

潘晓飏,谢留杰,黄善军,等. 杂交水稻不同生育阶段的耐盐性及育种策略[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):56-60.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.06.013

杂交水稻不同生育阶段的耐盐性及育种策略

潘晓飏^{1,3}, 谢留杰¹, 黄善军¹, 段敏^{1,3}, 陈剑¹, 徐建龙²

(1. 台州市农业科学研究院,浙江临海 317000; 2. 中国农业科学院作物科学所,北京 100081;

3. 台州市作物遗传育种重点实验室,浙江临海 317000)

摘要:以8个杂交水稻组合作为试验材料,分别在发芽期、幼苗期和全生育期进行盐胁迫,鉴定杂交组合不同发育时期的耐盐性表现,研究杂交水稻不同生育阶段的耐盐性特点和相关性。结果表明,杂交水稻在不同生育阶段的耐盐性存在较大差异,发芽期的耐盐性明显强于幼苗期和全生育期;不同组合在各个生育阶段的耐盐性差异较大,杂交水稻发芽期、幼苗期和全生育期的耐盐性之间没有直接的相关性;在发芽期、幼苗期和全生育期盐胁迫条件下,杂交水稻的相对盐害率、枯死叶率和单株粒质量可以作为各时期耐盐性的重要鉴定指标;耐盐杂交水稻的选育应通过不同生育阶段分别进行耐盐性筛选,并利用已知的耐盐基因同时改良不育系和恢复系,实现耐盐基因聚合在杂交一代,进一步提高杂交水稻的耐盐性。

关键词:杂交水稻;发芽期;幼苗期;全生育期;盐胁迫;耐盐性;盐害率;枯死叶率

中图分类号: S332.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)06-0056-05

水稻是一种盐敏感作物,盐胁迫是影响水稻高产的重要原因之一^[1]。随着地球环境的异常变化和人为不合理的灌溉使全球盐碱地的面积日趋增加,土地盐碱化是影响水稻生产进一步稳定发展的最大制约因素之一^[2]。因此,创制水稻耐盐新种质通过遗传改良提高水稻的耐盐性,对于盐碱稻作区的开发利用是最经济而有效的手段。

相关研究表明,水稻的耐盐碱性因品种、生育阶段、器官、土壤盐碱类型等而存在差异。相对而言,水稻在萌发期比较耐盐,但在盐胁迫下会推迟萌发;水稻幼苗期是对盐敏感的一

个时期;当水稻植株进入完全自养的营养生长阶段,对盐碱的耐性逐渐增强,而在生殖生长期对盐碱胁迫又变得敏感^[3]。国内外用于水稻耐盐碱的鉴定方法和评价指标主要包括盐碱胁迫下发芽指标法、形态伤害评价法、生长量比较法和产量的生产能力等^[4]。在成熟期以单株为单位调查并记载有效穗数、主穗长、主穗颖花数、穗质量、结实率、粒质量和产量^[5],或在成熟期调查水稻的主穗结实率、穗粒数和千粒质量等指标来评价耐盐碱性^[6]。其中,以水稻发芽期的相对盐害率^[7-8]、幼苗期的叶片盐害级别^[9-11]为指标,分1~9级进行这2个生育阶段的耐盐性评价。由于种种原因,迄今对水稻全生育期耐盐性研究报道较少,目前还没有一个统一的评价标准。

以往有关水稻耐盐性的研究大多针对常规推广品种和种质资源的筛选鉴定,对杂交水稻耐盐性的研究较少,而且主要针对盐胁迫后生理指标的变化^[12]。为了探明盐胁迫下杂交水稻不同生育阶段的耐盐性特点,筛选出适合在盐渍土壤种

收稿日期:2016-01-27

基金项目:国家“863”计划(编号:2012AA101101);浙江省台州市重点科技项目(编号:121KY15)。

作者简介:潘晓飏(1966—),男,浙江温岭人,硕士,高级农艺师,主要从事杂交水稻抗逆育种工作。Tel:(0576)85196640;E-mail:tzxbpan@163.com。

[7] Baker A M, Hatton W. Calcium peroxide as a seed coating material for padi rice. III. Glasshouse trials [J]. Plant and Soil, 1987, 99 (2): 379-386.

