



于艳敏,吴立成,武洪涛,等.盐碱胁迫对水稻生长特性及产量的影响[J].黑龙江农业科学,2024(3):1-5.

盐碱胁迫对水稻生长特性及产量的影响

于艳敏,吴立成,武洪涛,徐振华,刘海英,冷春旭,孙中义,闫平

(黑龙江省农业科学院 生物技术研究所/黑龙江省作物与家畜分子育种实验室/国家耐盐碱水稻技术创新中心东北中心/黑龙江省水稻分子育种工程技术研究中心,黑龙江 哈尔滨 150023)

摘要:为了有效利用并改良盐碱地及改善生态环境,以8份水稻种质资源为材料,设置轻度盐碱胁迫、中度盐碱胁迫、重度盐碱胁迫进行田间耐盐碱性分析,对植株存活率、株高、分蘖、叶绿素相对含量、每穗粒数、结实率以及千粒重等指标进行了比较,分析不同程度盐碱胁迫对水稻生长发育特性及产量的影响。结果表明,水稻品种间耐盐碱特性存在差异,水稻存活率表现为轻度盐碱胁迫>中度盐碱胁迫>重度盐碱胁迫,水稻品种从返青期至成熟期植株存活率呈下降趋势。盐碱胁迫导致水稻株高变矮、穗长变短,随着盐碱胁迫程度增加株高和穗长受到的抑制作用变强,同一品种株高和穗长数值表现为轻度盐碱胁迫>中度盐碱胁迫>重度盐碱胁迫,且3种盐碱胁迫处理间差异显著($P<0.05$)。齐穗期 SPAD 值范围为 42.5~55.6,各处理与对照间差异不显著。重度盐碱胁迫下水稻产量抑制率高达 81.0%~93.7%,中度盐碱胁迫下产量抑制率为 10.4%~81.3%,轻度盐碱胁迫下为 5.6%~77.9%,产量及产量构成因素相对抑制率主要表现为重度盐碱胁迫>中度盐碱胁迫>轻度盐碱胁迫,盐碱化程度越高对水稻产量及产量构成因素造成的损失也越大。相关分析表明,产量相对抑制率与单位面积穗数相对抑制率极显著相关,与实粒数相对抑制率和结实率相对抑制率正相关。说明,盐碱胁迫抑制水稻生长发育,导致产量降低,但合理开发和利用中度、轻度盐碱化土地可以扩大水稻种植面积。

关键词:盐碱胁迫;水稻;生长特性;产量相对抑制率

黑龙江省盐碱土面积 134 万 hm^2 ,主要成分是碳酸钠和碳酸氢钠为主的苏打碱土,盐碱含量较高^[1],分布在松嫩平原的安达、大庆、肇源、肇东、杜蒙、富裕等十七个市(县)^[2-3]。盐碱胁迫的危害主要表现在高浓度盐和碱的环境下产生的离子毒害、高 pH 以及渗透胁迫^[4],不仅是危害植物生长的障碍因子,而且盐碱土壤营养元素匮乏、土壤通透性差等问题也是影响作物产量的因素,例如磷元素、铁元素的缺失^[5-6]。水稻根系能够分泌有机酸消耗土壤中的盐碱成分^[7],在盐碱地种植水稻能够减轻土壤的盐碱化程度^[8],促进盐碱地开发与利用,因此种植水稻是改良盐碱地最经济有效的办法^[9-10]。对现有的优良水稻种质资源进行耐盐性筛选,鉴定出耐盐碱性较强的优良品种,作为盐碱地稻作生产的直接种植材料,或以此为亲本进行耐盐碱品种改良,是提高盐碱地利用率的有效手段,对于改良盐碱地土壤、增加粮食产量以及改善生态环境具有重要的经济意义和生态意义,目前黑龙江省耐盐碱水稻品种和种质资源还

