

NaCl 胁迫对不同基因型水稻种子萌发和幼苗生长的影响

曾泳怡, 冯梓晴, 曾晓靖, 翁丽云, 李婧潼, 饶刚顺*

(广东海洋大学滨海农业学院, 广东湛江 524088)

摘要 为探究不同基因型水稻品种的耐盐性,以常规稻海稻86、弱感光型三系杂交稻博Ⅱ优15、感温型三系杂交稻广8优2168、感温型两系杂交稻深两优58香油占为试验材料,研究了不同NaCl浓度(0、50、100和200 mmol/L)对水稻种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明,盐胁迫抑制了种子的萌发,降低了种子的发芽势和发芽率,缩短了根长,减少了根数;在较低盐浓度(50或100 mmol/L)下,部分品种的幼苗鲜干重高于对照,高盐浓度(200 mmol/L)显著降低幼苗的鲜干重;此外,以相对盐害率作为水稻发芽耐盐性的评价指标,海稻86的耐盐性达到“极强”,博Ⅱ优15和深两优58香油占的耐盐性达到“强”,而广8优2168的耐盐性在4个品种中最弱,属于中等。

关键词 盐胁迫;水稻;发芽;耐盐评价;相对盐害率

中图分类号 S511 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)07-0025-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.07.007



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of NaCl Stress on Seed Germination and Seedling Growth of Different Rice Genotypes

ZENG Yong-yi, FENG Zi-qing, ZENG Xiao-jing et al (College of Coastal Agricultural Sciences, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088)

Abstract To explore the salt tolerance of different rice genotypes, a laboratory experiment was carried out to study the effects of NaCl stress with different concentrations (0, 50, 100, 200 mmol/L) on germination and seedling growth of four rice genotypes, including conventional rice Haidao, weakly photosensitive type three-line hybrid rice Bo II you 15, thermo-sensitive type three-line hybrid rice Guang 8 you 2168 and thermo-sensitive type two-line hybrid rice Shenliangyou 58 xiangyouzhan. The results showed that NaCl stress could inhibit the germination of rice seeds, reduce germination energy and germination percentage, shorten root length, decrease root number. Fresh and dry weight of root or shoot were significantly reduced by high concentration of salt solution (250 mmol/L). However, fresh and dry weight of root or shoot didn't show obvious decrease under lower salt concentration (50, 100 mmol/L), and inversely they were increased in some varieties. Moreover, salt tolerance of four rice genotype varieties was evaluated by the relative salt damage rate. Finally, Haidao 86, Bo II you 15, Shenliangyou 58 xiangyouzhan and Guang 8 you 2168 had extremely strong, strong, strong and medium salt tolerance, respectively.

Key words Salt stress; Rice; Germination; Salt tolerance evaluation; Relative salt damage rate

土壤盐碱化是全球面临的共同问题,世界耕地中盐碱地面积高达 $1.0 \times 10^9 \text{ hm}^2$,仅亚洲就有 $2.9 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的盐碱地面积^[1-2]。据中国国家统计局网站(<http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>)显示,2019年的粮食作物播种面积为 $1.1606 \times 10^8 \text{ hm}^2$,而中国的盐碱地危害比较严重,有超过 $9.9 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 的盐碱地面积^[3],约占2019年的粮食作物播种面积的85%。水稻作为世界的主要粮食作物之一,全世界有35亿人口以稻米为主食^[4],而中国有超过60%的人口以稻米作为主粮,且以食用消费为主^[5]。在全球气候变化下,海平面上升加重了土壤盐碱化和生境退化,环境的恶化会对水稻的产量和品质产生重大的冲击^[6-7]。同时,随着人口的膨胀,自然灾害的频发(暴雨、海水倒灌),经济建设占地的增加,导致耕地面积逐年减少,稻谷总产量减少^[8]。盐碱地种植水稻不仅能有效利用盐碱地提高粮食产量,而且对耕地还有生态涵养功能,对盐碱地的改良和治理具有一定的效果^[9]。因此,筛选和培育耐盐性强的水稻品种是农业可持续发展的一个重要研究方向,而水稻萌发幼苗期是对盐胁迫最敏感^[10-11]。因此,筛选萌发幼苗期高耐盐性水稻品种,对于水稻耐盐特性的挖掘和耐盐新种质的创制具有重要意义。鉴于此,笔者以常规稻、弱感光型三系杂交稻、感温型三系杂