[8] Rehman A U, Farooq M. Boron application through seed coating improves the water relations, panicle fertility, kernel yield, and biofortification of fine grain aromatic rice [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2013, 35(2): 411-418.

[9] 刘怀珍, 黄庆, 陆秀明, 等. 种衣剂对水稻秧苗形态和某些生理特性的影响 [J]. 河南农业科学, 2004(12): 19-21.

[10] 刘宏秋, 高双红. 种子包衣剂在水稻生产中的应用效果研究 [J]. 湖南农业科学, 2014(11): 16-17.

[11] 任灵芳, 李安金, 李宁生. 水稻种子不同营养包衣剂筛选实验 [J]. 农业科学研究, 2009, 30(1): 89-90.

[12] 熊远福, 邹应斌, 文祝友, 等. 水稻种衣剂对秧苗生长、酶活性及内源激素的影响 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1611-

1615.

[13] 刘西莉, 李健强, 刘鹏飞, 等. 浸种专用型水稻种衣剂对水稻秧苗生长及抗病性相关酶活性的影响 [J]. 农药学报, 2000, 2(2): 41-46.

[14] 张浩, 高友丽, 陈勇, 等. 水稻种衣剂对秧苗生理生化及叶绿素荧光参数的影响 [J]. 西北植物学报, 2015, 35(2): 315-321.

[15] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法 [J]. 辽宁农业科学, 1986(3): 28-30.

[16] 王春台, 徐同, 刘学群. 紫外分光光度法测定过氧化氢酶的活性 [J]. 华中农业大学学报, 1987(1): 80-84.

[17] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[18] 李伟群, 刘晓亮, 黄秀枝, 等. 30%吡蚜酮悬浮种衣剂对水稻的安全性及对稻飞虱的防控效果 [J]. 南方农业学报, 2014, 45(11): 1976-1980.

植的杂交水稻组合,本研究以笔者选育的耐盐杂交水稻组合和生产上推广的超级稻组合为研究对象,在发芽期和幼苗期用不同浓度的 NaCl 盐溶液处理种子和幼苗,并分别在正常水田和全生育期盐胁迫条件下进行种植观察,对各组合在不同生育阶段的耐盐性进行鉴定和评价,为制定耐盐杂交水稻选育策略并在沿海滩涂推广种植耐盐杂交稻提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所用材料为6份台州市农业科学研究院选育的耐盐杂交水稻新组合,即桂源优500、Ⅱ优1040、Ⅱ优1050、Ⅱ优1054、Ⅱ优D159和沪优940,以2份生产上推广的超级杂交稻组合即两优培九(粳型)和甬优12号(粳型)为对照。

1.2 方法

1.2.1 发芽期盐胁迫试验 每个材料均随机挑选饱满的种子,置于50℃恒温箱中高温处理48h破休眠,每个重复30粒种子,均匀置于垫滤纸的直径为9cm的培养皿中,分别加入0、4、8、12g/L等4个不同浓度的NaCl溶液(10mL)中进行浸种处理,每个处理设3次重复,放入30℃人工气候箱中发芽,每天更换相应的盐溶液以保证稳定的NaCl浓度,于7d后调查各组合的种子发芽率。

1.2.2 幼苗期盐胁迫试验

1.2.2.1 幼苗培养 供试组合的种子经人工精选后用0.1% HgCl₂消毒15min,自来水冲洗3次,室温浸种2d,30℃催芽后,播种于96孔板(12孔×8孔)中,每孔的底部剪去2mm保证进水和根系生长;每板播4个组合,每个组合播2排共16粒芽根健康的种子,在盛有5mm清水的长方形塑料盘中生长。各组合排列采用随机区组设计,3次重复。等各组合秧苗生长整齐到2叶1心期,换成含盐的水稻营养液培养进行盐胁迫处理。

1.2.2.2 盐胁迫处理 采用Yoshida营养液^[13],配制3种不同浓度(培养液中分别含4、8、12g/L NaCl)盐溶液进行胁迫处理,对照为纯营养液。每天补足因蒸发和蒸腾所失水分,处理3d后更换1次营养液,保持处理期间盐浓度的稳定,处理10d后目测各组合的叶片盐害枯死叶率。处理期间的温度为15~25℃,空气湿度为65%~75%。

