



不同杂交籼稻品种在盐碱胁迫下钠钾离子变化及产量的比较

魏 征¹, 邹 燕¹, 陈澎军², 韩继军², 缪源卿², 易镇邪¹, 屠乃美¹

(1. 湖南农业大学 农学院, 长沙 410128; 2. 地球化学勘查与海洋地质调查研究院, 南京 210007)

摘 要 针对江苏沿海滩涂盐碱地, 探究不同籼型杂交稻品种在盐碱地中钠钾离子的积累与产量的关系, 并筛选出比较适合江苏盐碱土种植的品种。选取 24 个杂交籼稻品种, 动态测定植株中钠钾离子吸收的变化和干物质质量变化, 以及土壤中钠钾离子变化和可溶性盐的变化。结果表明, 水稻种植显著降低了土壤中钠钾离子和可溶性总盐含量, 其中钠钾离子含量分别降低 7.67% 和 25.08%, 可溶性总盐含量降低 33.52%; 并通过植株钠钾离子积累量和产量筛选出 3 个耐盐杂交籼稻品种(E10、E11 和 E12), 其中钾离子积累量和产量最高的品种为 E10(323.60 kg/hm² 和 10.78 t/hm²), 钠离子积累量最高的品种为 E11(11.71 kg/hm²)。

关键词 盐碱胁迫; 钠离子; 钾离子; 杂交籼稻; 产量

中图分类号 S156.4⁺2

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2022)03-0287-12

土壤盐碱化是一种严重的土壤退化现象, 已成为世界性的环境和土壤资源问题之一^[1-2]。全世界盐碱地面积约为 9×10^8 hm², 中国是受盐碱化影响最为严重的国家之一, 盐碱化土壤面积约占世界的 10%^[3-5]。因此对盐碱地的治理和开发, 对国家发展非常有意义, 其中生物治理方式成本低, 且效果最为明显。

水稻种植不仅可以淋溶土壤的可溶性盐碱成分、恢复湿地资源, 还具备生态涵养功能, 达到以种促改, 改良盐碱地的目的^[6]。水稻是世界范围内最重要的粮食作物之一, 中国种植面积位居世界第二。盐碱土的高 pH 直接作用于植物的根系, 损伤其组织结构, 从而导致根系细胞失去正常的生理功能, 同时造成植物体内营养元素的大量流失, 如磷、铁等^[7-8]。盐碱地土壤中大量的 Na⁺ 会破坏水稻细胞膜结构, 使细胞内离子渗出, 使溶液导电率升高, 引起离子毒害, 离子毒害对作物的伤害虽然缓慢, 但持续时间较长情况下会导致植株衰老的组织或器官加速衰落或植株主干的枯萎死亡^[9-10]。同时盐胁迫还会影响水稻的分蘖数、穗数以及幼穗分化和小穗的形成, 会显著降低穗粒数及穗质量, 最终导致产量下降^[11-14]。但也有研究表明, 不同的水稻品种在产量、耐盐性、返青

快慢、抗病能力等方面均有差异^[15]。

由于盐碱地主要分布于北方的原因, 我国对粳稻品种的耐盐性研究较多^[16-18]。并已筛选出许多耐盐性较好的粳稻品种^[19-22], 而对籼稻品种的筛选研究较少。本研究比较不同杂交籼稻品种的产量和钠钾离子积累量, 以此筛选出大田耐盐性较好的籼稻品种, 为盐碱地水稻种植提供更多籼稻品种选择。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试杂交水稻组合 24 份均为各课题组培育的优质品种(表 1), 其中, E1~E8 由湖南农业大学唐文帮教授课题组提供, E9 和 E10 由湖南省杂交水稻研究中心提供, 其余 14 个杂交组合由湖南农业大学陈立云教授课题组提供。

1.2 试验设计

试验于 2020 年 5 至 10 月在江苏省盐城市射阳县南灶村盐碱地改良示范基地(120°38'53"E, 33°65'21"N)进行, 试验地为沙壤性土壤, 土壤基础理化性状: 有机质 7.55 g/kg, 全氮 0.29 g/kg, 全磷 1.53 g/kg, 全钾 12.39 g/kg, 碱解氮 73.38 mg/kg, 有效磷 34.84 mg/kg, 速效钾 303.17