比较匮乏。本研究以高世代稳定的水稻种质资源为材料,设置轻度盐碱、中度盐碱、重度盐碱 3 种胁迫处理,对植株存活率、株高、分蘖、叶绿素相对含量、产量以及产量构成因素等指标进行比较分析,探讨不同程度盐碱胁迫对水稻生长发育特性及产量的影响,以期耐盐碱水稻育种研究提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为黑龙江省农业科学院生物技术研究所培育的高世代稳定(F_6 以上)水稻种质资源 N5、N7、鉴 28、鉴 32、N16、N29、J65 和 N57,均适宜种植在黑龙江省第一积温带。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2023 年在黑龙江省五常市民乐乡国家耐盐碱水稻技术创新中心东北中心五常试验站($45^{\circ}03'10.97''\text{N}$, $127^{\circ}03'26.47''\text{E}$)进行,试验设置 T1(重度盐碱)、T2(中度盐碱)、T3(轻度盐碱)共 3 个处理,土壤取自肇源县天然

收稿日期:2023-12-23

基金项目:黑龙江省农业科学院院级课题项目(2020FJZX053,CX23YQ15);黑龙江省农业科学院院级课题应用研发项目(2021YYF053);

黑龙江省重点研发计划(创新基地)(J020238J29-1);国家现代农业产业技术体系五常综合试验站(CARS-01-59)。

第一作者:于艳敏(1981—),女,博士,副研究员,从事水稻育种与栽培研究。E-mail:yym0409@163.com。

通信作者:闫平(1967—),男,硕士,研究员,从事水稻育种研究。E-mail:yanping8011@163.com。

盐碱地,以黑土为对照处理(CK),土壤具体理化指标见表 1,每个盐碱池大小为 5 m×5 m,无渗漏,采用小区对比法,6 月 22 日移栽,行株距 26.7 cm×10.0 cm,单株插植,每个品种连续种植 20 穴,3 次重复。

表 1 不同处理盐碱土土壤理化指标					
处理		pH	含盐量/ %	Na ⁺ 含量/ (mg·kg ⁻¹)	有机质含量/ %
T1	重度盐碱	10.0	0.6	920.2	1.73
T2	中度盐碱	9.5	0.4	674.3	2.03
T3	轻度盐碱	8.5	0.2	494.0	3.63
CK	黑土	7.1	0.1	73.3	4.52

1.2.2 测定项目及方法 记录生育期,分别于返青期、分蘖期、拔节孕穗期、抽穗期、成熟期,调查分蘖茎数、存活苗数等指标,采用 SPAD-502 叶绿素测定仪于齐穗期测量叶绿素相对含量,成熟期测量株高,9 月 22 日取样室内考种,统计实粒数、总粒数、千粒重等产量构成因素。

产量及产量构成因素受盐碱胁迫的抑制程度用相对抑制率表示(Relative Inhibition Rate, RI)。

表 2 不同盐碱胁迫对水稻存活率的影响										单位: %
序号	品种	T1			T2			T3		
		返青期	分蘖期	成熟期	返青期	分蘖期	成熟期	返青期	分蘖期	成熟期
1	N5	31.6 e	18.3 d	10.0 e	80.5 c	73.6 d	63.3 e	100.0 a	100.0 a	100.0 a
2	N7	46.8 c	43.3 c	11.7 d	92.4 b	90.0 b	88.4 b	100.0 a	100.0 a	100.0 a
3	鉴 28	93.3 a	75.0 a	10.0 e	98.3 a	90.6 b	90.6 b	100.0 a	100.0 a	100.0 a
4	鉴 32	25.0 f	19.8 d	11.6 d	91.2 b	89.7 b	81.3 c	100.0 a	100.0 a	100.0 a
5	N16	78.3 b	60.0 b	20.0 c	100.0 a	96.7 a	96.7 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a
6	N29	21.2 f	10.0 e	10.0 e	100.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a
7	J65	40.3 d	38.5 c	30.0 b	100.0 a	96.7 a	96.7 a	100.0 a	92.6 b	88.3 b
8	N57	81.0 b	80.0 a	72.2 a	80.0 c	80.0 c	78.3 d	100.0 a	100.0 a	100.0 a

注:不同小写字母表示不同品种间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

2.2 盐碱胁迫对水稻株高和穗长的影响

由表 3 可知,不同程度盐碱胁迫下水稻的株高和穗长不同,受盐碱胁迫影响水稻出现株高变矮、穗长变短的现象,随着盐碱胁迫程度增加株高和穗长受到的抑制作用变强,水稻品种间存在耐盐碱特性差异,同一品种株高和穗长数值表现为

$RI\%=(\text{对照数值}-\text{处理数值})/\text{对照数值}\times 100$
1.2.3 数据分析 采用 Excel 2010 和 DPS 18.10 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫对水稻存活率的影响