1.2.3 全生育期盐胁迫试验

1.2.3.1 正常水田试验 2013年6月7日播种,7月2日插秧,行株距24cm×20cm,每个小区种10行,每行栽8穴,单本移栽,3次重复,随机排列,正常栽培管理。在成熟期每个小区选择10株典型单株,考察株高、穗长、每穗总粒数、每穗实粒数、有效穗数、结实率、千粒质量等农艺性状,全部脱粒测单株粒质量。

1.2.3.2 盐田鉴定试验 2013年6月11日播种,采用直播方式,秧板宽80cm,每个组合播10行,选播芽长一致的种子20粒/行,行距为20cm,3次重复。1.5叶期进行间苗,保留每行10株,2叶1心期以前用淡水灌溉,保证秧苗健壮生长。2叶1心至3叶后开始采用海水与淡水混合调配至盐浓度为0.5%左右的盐水中进行全生育期灌溉胁迫,如处理期间遇下雨,雨停后及时排干水,重新灌盐胁迫。性状取样和调查方法同“1.2.3.1”。

1.3 测定指标

1.3.1 发芽期耐盐性指标 盐胁迫7d后,以各组合相对盐害率(relative damaged rate, RDR)差异最显著的盐浓度下的相对盐害率为指标,进行耐盐性分级评价(表1)^[14]。

发芽率 = 发芽终期发芽粒数 / 供试种子数 × 100% ;

相对盐害率 = (对照发芽率 - 处理发芽率) / 对照发芽率 × 100% 。

1.3.2 幼苗期耐盐性指标 盐胁迫处理10d后,目测各盐浓度下幼苗叶片枯死情况,以不同组合间幼苗枯死叶率(percentage of wilted leaf, PWL)差异最显著的盐浓度下的枯死叶率为指标,进行耐盐性分级评价(表1)。

叶片枯死率 = 盐害枯死叶片面积 / 植物叶片总面积 × 100% 。

表1 芽期和苗期耐盐性评价标准

耐盐级别	芽期相对盐害率(%)	苗期枯死叶率(%)	发芽或生长情况描述
1	0~20.0	0~20.0	正常
3	20.1~40.0	20.1~40.0	接近正常
5	40.1~60.0	40.1~60.0	受抑制
7	60.1~80.0	60.1~80.0	严重受阻
9	80.1~100.0	80.1~100.0	基本不发芽或幼苗死亡

1.3.3 全生育期耐盐性指标 成熟后考察盐胁迫和正常灌溉条件下各组合的单株粒质量(grain yield per plant, GYP)、株高(plant height, PH)、穗长(panicle length, PL)、每穗总粒数(grains per panicle, GPP)、每穗实粒数(filled grains per panicle, FGP)、单株穗数(panicles per plant, PP)、结实率(seed setting rate, SSR)、千粒质量(1000-grain weight, TGW)等8个性状,以各性状的耐盐胁迫指数为指标评价各性状对盐胁迫的响应。

耐盐胁迫指数 = (对照条件下性状值 - 盐胁迫条件下性状值) / 对照条件下性状值 × 100% 。

1.4 数据分析

对所有数据采用SPSS 19.0软件进行统计分析,计算各处理性状的平均数,并进行正常条件和盐胁迫条件下各性状间的相关分析。

2 结果与分析

2.1 杂交稻组合芽期耐盐性表现

从8份参试组合在4种盐浓度溶液处理下的发芽率和相对盐害率情况(表2)来看,在12g/L盐溶液处理时组合间的发芽率和相对盐害率的差异达极显著水平。因此,以12g/L盐浓度下的相对盐害率划分耐盐级别,其中桂源优500和Ⅱ优1040为1级,Ⅱ优1050和甬优12号为3级,Ⅱ优1054、Ⅱ优D159和沪优940为5级,两优培九为7级。