交稻、感温型两系杂交稻4个不同基因型水稻品种为研究材料,设置4个不同浓度NaCl溶液进行盐胁迫处理,分析种子萌发和幼苗生长的相关指标,为科学种植盐碱地水稻、选择优质抗盐品种和提高盐碱地水稻生产能力提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试材料为4个不同基因型水稻品种/组合:海稻86(常规稻,广东省遂溪县虎头坡陈日胜选育)、博Ⅱ优15(弱感光型三系杂交稻,湛江海洋大学杂交水稻研究室选育)、广8优2168(感温型三系杂交稻,广东省农业科学院水稻研究所选育)、深两优58香油占(感温型两系杂交稻,广东省农业科学院水稻研究所选育)。

1.2 试验设计 将风选后的水稻种子用10%次氯酸钠溶液消毒10 min,用纯水冲洗干净,浸种24 h后,挑选健康饱满种子分别置于不同氯化钠浓度溶液的培养皿中,培养皿垫有2层滤纸。设置4个不同浓度的NaCl溶液,浓度分别为0、50、100、200 mmol/L。每个培养皿放置30粒种子,每个品种每个处理重复3次。将处理好的培养皿置于培养箱中,培养周期为光照12 h/黑暗12 h,温度为30℃,培养10 d,培养期间喷洒纯水保持培养湿润。

1.3 指标测定及计算 每2 d固定时间记录种子的萌发情况,自种子开始露白起,至3 d内发芽数不增加为止。第5天计算种子的发芽势,第10天测定种子的发芽率、相对发芽率、相对盐害率等指标。处理10 d后,每个重复随机选取10株幼苗,测量其根长、苗高、根数、根鲜重、苗鲜重。测完后

基金项目 广东省大学生创新训练项目(CXXL2019055);广东海洋大学科研启动经费资助项目(R20042);广东省重点领域研发计划项目(2020B020219004)。

作者简介 曾泳怡(1998—),女,广东佛山人,从事作物抗性研究。
* 通信作者,讲师,博士,从事作物抗逆性研究。

收稿日期 2020-08-25

105 ℃下杀青 30 min,再调至 70 ℃ 烘干至恒重称量根干重和苗干重,并计算每株幼苗的重量。

根冠比=根鲜重/苗鲜重

发芽势(%)=5 d 内发芽种子数/试验种子总数×100%

发芽率(%)=10 d 内发芽种子数/试验种子总数×100%

相对发芽率(%)=某处理下的发芽率/对照组的发芽率×100%

相对盐害率的计算参照贺奇等^[10]的方法:

相对盐害率(%)=(对照发芽率-处理发芽率)/对照发芽率×100%

以 200 mmol/L 的盐溶液处理的种子发芽率作为标准,进行盐害评价,耐盐级别评价划分见表 1。

表 1 耐盐级别评价

Table 1 Grade evaluation of salt tolerance

级别 Grade	相对盐害率 Relative salt damage rate//%	耐盐性 Salt tolerance
1	0~20.0	极强
3	20.1~40.0	强
5	40.1~60.0	中
7	60.1~80.0	弱
9	80.1~100	极弱

表 2 不同 NaCl 浓度对 4 种基因型水稻种子发芽特性的影响

Table 2 Effects of different NaCl concentrations on seed germination characteristics of four genotype rice

品种名称 Variety name	浓度 Concentration mmol/L	发芽势 Germination energy//%	发芽率 Germination percentage//%	相对发芽率 Relative germ- ination rate//%	相对盐害率 Relative salt damage rate//%
海稻 86 Haidao 86	0	84.44 b	88.78 bc	100	0
	50	81.11 c	82.22 d	92.62	7.38
	100	77.78 d	78.89 ef	88.86	11.14
	200	62.22 g	77.78 fg	87.61	12.39
博 II 优 15 Bo II you 15	0	72.22 e	77.78 fg	100	0
	50	65.56 f	71.11 h	91.43	7.51
	100	57.78 h	65.56 i	84.29	13.77
	200	52.22 i	57.78 j	74.29	22.53
广 8 优 2168 Guang 8 you 2168	0	71.11 e	81.11 de	100	0
	50	67.78 f	75.56 g	93.15	6.26
	100	57.78 h	68.89 h	84.93	13.77
	200	27.78 j	42.22 k	52.05	43.81
深两优 58 香油占 Shenliangyou 58 xiangyouzhan	0	88.89 a	98.89 a	100	0
	50	84.44 b	91.11 b	92.13	8.76
	100	82.22 bc	87.78 c	88.76	12.52
	200	72.22 e	78.89 ef	79.78	22.53