由表 2 可知,在返青期、分蘖期和成熟期,3 个盐碱胁迫程度下的水稻存活率均表现为轻度盐碱胁迫(T3)>中度盐碱胁迫(T2)>重度盐碱胁迫(T1),相同胁迫程度下,水稻品种从返青期至成熟期植株存活率处于持续下降过程,直到成熟期才能反映出植株存活率的真实情况,尤其在重度盐碱胁迫(T1)条件下,返青期至分蘖期和分蘖期至成熟期,水稻存活率均急剧降低,至成熟期 J65 的存活率为 30.0%,N16 的存活率为 20.0%,其余 5 个水稻品种的存活率均低于 12%;中度盐碱胁迫(T2)下,至成熟期各品种的存活率介于 100.0%~63.3%;轻度盐碱胁迫(T3)下,对水稻的存活率影响较小,只有 J65 的存活率发生变化,其余品种的存活率均为 100.0%。

表 3 不同盐碱胁迫对水稻株高和穗长的影响									
序号	品种	株高/cm				穗长/cm			
		T1	T2	T3	CK	T1	T2	T3	CK
1	N5	90.0 c	105.1 b	109.0 a	109.2 a	16.8 c	17.8 b	19.2 a	19.9 a
2	N7	61.7 c	95.3 b	101.2 a	102.3 a	16.3 c	17.5 b	21.4 a	22.0 a
3	鉴 28	70.0 b	98.9 a	100.3 a	101.2 a	16.7 c	17.5 b	17.7 b	18.3 a
4	鉴 32	75.0 c	93.1 b	102.5 a	102.6 a	16.9 c	20.5 b	21.2 a	21.8 a
5	N16	77.1 c	102.1 b	108.9 a	109.4 a	18.5 b	20.3 b	22.7 a	23.1 a
6	N29	89.0 c	97.6 b	105.1 a	106.3 a	19.2 c	20.7 b	21.0 ab	22.6 a
7	J65	79.7 c	93.1 b	99.1 a	100.2 a	14.8 c	15.1 bc	16.5 a	16.9 a
8	N57	64.2 c	82.3 b	88.2 a	90.4 a	15.1 b	16.3 a	16.7 a	16.9 a

注:不同小写字母表示同一品种在不同盐碱胁迫处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。

2.3 盐碱胁迫对水稻叶绿素含量的影响

由表 4 可知,8 份水稻种质资源齐穗期 SPAD 值范围在 42.5~55.5,轻度盐碱胁迫(T3)下的 SPAD 值与对照差异不显著,N5、鉴 28、鉴 32 和 N57 中度盐碱胁迫(T2)下 SPAD 值与轻度盐碱胁迫(T3)下差异不显著,其中 N5 和 N57 的 3 个处理与对照间差异不显著,可见,盐碱胁迫对水稻叶绿素含量影响较小。

表 4 不同盐碱胁迫对齐穗期水稻 SPAD 值的影响

序号	品种	T1	T2	T3	CK
1	N5	53.6 a	54.3 a	52.3 a	52.1 a
2	N7	49.3 b	52.6 a	50.5 b	49.0 bc
3	鉴 28	42.5 c	49.1 b	50.1 b	52.3 a
4	鉴 32	51.9 a	49.6 b	49.8 b	50.4 ab
5	N16	50.0 b	50.8 b	52.0 a	52.8 a
6	N29	47.2 c	49.4 b	49.7 a	49.7 a
7	J65	48.7 b	46.4 c	49.3 a	49.1 a
8	N57	55.5 a	55.6 a	54.5 a	55.2 a

2.4 盐碱胁迫下水稻产量及产量构成因素相对抑制率

由表 5 可知,产量及产量构成因素相对抑制率主要表现为重度盐碱胁迫(T1)>中度盐碱胁迫(T2)>轻度盐碱胁迫(T3),重度盐碱胁迫(T1)下水稻产量抑制率高达 81.0%~93.7%,中度盐碱胁迫(T2)下产量抑制率为 10.4%~81.3%,轻度盐碱胁迫(T3)下为 5.6%~77.9%,可见盐碱化程度越高对水稻产量及产量构成因素造成的影响也越大,随着盐碱胁迫程度升高,水稻单位面积穗数、总粒数、结实率以及千粒重等产量构成因子受到的抑制作用越来越强,成为导致产量降低的原因。