2.2 杂交稻组合幼苗期的耐盐性表现

从各组合在3种盐浓度溶液处理下的平均枯死叶率(表3)来看,在4.8g/L盐溶液处理时组合间的枯死叶率差异均达极显著水平,但在8g/L盐溶液胁迫下叶片盐害进一步加重,且所有组合的枯死叶率均接近或超过50%,比较符合耐盐鉴定存活阈值的要求。在12g/L浓度下,组合间的枯死叶率差异虽达显著水平,但约80%的叶片死亡,植株无法存活。以8g/L盐浓度下的枯死叶率划分耐盐级别,其中Ⅱ优1040、

表2 不同盐浓度胁迫下杂交稻种子的发芽率和相对盐害率

%

组合名称	0 g/L NaCl		4 g/L NaCl		8 g/L NaCl		12 g/L NaCl	
	发芽率 GR	发芽率 GR	相对盐害率 RDR	发芽率 GR	相对盐害率 RDR	发芽率 GR	相对盐害率 RDR	
Ⅱ优 1040	96.7	98.3	-1.7ab	93.3	3.5	85.0	12.1AB	
沪优 940	86.7	76.7	11.5b	73.3	15.5	35.0**	59.6CD	
Ⅱ优 1050	98.3	98.3	0ab	93.3	5.1	75.0**	23.7ABC	
两优培九	73.3	65.0	11.3b	61.7	15.8	20.0**	72.7D	
Ⅱ优 D159	90.0	90.0	0.0ab	90.0	0.0	40.0**	55.6CD	
甬优 12号	88.3	88.3	0.0ab	80.0	9.4	66.7**	24.5BC	
Ⅱ优 1054	91.7	95.0	-3.6a	90.0	1.9	51.7**	43.6BCD	
桂源优 500	86.7	91.7	-5.8a	86.7	0.0	83.3*	3.9A	

注: *、** 分别表示各处理与对照间在 0.05、0.01 水平差异显著;不同大写字母表示各组间在 0.01 水平差异显著。下表同。

Ⅱ优 1050、沪优 940、两优培九和Ⅱ优 D159 为 5 级,其余 3 个组合(桂源优 500、甬优 12 号和Ⅱ优 1054)为 7 级。

表3 不同盐浓度胁迫下杂交稻组合的枯死叶率

组合名称	不同盐浓度胁迫下的枯死率(%)		
	4 g/L	8 g/L	12 g/L
Ⅱ优 1040	19.2D	48.5C	79.0ab
沪优 940	15.3E	49.4C	81.3ab
Ⅱ优 1050	13.6EF	48.7C	76.5b
两优培九	29.7BC	51.8BC	86.5a
Ⅱ优 D159	27.5C	59.9AB	78.1ab
甬优 12号	11.7F	61.5AB	79.5ab
Ⅱ优 1054	30.8AB	62.0A	79.1ab
桂源优 500	33.0A	61.1AB	79.3ab

注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

2.3 全生育期盐胁迫下杂交稻组合的耐盐性表现

2.3.1 盐胁迫对杂交稻组合各性状的影响 盐胁迫指数主

表4 全生育期盐胁迫条件下各农艺性状的盐胁迫指数

组合名称	胁迫指数							
	单株粒质量 GYP	单株穗数 PP	株高 PH	穗长 PL	每穗总粒数 GPP	每穗实粒数 FGP	结实率 SSR	千粒质量 TGW
Ⅱ优 1040	73.2AB	28.2B	27.8CD	22.7CD	45.1D	53.2C	14.4CD	12.9C
沪优 940	74.3ABC	30.0BC	26.2C	21.0BC	45.4D	59.6E	26.3F	13.9CD
Ⅱ优 1050	74.4BC	20.1A	29.4D	21.6BC	44.4CD	53.0C	15.0D	11.4B
两优培九	77.6D	40.0D	29.4D	24.5DE	52.2E	59.8E	15.6D	14.4D
Ⅱ优 D159	71.7A	30.5BC	29.5D	19.6B	43.0C	49.9B	12.9C	17.9E
甬优 12号	77.7D	40.5D	21.3A	26.3E	40.9B	51.7BC	18.4E	9.3A
Ⅱ优 1054	76.4CD	31.8C	27.2C	16.8A	38.3A	41.4A	5.2A	17.7E
桂源优 500	78.9D	39.4D	23.2B	22.7CD	51.4E	56.7D	10.0B	20.5F
平均值	75.5	32.6	26.7	21.9	45.1	53.2	14.7	14.8