注:表中数据为平均值,同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著(n=3)

Note:Data in the table were mean value. Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level (n=3)

2.2 不同 NaCl 浓度胁迫对 4 种基因型水稻幼苗根长和根数的影响

由表 3 可知,随着 NaCl 浓度的增加,4 种基因型水稻幼苗的根长和根数逐渐减少。海稻 86 的根长在 50、100 和 200 mmol/L NaCl 浓度处理下分别比对照(0 mmol/L)降低了 19.0%、31.4%和 80.8%;博 II 优 15 的根长在 50、100 和 200 mmol/L NaCl 浓度处理下分别比对照减少 37.7%、51.5%和 73.3%;相比对照处理,广 8 优 2168 的根长在 50、100 和 200 mmol/L NaCl 浓度处理下分别变短了 17.6%、54.6%和 79.0%;与对照相比,深两优 58 香油占的根长在 50、100 和 200 mmol/L NaCl 浓度处理下分别被抑制了 7.0%、16.6%和

77.3%。

2 结果与分析

2.1 不同 NaCl 浓度胁迫对 4 种基因型水稻种子萌发的影响

由表 2 可知,随着 NaCl 浓度的增加,4 种基因型水稻种子的发芽势和发芽率逐渐减少,且均显著低于对照(纯水,0 mmol/L NaCl)。对于海稻 86 和深两优 58 香油占的发芽势,在 50 和 100 mmol/L NaCl 溶液处理下没有显著差异,但均显著高于 200 mmol/L 处理的发芽势。4 种基因型水稻种子的相对发芽率随着 NaCl 处理浓度的增加而减少,且相对盐害率随着 NaCl 处理浓度的增加而增加;在 200 mmol/L 浓度下,海稻 86 的相对发芽率为 87.61%,高于其他 3 个品种,而广 8 优 2168 的相对发芽率只有 52.05%。以 200 mmol/L 浓度处理为标准,对应相对盐害率参照表 1 耐盐级别评价,海稻 86 的耐盐性达到“极强”,博 II 优 15 和深两优 58 香油占的耐盐性达到“强”,而广 8 优 2168 的耐盐性在 4 个品种中最弱,属于中等。

77.3%。

由表 3 可知,不同 NaCl 浓度下海稻 86 的幼苗根数显著高于对应浓度的其他 3 个水稻品种的幼苗根数。相比对照处理的根数,海稻 86、博 II 优 15、广 8 优 2168、深两优 58 香油占在 NaCl 胁迫下根数降幅分别为 -14.4%~-51.3%、-9.6%~-45.1%、-16.2%~-58.7%、-27.5%~-47.3%。

2.3 不同 NaCl 浓度胁迫对 4 种基因型水稻幼苗根鲜重和干重的影响

由表 4 可知,不同 NaCl 浓度下的海稻 86 和博 II 优 15 的根鲜重显著低于对照处理,且最高下降分别达到 93.6%和 57.0%;广 8 优 2168 和深两优 58 香油占在 50 mmol/L

表 3 不同 NaCl 浓度对 4 个基因型水稻幼苗根长和根数的影响

Table 3 Effects of different NaCl concentrations on root length and root number of four genotype rice seedlings

品种名称 Variety name	浓度 Concentration mmol/L	根长 Root length cm	根数 Root number
海稻 86	0	11.79±0.17 e	10.1±0.2 a
Haidao 86	50	9.55±0.28 g	8.6±0.1 b
	100	8.09±0.20 h	7.7±0.3 c
	200	2.26±0.11 l	4.9±0.2 e
博 II 优 15	0	19.72±0.21 a	5.8±0.1 d
Bo II you 15	50	12.28±0.1d e	5.3±0.2 de
	100	9.57±0.19 g	3.9±0.1 g
	200	5.26±0.16 j	3.2±0.2 h
广 8 优 2168	0	15.7±0.17 b	5.6±0.3 d
Guang 8 you 2168	50	12.93±0.09 c	4.7±0.1 ef
	100	7.12±0.10 i	4.3±0.2 fg
	200	3.30±0.25 k	2.3±0.2 i
深两优 58 香油占	0	12.69±0.21 cd	8.1±0.3 bc
Shenliangyou	50	11.80±0.14 e	5.9±0.2 d
58 xiangyouzhan	100	10.58±0.20 f	4.7±0.2 ef
	200	2.88±0.10 k	4.3±0.4 fg