相关分析表明,产量相对抑制率与单位面积穗数相对抑制率极显著正相关,与实粒数相对抑制率和结实率相对抑制率显著正相关(表 6)。

表 5 盐碱胁迫下水稻产量及产量构成因素相对抑制率

								单位: %
序号	品种	盐碱类型	每平方米穗数	实粒数	总粒数	结实率	千粒重	产量
1	N5	T1 重度盐碱	63.9	44.0	28.6	21.5	5.9	81.0
		T2 中度盐碱	78.0	31.5	8.7	84.9	26.0	77.2
		T3 轻度盐碱	62.0	7.6	12.4	12.7	4.8	66.6
2	N7	T1 重度盐碱	85.2	40.6	14.3	50.8	28.5	93.7
		T2 中度盐碱	72.1	8.3	6.7	0.5	4.2	68.3
		T3 轻度盐碱	64.5	3.4	89.5	10.7	2.5	53.9
3	鉴 28	T1 重度盐碱	48.0	72.1	6.0	72.6	38.8	91.1
		T2 中度盐碱	38.2	13.4	8.9	4.8	24.9	59.8
		T3 轻度盐碱	8.6	13.1	11.2	2.1	9.1	5.6
4	鉴 32	T1 重度盐碱	25.7	84.5	70.1	48.4	28.3	91.8
		T2 中度盐碱	31.9	3.3	9.1	3.7	22.2	48.8
		T3 轻度盐碱	19.7	5.5	2.9	2.3	18.5	25.1
5	N16	T1 重度盐碱	60.1	63.4	55.1	55.1	48.4	91.0
		T2 中度盐碱	22.2	19.6	10.6	0.9	19.2	10.4
		T3 轻度盐碱	5.6	7.1	6.4	3.9	23.1	11.6
6	N29	T1 重度盐碱	48.2	67.5	18.4	60.2	29.7	88.2
		T2 中度盐碱	68.6	12.9	8.6	9.4	31.6	81.3
		T3 轻度盐碱	51.6	45.2	36.0	45.0	16.7	77.9
7	J65	T1 重度盐碱	34.1	74.6	35.9	60.3	1.4	83.5
		T2 中度盐碱	64.9	39.3	15.0	28.7	5.5	79.8
		T3 轻度盐碱	32.7	36.5	2.3	8.2	9.7	50.9
8	N57	T1 重度盐碱	77.0	53.2	41.7	19.7	33.8	92.9
		T2 中度盐碱	54.0	6.0	4.3	0.6	32.6	70.8
		T3 轻度盐碱	37.1	14.9	14.2	2.1	24.5	59.5

表 6 水稻产量相对抑制率与产量构成因素

相对抑制率间的相关性

产量构成因素	穗数	实粒数	总粒数	结实率	千粒重
相关系数	0.7281**	0.6512*	0.3207	0.6463*	0.3203

注：* 和 ** 分别表示在 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 水平存在显著和极显著相关性。

3 讨论

水稻耐盐碱特性是多种生理性状的综合表现,是由多基因控制的数量性状^[11],存在着明显的基因型差异^[12-13],不同品种间耐盐性存在差异,不同生育阶段对盐碱胁迫的耐受程度也不同^[14-15],本研究发现水稻从返青期至抽穗期,植株的存活率一直处于下降的动态变化,直至成熟期才稳定,因此成熟期前对水稻品种进行存活率评价和耐盐碱性分析不足以反映水稻的真实耐盐碱特性,水稻耐盐碱性状在不同生育阶段存在差异,水稻苗期耐盐碱性与生殖生长期的耐盐碱性相关性较低^[16],只有进行全生育期耐盐性胁迫才能可靠地反映出盐碱胁迫对水稻存活率的实际影响。

本研究中各参试水稻材料的株高和穗长在盐碱环境下生长受到抑制,均出现了株高变矮、穗长变短的现象,并且随着盐碱胁迫程度增加株高和穗长受到的抑制作用变强,其原因可能是由于盐碱程度越高的土壤具有更强的渗透胁迫、离子胁迫危害,以及更严重的酸碱胁迫,与轻度盐碱胁迫相比,重度盐碱胁迫对植物造成的损伤也更严重^[17-18]。本研究中产量随着盐碱胁迫程度的增加而降低,盐碱胁迫下水稻的每株穗数、总粒数、结实率以及千粒重等产量构成因子均降低。Ahmad 等^[19]认为,盐碱胁迫严重影响水稻幼穗的分化,减少颖花形成的数量,总粒数和结实率减少,籽粒密度以及千粒重指标均有所降低,进而影响稻米的产量,与本研究的结果一致。