2.3.2 盐胁迫下杂交稻组合各性状间的相关分析 从各农艺性状盐胁迫指数的相关分析结果(表5)来看,单株粒质量与单株穗数呈极显著正相关(0.91**),与株高呈显著负相关(-0.72*),表明盐胁迫对单株粒质量和单株穗数的影响效应一致,但对单株粒质量和株高的影响效应相反。相似地,单株穗数与穗长呈显著正相关(0.67*),与株高呈极显著负相关(-0.80**);每穗总粒数与每穗实粒数的相关系数为0.87**,达极显著水平;每穗实粒数与结实率呈显著正相关(0.69*)。

2.4 不同生育阶段杂交稻组合耐盐性相关分析

以芽期 12 g/L 相对盐害率、苗期 8 g/L 枯死叶率和全生

育期单株粒质量的盐胁迫指数分别为芽期、苗期和全生育期的耐盐评价指标,进行不同生育期耐盐性相关分析。结果表明,芽期和苗期、芽期与全生育期及苗期与全生育期的相关系数分别为-0.131、-0.197和0.405,均未及显著水平,表明不同生育阶段杂交水稻的耐盐性没有直接的相关性。

表4 全生育期盐胁迫条件下各农艺性状的盐胁迫指数

3 讨论与结论

3.1 水稻不同生育时期的耐盐性

水稻通常被认为是中度盐敏感作物^[15],尽管其对盐害的敏感性较高,但是水稻的耐盐性存在相当大的变化^[15-16]。水稻耐盐性是十分复杂的生理遗传性状,涉及植物生长发育过

表5 盐胁迫下各耐盐指标间的相关系数

性状	相关系数							
	单株粒质量 GYP(x_1)	单株穗数 PP (x_2)	株高 PL (x_3)	穗长 PL (x_4)	每穗总粒数 GPP (x_5)	每穗实粒数 FGP (x_6)	结实率 SSR (x_7)	千粒质量 TGW (x_8)
x_1	1.00							
x_2	0.91 **	1.00						
x_3	-0.72 *	-0.80 **	1.00					
x_4	0.44	0.67 *	-0.58	1.00				
x_5	0.39	0.30	-0.08	0.47	1.00			
x_6	0.22	0.25	-0.19	0.65	0.87 **	1.00		
x_7	-0.14	0.04	-0.24	0.58	0.24	0.69 *	1.00	
x_8	0.09	-0.10	0.18	-0.55	0.25	-0.12	-0.60	1.00

程中不同阶段在细胞和组织水平上的一系列生理生化过程^[17]。水稻在萌发期、分蘖期以及逐渐成熟时表现为相对耐盐,而在幼苗期和生殖生长期则相对敏感,同一品种在发芽期和幼苗期的耐盐性存在一定差异^[18]。水稻在苗期和生殖生长时期的耐盐性没有相关性,因此,综合这2个时期的耐盐性状对培育水稻耐盐品种是必要的^[19]。程广有等研究发现,水稻品种间耐盐性存在显著差异,水稻株高、分蘖数和单茎绿叶数均受到盐害的抑制,它们的抑制率可作为鉴定标准^[20]。盐胁迫下,水稻株高降低,单茎绿叶数和有效分蘖数减少^[21]。Lee等研究表明,水稻受盐碱胁迫后,叶片在分蘖期受害最严重,茎秆和花序的长度在孕穗期严重缩短,有效穗数、千粒质量和分蘖数等产量构成指标明显减少^[22]。而且,盐碱敏感的水稻品种淀粉合成酶活力受到抑制,幼穗分化严重受阻,结实率显著降低。张瑞珍等研究发现,盐碱胁迫严重影响幼穗正常分化和小穗形成,从而空秕率增加,主要是由于盐碱胁迫会显著缩短幼穗长度,减少小穗的第1枝梗数、小穗数,降低着粒密度,籽粒的长度、厚度、宽度,千粒质量及小穗质量,而且还会导致稻草和籽粒产量的下降以及稻米品质的降低^[23]。