注:表中数据为平均值±标准误,同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Data in the table were mean±SE. Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

NaCl 浓度处理下,根鲜重比对照分别增加了 2.6% 和 17.7%,但在 100 和 200 mmol/L 浓度处理下,根鲜重显著低于对照处理。不同 NaCl 浓度下海稻 86 的幼苗根干重显著低于对照处理,且最高下降了 81.5%。博 II 优 15、广 8 优 2168 和深两优 58 香油占在 50 mmol/L NaCl 浓度处理下,根干重比对照分别增加了 7.1%、9.4% 和 4.8%,但与对照差异不显著;而在 100 和 200 mmol/L 浓度处理下,除了博 II 优 15,其他品种的根干重显著低于对照处理。

表 4 不同 NaCl 浓度对 4 个基因型水稻幼苗根鲜重和干重的影响

Table 4 Effects of different NaCl concentrations on root fresh weight and dry weight of four genotype rice seedlings

品种名称 Variety name	浓度 Concentration mmol/L	根鲜重 Root fresh weight mg/株	根干重 Root dry weight mg/株
海稻 86	0	40.13±0.46 c	7.75±0.25 a
Haidao 86	50	35.67±0.47 f	5.16±0.14 cd
	100	25.79±0.34 i	4.58±0.21 e
	200	2.56±0.12 n	1.43±0.15 ij
博 II 优 15	0	39.65±0.25 cd	5.22±0.23 cd
Bo II you 15	50	33.96±0.34 g	5.59±0.16 c
	100	32.53±0.61 h	4.84±0.16 de
	200	17.05±0.28 k	2.47±0.09 g
广 8 优 2168	0	35.96±0.17 f	3.62±0.14 f
Guang 8 you 2168	50	36.89±0.36 e	3.96±0.09 f
	100	23.87±0.07 j	2.12±0.08 gh
	200	9.24±0.17 m	1.12±0.12 j
深两优 58 香油占	0	44.20±0.22 b	6.20±0.14 b
Shenliangyou	50	52.02±0.12 a	6.50±0.23 b
58 xiangyouzhan	100	38.79±0.29 d	4.81±0.11 de
	200	10.85±0.16 l	1.76±0.19 hi

注:表中数据为平均值±标准误,同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Data in the table were mean±SE. Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

2.4 不同 NaCl 浓度胁迫对 4 种基因型水稻幼苗地上部鲜重和干重的影响 由表 5 可知,在 50 mmol/L NaCl 浓度处理下,海稻 86、博 II 优 15、深两优 58 香油占的幼苗地上部苗鲜重显著高于对照处理,分别增加了 18.7%、12.3%、21.0%,而广 8 优 2168 的苗鲜重显著低于对照 18.8%;在 100 mmol/L NaCl 浓度处理下,海稻 86、深两优 58 香油占的苗鲜重显著高于对照处理,分别增加了 22.0% 和 8.1%,而博 II 优 15 和广 8 优 2168 的苗鲜重与对照差异不显著;在 200 mmol/L NaCl 浓度处理下的 4 个水稻幼苗地上部鲜重均显著低于对照处理,最高降低了 57.8%。对于水稻地上部幼苗干重,在 50、100 mmol/L NaCl 浓度处理下的海稻 86 和广 8 优 2168 的苗干重与对照处理差异不显著,而 200 mmol/L NaCl 浓度处理的 2 个品种水稻幼苗干重显著低于对照,比对照分别降低了 54.3% 和 50.8%;博 II 优 15 和深两优 58 香油占在 200 mmol/L NaCl 浓度处理下显著低于对照,分别比对照降低了 30.4% 和 28.7%,而在其他 NaCl 浓度处理下 2 个品种水稻苗干重(显著)高于对照。

表 5 不同 NaCl 浓度对 4 个基因型水稻幼苗地上部鲜重和干重的影响
Table 5 Effects of different NaCl concentrations on shoot fresh weight and dry weight of four genotype rice seedlings