收稿日期: 2021-05-10 修回日期: 2021-07-01

基金项目: 湖南省科技重大专项(2018NK1010)。

第一作者: 魏 征, 男, 硕士, 从事盐碱水稻高效栽培技术研究。E-mail: 1308279153@qq.com

通信作者: 屠乃美, 男, 教授, 主要从事水稻生理生态研究。E-mail: tnm505@163.com

易镇邪, 男, 教授, 主要从事作物高产生理与资源高效利用研究。E-mail: yizhenxie@126.com

表 1 供试品种的编号及名称

Table 1 Coding and name of tested materials

品种(系) Variety(line)	编号 No.	品种(系) Variety(line)	编号 No.
1146S/香粤农 1146S/Xiangyuenong	E1	椰香 A/海品 21 YexiangA/Haipin 21	E13
1146S/R2803	E2	C815S/重 08 C815S/Zhong 08	E14
1146S/R391	E3	甜 A/海品 12 TianA/Haipin 12	E15
1146S/R889	E4	甜 A/海品 21 TianA/Haipin 21	E16
1146S/YW01	E5	神农 A/海品 12 ShennongA/Haipin 12	E17
1146S/R313	E6	抗旱 5A/海品 21 Kanghan 5A/Haipin 21	E18
1146S/R751	E7	神农 A/海品 21 ShennongA/Haipin 21	E19
1146S/R161	E8	椰香 A/海品 12 YexiangA/Haipin 12	E20
湘两优 900 Xiangliangyou 900	E9	C815S/9 海 28 C815S/9 Hai 28	E21
科 20A/R2259 Ke 20A/R2259	E10	416S/9 海 55 416S/9 Hai 55	E22
416S/9 海 28 416S/9 Hai 28	E11	C815S/9 海 69 C815S/9 Hai 69	E23
C815S/9 海 30 C815S/9 Hai 30	E12	C815S/9 海 55 C815S/9 Hai 55	E24

mg/kg,全盐为 3.52 g/kg,pH8.5。每个品种设置 3 次重复,小区长宽为 4 m×3 m,小区间设置 0.5 m 保护行,人工插秧移栽(移栽时间见表 2),株行距为 30 cm×12 cm。各小区施肥情况一致,苗期(移栽后两周)施用磷酸一铵(263 kg/hm²)和尿素(188 kg/hm²),分蘖肥为尿素(225 kg/hm²),穗肥为尿素(188 kg/hm²),其他管理方式按照当地习惯进行。

1.3 测定项目与方法

- (1)取田间灌溉水样测定离子含量(钠钾离子、盐分含量)。
- (2)每月定时取土样测定离子含量(速效钾钠离子、盐分含量)。
- (3)干物质积累:每个小区取 3 穴,将样品按

茎鞘、叶分开,于 105 ℃烘箱中杀青 30 min,在 80 ℃下烘干至恒重,冷却至室温后用电子天平称取干质量(取样时间见表 2)。

(4)产量测定:成熟期每小区按 5 点取样法调查 100 穴水稻的有效穗数,计算单穴平均有效穗数,然后每小区按平均有效穗数取样 5 穴,并测定每穗总粒数、每穗实粒数、结实率和千粒质量,计算理论产量;处理分收分晒测实际产量。

(5)植株钠钾离子测定:烘干的植株样通过消煮法消解后用 FP640 火焰光度计测定。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft excel2016 进行数据整理和绘图,SPSS 24 统计软件进行方差分析分析。

表 2 移栽和取样时间

Table 2 Transplanting and sampling date

品种编号 Variety coding	播种期 Sowing date	移栽期 Transplanting date	第 1 次取样 First sampling	第 2 次取样 Second sampling	第 3 次取样 Third sampling	第 4 次取样 Fourth sampling
E1-E10	05-29	06-28	07-28	08-27	09-26	10-26
E11、E12	05-19	06-27	07-27	08-26	09-25	10-25
E13-E24	05-19	06-27	07-27	08-26	09-25	