本研究分别在杂交水稻的发芽期、幼苗期(3~4叶)和全生育期进行不同浓度的盐胁迫试验,结果表明,杂交水稻在不同生育阶段的耐盐性存在较大差异,发芽期的耐盐性明显强于幼苗期和全生育期;不同组合在不同生育阶段的表现也差异较大,杂交水稻发芽期、幼苗期和全生育期的耐盐性之间没有直接的相关性。由于各个生长时期耐盐性的差异,一些研究者在做耐盐性筛选时对水稻整个生育周期全部进行盐胁迫^[24]。对于某些品系,在各个时期进行独立的耐盐性筛选比较适宜。这样可以选育出每个特定时期呈现耐盐性的不同株系,而后聚合成具有多个耐盐表型的单个品种。因此,要培育全生育期耐盐水稻,很有必要针对不同时期分别进行耐盐筛选。

3.2 杂交水稻不同生育阶段耐盐性评价指标

水稻发芽期的耐盐性常采用发芽势、发芽率、发芽指数和相对盐害率等指标来评价,其中相对盐害率是最常用的指标^[7-8]。本试验在12 g/L盐浓度溶液处理时组合间的相对盐害率的差异达极显著水平,可以较好地划分各组合的耐盐级别,其中4个组合达到强耐盐级别,反映杂交水稻组合在发芽期具有较强的耐盐性,相对盐害率是杂交水稻发芽期耐盐性的有效评价指标。

水稻幼苗期是对盐胁迫最敏感的时期,苗期盐胁迫研究对弄清水稻整个生育期耐盐胁迫机理具有指导意义。迄今为

止,水稻耐盐性鉴定筛选工作主要集中在苗期,即利用适当浓度的NaCl营养液对2叶1心至3叶1心的水稻幼苗进行盐胁迫,以幼苗存活时间、叶片盐害级别或地上部钾、钠离子浓度等作为指标进行评价。研究表明,水稻的株高,叶片特征、鲜质量、干质量,根长,叶龄等形态指标能比较准确反映水稻苗期的耐盐能力,可以作为水稻耐盐性的鉴定评价指标^[9]。对大量水稻材料进行耐盐性鉴定时,先以盐害级别为指标进行初步地筛选,然后再以根系 Na^+/K^+ 的值或相对生物量指标进行验证^[25]。水稻苗期的耐盐性与生殖生长期的耐盐性没有明显的相关性^[26-28],苗期测定的生理指标与生殖生长期盐胁迫下的产量也没有必然的联系^[29-30]。因此,必须同时鉴定苗期和生殖生长期的耐盐性,才能全面评价水稻品种耐盐性,培育出全生育期耐盐性强的水稻新品种。

水稻全生育期盐胁迫试验主要包括水稻的幼苗期、分蘖期、孕穗期和抽穗期,包含水稻生长阶段2个主要盐敏感时期(幼苗期和生殖生长期),影响其耐盐性的因素非常多。因为耐盐品种最终必须高产,而且产量指标与常规育种相吻合。在全生育期盐胁迫条件下产量高的个体,其经历了苗期和生殖生长2个敏感时期的耐盐性考验,最终表现为高产,所以以盐胁迫条件下的单株产量为指标,对耐盐育种来说具有现实意义。但绝对产量高的水稻耐盐性不一定绝对强,还取决于其在正常条件下的表现,所以以相对指标即盐胁迫指数来评价品种耐盐性更具有客观性。在本试验中,耐盐性评价与从分离群体中选育耐盐品种是两回事,分离群体只能凭胁迫条件下的产量表现来筛选,胁迫条件下产量高,则认为是有希望的耐盐品种,但对稳定或高世代品种的耐盐评价,可以设立对照和胁迫2种处理,真正评价出耐盐性强的品种。