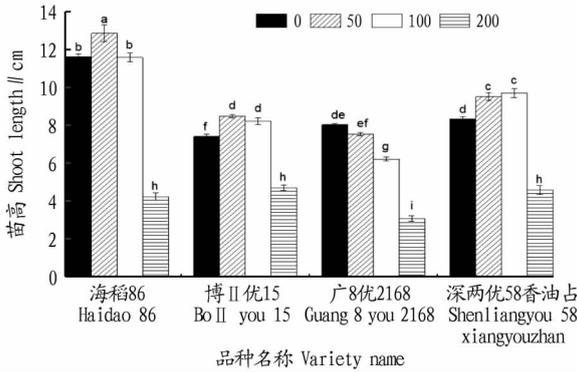
品种名称 Variety name	浓度 Concentration mmol/L	苗鲜重 Shoot fresh weight mg/株	苗干重 Shoot dry weight mg/株
海稻 86 Haidao 86	0	16.92±0.40 e	5.54±0.28 ab
	50	20.09±0.16 d	5.88±0.13 a
	100	20.64±0.35 d	5.92±0.18 a
	200	8.40±0.25 h	2.53±0.21 g
博 II 优 15 Bo II you 15	0	19.93±0.18 d	4.11±0.13 e
	50	22.38±0.39 c	4.75±0.21 c d
	100	20.78±0.48 d	4.47±0.21 de
广 8 优 2168 Guang 8 you 2168	0	13.83±0.35 f	2.86±0.24 fg
	50	24.76±0.27 b	3.19±0.05 f
	100	20.11±0.31 d	2.76±0.08 fg
深两优 58 香油占 Shenliangyou	0	24.47±0.35 b	3.20±0.15 f
	50	10.46±0.23 g	1.57±0.06 h
	200	23.10±0.45 c	4.28±0.15 de
58 xiangyouzhan	0	27.95±0.42 a	5.28±0.18 b
	100	24.97±0.07 b	5.13±0.17 bc
	200	16.02±0.48 e	3.05±0.22 fg

注:表中数据为平均值±标准误,同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Data in the table were mean±SE. Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

2.5 不同 NaCl 浓度胁迫对 4 种基因型水稻幼苗株高的影响 由图 1 可知,海稻 86、博 II 优 15、深两优 58 香油占的幼苗株高随着 NaCl 浓度的增加先增加后降低,但广 8 优 2168 的苗高随着 NaCl 浓度的升高而降低。博 II 优 15、深两优 58 香油占分别在 50、100 mmol/L 处理下的苗高差异不显著,但显著高于对照处理;2 个品种的苗高在 200 mmol/L 浓度处理下显著低于对照,分别比对照低了 36.4% 和 45.0%。

2.6 不同 NaCl 浓度胁迫对 4 种基因型水稻幼苗根冠比的影响 由图 2 可知,与对照处理相比,不同 NaCl 浓度胁迫显



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

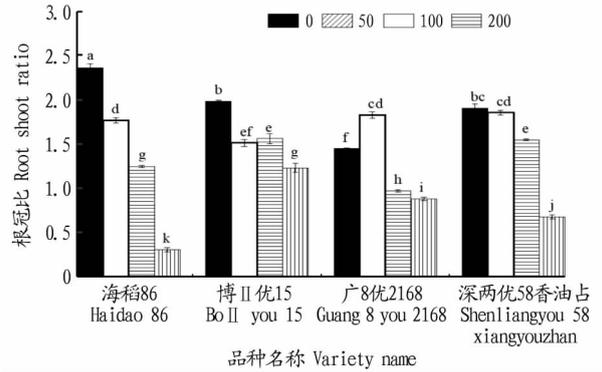
Note: Different lowercases indicated significant differences at 0.05 level

图 1 不同 NaCl 浓度对 4 种基因型水稻幼苗株高的影响

Fig. 1 Effects of different NaCl concentrations on shoot height of four genotype rice seedlings

著降低海稻 86 和博 II 优 15 的幼苗根冠比。在 50 mmol/L 浓度处理下的广 8 优 2168 的根冠比显著高于对照,而其他浓度处理的根冠比显著低于对照。在 50 mmol/L 浓度处理下的深两优 58 香油占的根冠比与对照差异不显著,而其他浓度处理的根冠比显著低于对照。

2.7 种子萌发与幼苗生长特性的相关关系 通过对种子萌发特性与幼苗生长特性的相关指标进行 Pearson 相关分析,



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases indicated significant differences at 0.05 level

图 2 不同 NaCl 浓度对 4 种基因型水稻幼苗根冠比的影响

Fig. 2 Effects of different NaCl concentrations on root shoot ratio of four genotype rice seedlings