水稻是一种中等盐碱敏感作物,适合改良盐碱地,提高土地利用效率^[20-21],盐碱地种植水稻不但可以改良土壤结构^[22],而且水稻根系具有分泌有机酸和吸收环境中盐分的作用,可以改善土壤板结情况^[23],提高土壤蓄水能力,避免发生次生盐碱化,与其他作物相比具有无可比拟的优越性^[24-25],研究盐碱胁迫对水稻的影响机制,对开发和利用盐碱地具有重要的意义。

4 结论

水稻品种间存在耐盐碱特性差异,不同盐碱胁迫程度下的水稻存活率表现为轻度盐碱胁迫>中度盐碱胁迫>重度盐碱胁迫,盐碱胁迫导致水稻的株高和穗长变短,受到的抑制作用随着胁迫程度的升高而增加,水稻叶绿素相对含量受盐碱胁迫的影响较小,产量及产量构成因素相对抑制率表现为重度盐碱胁迫>中度盐碱胁迫>轻度盐碱胁迫,盐碱化程度越高对水稻产量及产量构成因素造成的影响也越大,相关分析表明,产量相对抑制率与单位面积穗数相对抑制率极显著相关,与实粒数相对抑制率和结实率相对抑制率正相关。盐碱胁迫抑制水稻生长发育,导致产量降低,中、轻度盐碱胁迫下可以获得一定产量,合理开发和利用中、轻度盐碱化土地对于实现水稻增产具有现实意义。

参考文献：

[1] 刘安晋,姜宇,商全玉,等. 黑龙江省水稻盐碱地改良技术的研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2022(8): 83-86, 90.

[2] 曹良子,孙世臣,刘凯,等. 黑龙江省耐盐碱水稻种质资源鉴定及筛选[J]. 黑龙江农业科学, 2022(8): 10-13.

[3] 潘再莲. 黑龙江省水稻盐碱地改良综述[J]. 中国农业信息, 2014(2): 38-40.

[4] 冯云格,柏超,王士超. “三北”地区盐碱地治理技术研究进展[J]. 现代农业科技, 2020(10): 154-158.

[5] 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.

[6] 张蓉蓉. 土壤盐碱化的危害及改良方法[J]. 现代农业科技, 2019(21): 178-179.

[7] 祝一文,赵方贵,成云峰,等. ‘海稻 86’耐盐碱胁迫生理机制的初步研究[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2018, 35(1): 32-39.

[8] IBRAHIM E A. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds[J]. Journal of Plant Physiology, 2016, 192: 38-46.

[9] 李逸,张巩固,赵海成,等. 寒地水稻分蘖期耐盐碱性筛选与评价[J]. 南方农业学报, 2021, 52(1): 28-36.

[10] 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.

[11] 邹德堂,马婧,王敬国,等. 粳稻幼苗前期耐碱性的 QTL 检测[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(1): 12-18.

[12] 段敏,谢留杰,朱亚军,等. 盐胁迫下水稻幼苗存活率的 QTL 定位[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(9): 25-35.

[13] 张婷婷,杨美英,王春红,等. 盐碱胁迫下不同水稻品种渗透调节物质及相关基因的变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(4): 39-47.

[14] 黄洁,白志刚,钟楚,等. 水稻耐盐生理及分子调节机制[J]. 核农学报, 2020, 34(6): 1359-1367.