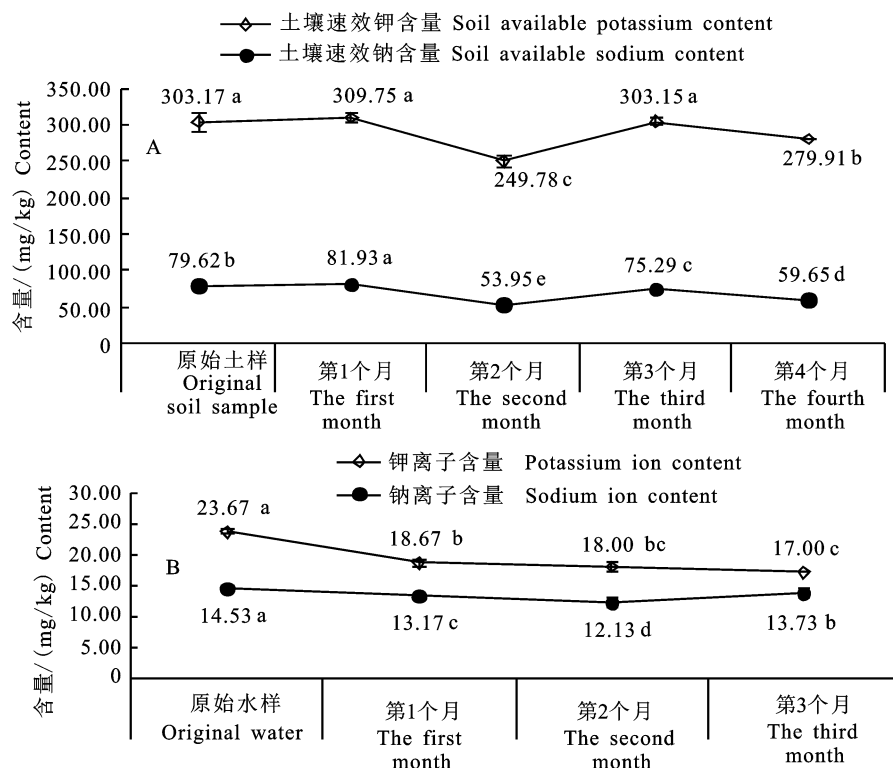
2 结果与分析

2.1 土样和水样中钠钾离子及可溶性总盐变化

从图 1-A 可以看出土壤中钠钾离子变化趋势一致,均是先增加后减少再增加再减少的波动变化,但钠离子变化更显著,而钾离子先不显著增加然后显著减少又显著增加再显著降低。水稻成熟时,土壤中的钠和钾离子含量与原始土样相比,分别显著降低了 7.67%和 25.08%。从图 1-B 可以看出灌溉水中钠钾离子变化趋势稍有不同,钾

离子含量一直显著降低,钠离子前 2 个月都在显著降低,最后 1 个月显著升高,但最后 1 个月的钠钾离子含量与原始水样相比分别降低 5.51%和 28.18%。

从图 2 可以看出土壤的可溶性总盐的变化趋势和土壤中钠钾离子变化趋势一致,最后 1 个月与原始土壤相比显著降低 33.52%。而水分的可溶性盐含量变化与水样钠离子变化趋势一致,最后 1 个月与原始水样相比降低不显著。



不同小写字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$), 下同

Different lowercase letters mean significant different ($P < 0.05$), the same below

图 1 土壤(A)和灌溉水(B)中钠钾离子含量变化

Fig. 1 Changes of content of sodium and potassium in soil (A) and irrigation water (B)

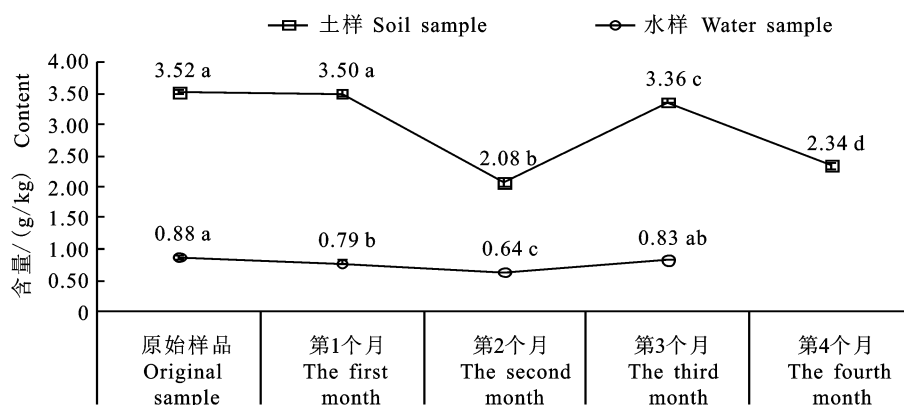


图 2 土壤和灌溉水中可溶性总盐含量变化

Fig. 2 Changes of total soluble salt content in soil and irrigation water

2.2 不同水稻品种在盐碱胁迫下茎鞘和叶干物质质量的变化

根据 24 个品种的生育期, 将其分成早熟品种和迟熟品种 2 组, 其每月对应的生育时期见表 3, 早熟组品种比迟熟组品种早 1 个月成熟, 因此早熟组品种采样 3 次, 迟熟组采样 4 次。从图 3 和图 4 可以看出早熟和迟熟组品种的茎叶干质量变化趋势都是先增加后减少, 相同品种在第 2 个月

较之第 1 个月极显著增加 ($F_{\text{茎干质量}} = 38\ 013.04$, $P < 0.01$; $F_{\text{叶干质量}} = 12\ 275.84$, $P < 0.01$), 而这个时间段是水稻营养生长转向生殖生长的旺盛生长阶段, 会吸收土壤中大量的养分离离子, 导致土壤中根层离子含量变化, 这也验证了前面土壤中的钠钾离子含量和可溶性总盐含量在第 2 个月大幅度降低; 而相同品种在成熟期较之第 2 个月茎叶干质量极显著降低 ($F_{\text{茎干质量}} = 759.87$, $P < 0.01$;