结果见表 6。由表 6 可知,相对盐害率与根长、苗高、根数、根鲜重、根干重、苗鲜重、苗干重、发芽势、发芽率、根冠比、相对发芽率等指标之间呈显著或极显著的负相关;除了根长与苗干重、发芽势、发芽率的相关系数,根数与苗鲜重的相关系数,根冠比与发芽率的相关系数未达到显著外,其他的种子萌发特性与幼苗生长特性的相关指标之间均呈显著或极显著的正相关。

表 6 种子萌发特性与幼苗特性的皮尔逊相关关系

Table 6 Pearson's correlation coefficient of seed germination characteristics and seedling traits

项目 Item	根长 Root length	苗高 Shoot height	根数 Root number	根鲜重 Root fresh weight	根干重 Root dry weight	苗鲜重 Shoot fresh weight	苗干重 Shoot dry weight	发芽势 Germination energy	发芽率 Germination percentage	根冠比 Root shoot ratio	相对发芽率 Relative germination rate
苗高 Shoot height	0.507*										
根数 Root number	0.406	0.810**									
根鲜重 Root fresh weight	0.835**	0.718**	0.530*								
根干重 Root dry weight	0.693**	0.816**	0.748**	0.881**							
苗鲜重 Shoot fresh weight	0.641**	0.573*	0.265	0.819**	0.572*						
苗干重 Shoot dry weight	0.404	0.933**	0.744**	0.656**	0.818**	0.551*					
发芽势 Germination energy	0.494	0.743**	0.785**	0.681**	0.735**	0.573*	0.750**				
发芽率 Germination percentage	0.459	0.615*	0.732**	0.632**	0.658**	0.536*	0.614*	0.969**			
根冠比 Root shoot ratio	0.800**	0.702**	0.609*	0.901**	0.900**	0.541*	0.608*	0.563*	0.481		
相对发芽率 Relative germination rate	0.737**	0.639**	0.707**	0.692**	0.698**	0.561*	0.569*	0.839**	0.840**	0.607*	
相对盐害率 Relative salt damage rate	-0.764**	-0.635**	-0.701**	-0.704**	-0.709**	-0.552*	-0.552*	-0.793**	-0.791**	-0.638**	-0.994**

注: * 表示在 0.05 水平差异显著; ** 表示在 0.01 水平差异极显著

Note: * indicated significant differences at 0.05 level; ** indicated extremely significant differences 0.01 level

3 结论与讨论

种子萌发和幼苗形态建成是植物生长的关键时期,发芽率和发芽势常用作种子的发芽指标,同时反映了种子发芽的整齐度^[10]。该研究表明,随着 NaCl 浓度的增加,不同基因型水稻种子的发芽率和发芽势呈下降趋势,高盐浓度(200 mmol/L)胁迫对发芽具有较强的抑制作用,低盐浓度(50 mmol/L)胁迫对发芽的抑制作用明显减弱,这与贺奇等^[10]的研究结果一致。水稻耐盐性比较复杂,可以通过表型指标来评价水稻的耐盐性^[11]。该研究表明,当盐胁迫浓度升高时,导致 4 种基因型水稻的根长缩短及根数减少,且各浓度处理间差异显著;不同盐浓度处理对 4 种基因

型水稻苗高的影响不一,除了广 8 优 2168 外,其他 3 个品种的苗高随着浓度增加先增加后下降,这些结果与郭彦等^[12]的研究结果不完全一致,这可能是由于选择的试验材料不同,袁杰等^[13]的研究表明,用 0.9% 盐浓度处理 409 份水稻材料时,有 43 份材料的苗长比淡水处理更长。对于水稻苗鲜重、苗干重、根鲜重、根干重等指标,在 50 和 100 mmol/L 浓度处理下,不同品种表现有增有减,而在 200 mmol/L 浓度处理下各品种均显著低于对照。

不同水稻品种在盐胁迫下的发芽情况存在一定差异,相对盐害率在一定条件下可以反映盐胁迫的受害程度^[10]。该研究表明,相对盐害率与根长、苗高、根数、根鲜重、根

干重、苗鲜重、苗干重、发芽势、发芽率、根冠比、相对发芽率等指标之间呈显著或极显著负相关,以 200 mmol/L 浓度处理为标准,对应相对盐害率进行耐盐级别评价,海稻 86 的耐盐性达到“极强”,这与赵记伍等^[14] 研究结果一致,博 II 优 15 和深两优 58 香油占的耐盐性达到“强”,而广 8 优 2168 的耐盐性在 4 个品种中最弱,属于中等。但是,这些结果只是在实验室鉴定的结果,若需要推广应用还需进行田间鉴定;而且该研究选用不同水稻类型的供试品种只有 1 种,无法表明品种的耐盐能力与品种类型的相关性,下一步试验应多选取几个相同类型的品种进行综合分析。另外,对品种耐盐性的评价与鉴定,不仅局限于芽期和苗期的形态指标,更应该通过后续试验对水稻的不同生育时期的生理生化指标、农艺性状、生物量和产量以及分子水平探究盐胁迫对水稻的影响。