3.3 耐盐杂交水稻的育种策略

植物选育的基本依据是平均产量以及环境作用下产量的稳定性。Richards研究表明,由于盐渍土的异质性,选育品种时最好选择生产力而不是耐盐性作为衡量标准^[31]。产量与环境作用之间呈现显著的负相关,而在胁迫环境下植物的遗传变化远低于正常环境,因此用生产力作为选育指标能够提高品种的最终产量^[32]。研究表明,水稻耐盐株系在淡水灌溉条件下表现出一些对育种选择有益的性状,如多数耐盐株系苗期的秧苗活力和分蘖期的分蘖能力较强^[33],说明这些特性与盐胁迫条件下的耐盐性选择有关。此外,耐盐选择后代在常规栽培条件下出现株高、生育期、单株有效穗数、穗总粒数、穗实粒数、结实率、千粒质量等性状的明显分离,各性状的变

异方向因不同的选择群体而异^[34-36],从而为选育耐盐性与其他农艺性状的理想组合创造了有利条件。本试验材料是由耐盐恢复系测配的高产组合和生产推广的超级稻组合,但全生育期均表现不耐盐。因为近代育种一直强调高产解决温饱,产量达到一个平台后强调优质和抗病,对抗逆特别是耐盐育种缺乏投入和研究,导致现代育成的高产品种或组合均不耐盐。近年来,随着分子标记技术的发展,从种质资源中鉴定和分离出越来越多的耐盐主基因,并鉴定出其紧密连锁的分子标记,如 *KCl1*、*Saltol1* 等。鉴于大田耐盐鉴定受土壤盐份分布异质性高、气候等因素的影响,不光鉴定,而且耐盐性遗传复杂受多基因控制,因此,常规选育存在一定难度,分子标记辅助聚合不同耐盐基因是一个方向。鉴于耐盐基因/QTL 存在加性效应,所以充分利用目前鉴定的不同耐盐基因分别改良不育系和恢复系,不同耐盐基因聚合在杂种一代,可以进一步提高杂交稻的耐盐性。

参考文献:

- [1] 赵可夫,范海. 盐生植物及其对盐渍生境的适应生理[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [2] 殷延勃,马洪文. 宁夏耐盐水稻种质资源的筛选[J]. 宁夏农林科技,2007(4):1-2.
- [3] 宋冬明,贺梅,李春光. 水稻耐盐研究进展及展望[J]. 北方水稻,2013,43(1):74-77.
- [4] 祁栋灵,韩龙植,张三元. 水稻耐盐/碱性鉴定评价方法[J]. 植物遗传资源学报,2005,6(2):226-231.
- [5] 顾兴友,严小龙,郑少玲,等. 盐胁迫对水稻农艺性状遗传变异的影响[J]. 中国农业科学,1999,32(1):1-7.
- [6] 严小龙,郑少玲,连兆煌. 水稻耐盐机理的研究 I:不同基因型植株水平耐盐性初步比较[J]. 华南农业大学学报,1992,13(4):6-11.
- [7] 张国新,张晓东,张亚丽. 盐胁迫下水稻种子发芽特性及耐盐性评价[J]. 现代农业科技,2007(14):108,111.
- [8] 王奉斌,张燕红,袁杰,等. 新疆耐盐水稻种质资源的筛选[J]. 新疆农业科学,2009,46(3):501-505.
- [9] 郭望模,傅亚萍,孙宗修. 水稻芽期和苗期耐盐指标的选择研究[J]. 浙江农业科学,2004(1):30-33.
- [10] 方先文,汤陵华,王艳平. 耐盐水稻种质资源的筛选[J]. 植物遗传资源学报,2004,5(3):295-298.
- [11] 杨淑琴,李培富. 水稻不同种质资源幼苗耐盐性评价[J]. 安徽农业科学,2011,39(33):20364-20367.
- [12] 阮松林,薛庆中. 盐胁迫条件下杂交水稻种子发芽特性和幼苗耐盐生理基础[J]. 中国水稻科学,2002,16(3):281-284.
- [13] Yoshida S, Forno D A, Cock J H, et al. Laboratory manual for physiological studies of rice[M]. Manila: International Rice Research Institute, 1976.
- [14] Mass E V, Hoffman G J, Mass E V, et al. Crop salt tolerance - current assessment[J]. Journal of the Irrigation & Drainage Division, 1977, 103(2): 115-134.
- [15] Flowers T J, Yeo A R. Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa* L.) varieties[J]. New Phytologist, 1981, 88(2): 363-373.
- [16] Akbar M, Yabuno T, Nakao S. Breeding for saline resistant varieties of rice: I. Variability for salt tolerance among some rice varieties [J]. Japanese Journal Breeding, 1972, 22(5): 277-284.
- [17] Yeo A R. Physiological criteria in screening and breeding [M]//Soil mineral stresses: approaches to crop improvement. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 1994: 37-59.
- [18] 韩朝红,孙谷畴,林植芳. NaCl 对吸胀后水稻的种子发芽和幼苗生长的影响[J]. 植物生理学通讯, 1998, 34(5): 339-342.
- [19] Moradi F, Ismail A M, Gregorio G B, et al. Salinity tolerance of rice during reproductive development and association with tolerance at the seedling stage [J]. Indian Journal Plant Physiology, 2003, 8, 105-116.
- [20] 程广有,许文会,黄永秀. 植物耐盐碱性的研究(一)——水稻耐盐性与耐碱性相关分析[J]. 吉林林学院学报, 1996, 12(4): 214-217.
- [21] 符秀梅,朱红林,李小靖,等. 盐胁迫对水稻幼苗生长及生理生化影响[J]. 广东农业科学, 2010, 37(4): 19-21.
- [22] Lee C K, Yoon Y H, Shin J, et al. Growth and yield of rice as affected by saline water treatment at different growth stages [J]. Korean J Crop Sci, 2002, 47(6): 402-408.
- [23] 张瑞珍,邵玺文,童淑媛,等. 盐碱胁迫对水稻源库与产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(1): 116-118.
- [24] Epstein E, Norlyn J D, Rush D W, et al. Saline culture of crops: a genetic approach [J]. Science, 1980, 210, 399-404.
- [25] 王建飞,陈宏友,杨庆利,等. 盐胁迫浓度和胁迫时的温度对水稻耐盐性的影响[J]. 中国水稻科学, 2004, 18(5): 449-454.
- [26] Johnson D W, Smith S E, Dobrenz A K. Genetic and phenotypic relationships in response to NaCl at different developmental stages in alfalfa [J]. Theor Appl Genet, 1992, 83: 833-838.
- [27] 藏金萍,孙勇,王韵,等. 利用回交导入系剖析水稻苗期和分蘖期耐盐 QTLs 的遗传重叠[J]. 中国科学(C辑:生命科学), 2008, 38(9): 841-850.
- [28] Foolad M R, Chen F Q. RFLP mapping of QTLs conferring salt tolerance during the vegetative stage in tomato [J]. Theor Appl Genet, 1999, 99(1): 235-243.
- [29] Zaidem M L, Mendoza R D, Tumimbang E B. Genetic variability of salinity tolerance at different growth stages of rice [R]. Manila: International Rice Research Institute, 2004: 19-20.
- [30] Li Z K, Xu J L. Breeding for drought and salt tolerant rice (*Oryza sativa* L.): progress and perspectives [M]//Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops, 1970: 531-564.
- [31] Richards R A. Improving crop production on salt-affected soils: by breeding or management? [J]. Experimental Agriculture, 1995, 31(4): 444-453.
- [32] Rosielle A A, Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environments [J]. Crop Sci, 1981, 21(6): 943-946.
- [33] Adorada D L, Mendoza R D, Gregorio G B. Agronomic characterization of saline-tolerant elite breeding lines with multiple tolerance for abiotic stresses [R]. Manila: IRRI, 2004: 29.
- [34] 周政,李宏,孙勇,等. 高产、抗旱和耐盐选择对水稻产量相关性状的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1725-1735.
- [35] 潘晓颺,黄善军,陈凯,等. 大田全生育期盐灌溉胁迫筛选水稻耐盐恢复系[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(1): 49-54.
- [36] 章禄标,潘晓颺,张建,等. 全生育期耐盐恢复系在正常灌溉条件下性状表现及耐盐杂交稻的选育[J]. 作物学报, 2012, 38(10): 1782-1790.