[15] LI Q, YANG A, ZHANG W H. Comparative studies on tolerance of rice genotypes differing in their tolerance to

- moderate salt stress[J]. BMC Plant Biology, 2017, 17(1): 141.
- [16] 刘佳音,邵晓宇,邹丹丹,等. 水稻耐盐碱鉴定方法及评价指标研究进展[J]. 杂交水稻, 2019, 34(6): 1-6.
- [17] 冷春旭,郑福余,赵北平,等. 水稻耐碱性研究进展[J]. 生物技术通报, 2020, 36(11): 103-111.
- [18] LÜ B S, LI X W, MA H Y, et al. Differences in growth and physiology of rice in response to different saline-alkaline stress factors[J]. Agronomy Journal, 2013, 105(6): 1889.
- [19] AHMAD KHAN M, ABDULLAH Z. Salinity-sodicity induced changes in reproductive physiology of rice (*Oryza sativa*) under dense soil conditions[J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 49(2): 145-157.
- [20] 王才林,张亚东,赵凌,等. 耐盐碱水稻研究现状、问题与建议[J]. 中国稻米, 2019, 25(1): 1-6.
- [21] MORENO-ALVARADO M, GARCÍA-MORALES S, TREJO-TÉLLEZ L I, et al. Aluminum enhances growth and sugar concentration, alters macronutrient status and regulates the expression of NAC transcription factors in rice[J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8: 73.
- [22] 杨福,梁正伟,王志春. 水稻耐盐碱鉴定标准评价及建议与展望[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(4): 625-628, 633.
- [23] WANG H, TAKANO T, LIU S K. Screening and evaluation of saline-alkaline tolerant germplasm of rice (*Oryza sativa* L.) in soda saline-alkali soil[J]. Agronomy, 2018, 8(10): 205.
- [24] 王英,张国民,李景鹏,等. 寒地粳稻耐碱研究进展及开发前景[J]. 作物杂志, 2016(6): 1-8.
- [25] 杨玉坤,耿计彪,于起庆,等. 盐碱地土壤利用与改良研究进展[J]. 农业与技术, 2019, 39(24): 108-111.

Effects of Saline-Alkali Stress on Growth Characteristics and Yield of Rice

YU Yanmin, WU Licheng, WU Hongtao, XU Zhenhua, LIU Haiying, LENG Chunxu, SUN Zhongyi, YAN Ping

(Biotechnology Institute Heilongjiang Academy of Agricultural Science / Crop and Livestock Molecular Breeding Laboratory of Heilongjiang / Northeast Center of National Salt-Alkali Rice Technology Innovation / Rice Molecular Breeding Engineering and Technology Research Center of Heilongjiang Province, Harbin 150023, China)

Abstract: In order to effectively utilize and improve saline-alkaline land, improve the ecological environment, this study used eight rice germplasm resources as materials, and set up mild, moderate and severe saline-alkaline stress for field saline-alkaline tolerance analysis. Comparative analyses of the indicators of plant survival rate, plant height, tillers, relative chlorophyll content, number of grains per spike, fruiting rate and thousand-grain weight were also conducted. The results showed that there were differences in salinity tolerance among rice varieties, and the survival rate of rice showed that mild saline stress > moderate saline stress > heavy saline stress, and the survival rate of rice varieties demonstrated a declining trend from greening to maturity. Rice that was subjected to saline stress seemed to have a shorter plant height and a shorter spike length, and with the increase in the degree of saline stress the inhibition of plant height and spike length became stronger, and the same varieties of plant height and spike length showed a significant difference among three kinds of saline stress treatments. The values of light saline stress > moderate saline stress > heavy saline stress, and the difference between the three saline stress treatments was significant ($P < 0.05$). SPAD values at spike flushing period ranged from 42.5 to 55.6, and the difference between the treatments and the control was not significant; yield inhibition rate of rice under heavy saline stress was as high as 81.0%–93.7%, moderate saline stress was 10.4%–81.3%, and mild saline stress was 5.6%–77.9%. The relative inhibition rate of yield and yield components were mainly shown as severe saline stress > moderate saline stress > mild saline stress, and the higher the degree of salinization, the greater the loss of yield and yield components of rice, and the correlation analysis showed that the relative inhibition rate of yield and the relative inhibition rate of the number of spikes per unit area were highly significant. Correlation analysis showed that the relative inhibition rate of yield was highly significantly correlated with the relative inhibition rate of the number of spikes per unit area, and positively correlated with the relative inhibition rate of the number of grains and the relative inhibition rate of the fruiting rate. It can be explained that salt alkali stress inhibits the growth and development of rice, leading to a decrease in yield. However, reasonable development and utilization of moderate to mild saline alkali soil can expand the planting area of rice.

Keywords: saline-alkali stress; rice; growth characteristics; yield relative inhibition rate