综上所述,盐胁迫会降低水稻种子的发芽率和发芽势,缩短根长,减少根数,相对盐害率与种子萌发特性和幼苗生长特性的相关指标呈显著(极显著)负相关,相对盐害率可以在一定程度上反映不同水稻品种的受盐害程度,可对不同水稻品种进行耐盐性评价。

参考文献

[1] LIU L, CHEN J, TAN Y N, et al. Increasing fatty acids in rice root improves

silence of rice seedling to salt stress[J]. Rice science, 2019, 26(6): 339-342.

- [2] 信彩云, 马惠, 赵庆雷, 等. 不同浓度 NaCl 胁迫对水稻种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2019, 36(3): 7-10.
- [3] 陈名蔚, 王峰, 瞿钰峰, 等. 水稻盐碱地种植可行性初探[J]. 农业与技术, 2017, 37(2): 50-51.
- [4] MUTHAYYA S, SUGIMOTO J D, MONTGOMERY S, et al. An overview of global rice production, supply, trade, and consumption[J]. Annals of the New York academy of sciences, 2014, 1324(1): 7-14.
- [5] 刘贵富, 陈明江, 李明, 等. 水稻育种行业创新进展[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(3): 416-429.
- [6] 饶刚顺, 尚立中, 甘海梅, 等. 气候变暖情况下广东水稻最适播种期初探[J]. 中国农学通报, 2012, 28(5): 300-305.
- [7] 蔡裕硕, 谭红建. 海平面加速上升对低海拔岛屿、沿海地区及社会的影响和风险[J]. 气候变化进展, 2020, 16(2): 163-171.
- [8] 姚栋萍, 吴俊, 胡忠孝, 等. 水稻耐盐碱的生理机制及育种策略[J]. 杂交水稻, 2019, 34(4): 1-7.
- [9] 魏征, 屠乃美, 易镇邪. 盐碱地对水稻的胁迫效应及其改良与高效利用的研究进展[J]. 湖南生态科学学报, 2019, 6(4): 45-52.
- [10] 贺奇, 王昕, 马洪文, 等. 盐胁迫下梗稻种子发芽特性及耐盐性评价[J]. 中国稻米, 2018, 24(1): 28-32.
- [11] 张治振, 李稳, 周起先, 等. 不同水稻品种幼苗耐盐性评价[J]. 作物杂志, 2020(3): 92-101.
- [12] 郭彦, 张文会, 杨洪双, 等. 盐胁迫下水稻发芽特性和幼苗耐盐生理基础[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(6): 1053-1054.
- [13] 袁杰, 王学强, 张燕红, 等. 水稻种质资源苗期耐盐性鉴定[J]. 分子植物育种, 2020, 18(20): 6808-6814.
- [14] 赵记伍, 雷传松, 刘永权, 等. 海稻 86 萌发期耐盐碱性特征初探[J]. 中国稻米, 2018, 24(3): 87-92.

(上接第 19 页)

