect of salt stress on the seed germination of *Lespedeza dahuric*[J]. *Grassland and Turf*(**草原与草坪**),2008,**128**(3):49－51(in Chinese).

[17] YAN H(**颜　宏**),ZHAO W(**赵　伟**),QIN F M(**秦峰梅**),*et al*. Effects of saline-alkaline stress salt on the germination and seedlings of Kochia sieversiana and Kochia scoparia[J]. *Journal of Northeast Normal University*(Nat. Sci. Edi.)(**东北师大学报·自然科学版**),2006,**38**(4):117－122(in Chinese).

[18] JNE A(**贾娜尔·阿汗**),ZHANG X F(**张相逢**),ZHAO Y(**赵　玉**). Effects of salt stress and alkali stress on germination and growth of wheat-wheatgrass Earliest Young seedling[J]. *Seed*(**种子**),2010,**29**(9):52－55(in Chinese).

[19] JALEEL C A,SANKAR B,SRIDHARAN R,*et al*. Soil salinity alters growth,chlorophyll content and secondary metabolite accumulation in Catharan thus roseus[J]. *Turkish Journal of Biology*,2008,32:79－83.

[20] ZHANG Y P(**张永平**),CHEN Y Y(**陈幼源**),CHEN F X(**陈绯翔**). Effect of saline-alkali stress on seed germination of melon[J]. *Acta Agriculture Shanghai*(**上海农业学报**),2009,**25**(4):22－25(in Chinese).

[21] CHI CH M(**迟春明**),WANG ZH CH(**王志春**),LI B(**李　彬**). Effects of complex alkali-saline stress on germination and seedling growth of broom sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*(**干旱地区农业研究**),2008,**26**(4):148－151(in Chinese).

[22] NEPTM M(**努尔帕提曼·买买提热依木**),QM Y(**齐曼·尤努斯**),TAN D Y(**谭敦炎**). Seed germination and plant growth of four ephemeral species under salt stress[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(**西北植物学报**),2011,**31**(8):1 618－1 627(in Chinese).

[23] SONG X L(**宋旭丽**),HOU X L(**侯喜林**),HU CH M(**胡春梅**),*et al*. Seed germination and seedling growth of sweet pepper under NaCl stress[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(**西北植物学报**),2011,**31**(3):569－575(in Chinese).

[24] XU D F(**徐高峰**),ZHANG F D(**张付斗**),LI T L(**李天林**),*et al*. Influence of environmental factors on seed germination of *Phalaris paradoxa* and *Phalaris minor*[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(**西北植物学报**),2011,**31**(7):1 458－1 465(in Chinese).

[25] WANG B Q(**王柏青**),WANG Y H(**王耀辉**). Effect of mixed salt stress on seed germination of *Elaeagnus angustifolia*[J]. *Journal of Northeast Forestry University*(**东北林业大学学报**),2008,**36**(12):11－12(in Chinese).

[26] CAO M H(**曹满航**),LI J(**李　进**),ZHUANG W W(**庄伟伟**),*et al*. Effect of different sodium salt stress on the seed germination of *Ammodendron bifolium* (Pall) Jakov[J]. *Seed*(**种子**),2010,**29**(2):33－38(in Chinese).

[27] MA H Y(**马红媛**),LIANG ZH W(**梁正伟**),WANG M M(**王明明**),*et al*. Effects of NaCl stress on seed germination and seedling growth of four Poaceae grass species[J]. *Chinese Journal of Ecology*(**生态学杂志**),2009,**28**(7):1 229－1 233(in Chinese).

[28] WENG Y L(**翁永玲**),GONG P(**宫　鹏**). Soil salinity measurements on the Yellow River Delta[J]. *Journal of Nanjing University*(Nat. Sci. Edi.)(**南京大学学报·自然科学版**),2006,**42**(6):602－606(in Chinese).

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net