- [20] 马雪莲, 郑险峰, 王朝辉, 等. 有机水溶肥海藻素在设施黄瓜上使用效果研究[J]. 西北园艺(综合), 2020(2): 49-50.
- [21] 吕银亮, 刘江涛, 王金国. 大量元素水溶肥在棉花上的施用效果[J]. 农村科技, 2020(1): 16-19.
- [22] 宋修超, 张杨, 高岩, 等. 含海藻酸有机水溶肥料对低温胁迫下辣椒幼苗生长的影响[J]. 现代园艺, 2020(2): 4-6.
- [23] 缙毅毅, 索升州, 姚丹, 等. 微生物肥料研究进展及其在农业生产中的应用[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(11): 13-17.
- [24] 张宪武. 生物固氮机制研究的进展[J]. 科学通报, 1965, 10(8): 705-713.
- [25] 李俊, 姜昕, 马鸣超, 等. 我国微生物肥料产业需求与技术创新[J]. 中国土壤与肥料, 2019(2): 1-5.
- [26] 马原松, 黄志璞. 微生物肥料的研究进展[J]. 山东工业技术, 2017(11): 259-260.
- [27] 吴珏, 王伟群, 瞿洁, 等. 化肥减量配施微生物肥料对青菜生长的影响[J]. 上海蔬菜, 2020(2): 52-54.
- [28] 岳明灿, 王志国, 陈秋实, 等. 减施化肥配施微生物菌剂对番茄产质量和土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2020, 52(1): 68-73.
- [29] 张志鹏, 蔡燕飞, 段继贤, 等. 复合微生物菌剂在设施黄瓜上的应用效果研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(2): 168-170.
- [30] 李琦, 姚拓, 杨晓玫, 等. 半干旱地区不同剂型微生物菌肥替代部分化肥对燕麦生长和品质的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(3): 159-165.
- [31] 肖开兴, 肖析蒙, 杨瑶君, 等. 复合微生物肥对茶树生长的促进作用初探[J]. 四川林业科技, 2019, 40(6): 48-54.
- [32] 农业部, 国家发展改革委, 财政部, 等. 关于印发《关于推进农业废弃物资源化利用试点的方案》的通知: 农计发[2016] 90号[A]. 2016.
- [33] 郑利杰, 王波. 我国商品有机肥发展瓶颈及策略研究[J]. 环境与可持续发展, 2017, 42(3): 38-41.
- [34] 曾德武, 李立, 彭孟祥, 等. 商品有机肥特征及其在烟草行业的应用潜力[J]. 现代农业科技, 2019(7): 177-178, 180.
- [35] 张玉娟, 李继明. 定西市安定区马铃薯化肥减量增效试验[J]. 现代农业科技, 2020(5): 54-55, 57.

- [36] 王道兵, 韩兴涛, 杨雷, 等. 生物有机肥施用量对土壤性状及西兰花商品性、产量的影响[J]. 南方农业, 2020, 14(1): 30-33.
- [37] 徐汉亿, 周祥, 孙进, 等. 张璇. 施用商品有机肥对沿海地区小麦产量及耕地质量的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2019, 36(6): 34-37.
- [38] 陈乃祥, 李艳莉, 杨霞光, 等. 商品有机肥替代化肥对设施西瓜生产的影响[J]. 上海蔬菜, 2018(6): 55-57.
- [39] 中国有机肥协会. 中微量元素肥料的作用[N]. 江苏农业科技报, 2019-12-25(005).
- [40] 李闻芝. 助力微量元素肥四两拨千斤[J]. 化工管理, 2016(10): 57-59.
- [41] 潘国玲, 李祝斌. 微量元素水溶肥料在冬枣上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2020(4): 58.
- [42] 韦云东, 郑华, 刘翠娟, 等. 增施中微量元素肥料对木薯生长及产量的影响[J]. 热带农业科学, 2020, 40(1): 7-14.
- [43] 王锐, 王竞, 杨玉春, 等. 配施中微量元素对宁夏夏葡萄酒葡萄产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(6): 166-171.
- [44] 栗海英. 微量元素水溶肥料对苹果增产效应的试验研究[J]. 农业科技与装备, 2019(3): 9-10, 13.
- [45] 何艳明, 何红喜, 杨庆祝. 喷施微量元素水溶肥料(粉剂)对黄瓜产量的影响初探[J]. 南方农业, 2019, 13(15): 187-188.
- [46] 方福平, 程式华. 论中国水稻生产能力[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(6): 559-566.
- [47] 王伟妮, 鲁剑巍, 鲁明星, 等. 湖北省早、中、晚稻施磷增产效应及磷肥利用率研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 795-802.
- [48] 鲁剑巍, 李荣. 水稻常见缺素症状图谱及矫正技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [49] 吴文革, 习敏, 李红春, 等. 不同水稻专用新型肥料减肥增效对比研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(2): 135-137, 140.
- [50] 吴萍萍, 李录久, 耿言安, 等. 不同新型肥料对江淮地区水稻生长及氮素吸收利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(3): 149-153.
- [51] 卢俊, 陈锦珠, 朱孔志, 等. 不同新型高效肥料在苏北地区水稻上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2020(7): 10-11.
- [52] 张娜. 水稻商品有机肥替代化肥减量施肥技术研究[J]. 现代农业科技, 2020(7): 12, 14.
- [53] 伍龙梅, 李惠芬, 张彬, 等. 中微量元素肥料对超级杂交籼稻株型和干物质积累的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(28): 1-6.