$F_{\text{叶干质量}} = 4\ 121.99, P < 0.01$), 此阶段生长速度相比前面 2 个月变得缓慢, 对土壤中离子吸收开始变慢, 土壤根层以下离子向上转移, 这验证了上

面土壤中钠钾离子和可溶性总盐含量在此阶段显著增加, 但最后土壤中盐分显著降低, 证明种植水稻可以显著降低土壤中盐分含量。

表 3 早熟组和迟熟组取样对应的生育期

分组 Groups	品种 Variety	第 1 个月 The first month	第 2 个月 The second month	第 3 个月 The third month	第 4 个月 The fourth month
早熟组 Early maturity	E13-E24	分蘖至拔节期 Tillering to jointing stage	穗分化至抽穗期 Panicle initiation to heading stage	灌浆结实期 Grain filling	
迟熟组 Late maturity	E1-E12	返青分蘖期 Turning green & tillering stage	分蘖至拔节期 Tillering to jointing stage	穗分化至抽穗期 Panicle initiation to heading stage	灌浆结实期 Grain filling

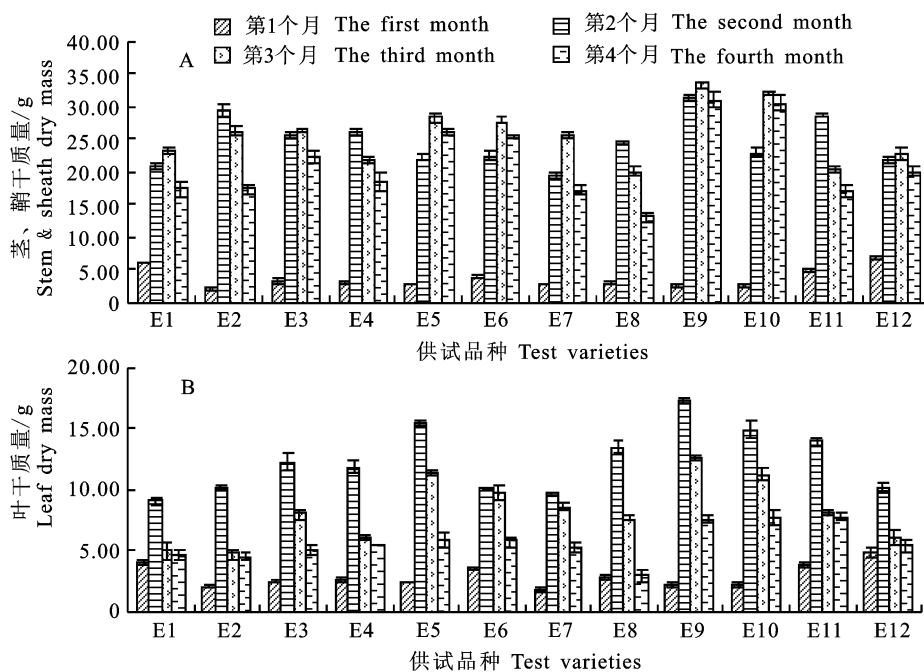


图 3 迟熟品种茎、鞘(A)和叶(B)干质量

Fig. 3 Dry mass of stems, sheaths(A) and leaf(B) of late-maturing varieties

2.3 不同水稻品种在盐碱胁迫下根、茎鞘和叶中钠离子含量的变化

从图 5 和图 6 可以看出, 茎叶在第 1 个月中钠离子含量都非常高, 水稻秧苗是在附近正常土壤的农场所育, 后移栽于主要以 NaCl 为主的盐碱土中。通过分析, 迟熟组品种, 第 1 个月, 根茎叶中钠离子含量差异极显著 ($F = 551.65, P < 0.01$), 茎 > 根 > 叶; 后面 3 个月根茎叶中钠离子含量均差异极显著 ($F_{\text{第2个月}} = 58.55, P < 0.01$; $F_{\text{第3个月}} = 36.64, P < 0.01$; $F_{\text{第4个月}} = 20.98, P < 0.01$), 其含量大小为根 > 茎 > 叶。早熟组品种, 3 个月的根茎叶钠离子含量均差异极显著, ($F_{\text{第1个月}} = 236.92, P < 0.01$; $F_{\text{第2个月}} = 93.69, P < 0.01$; $F_{\text{第3个月}} = 30.58, P < 0.01$), 但是第 1 个月钠离子

含量为茎 > 根 > 叶, 后面两月为根 > 茎 > 叶, 与迟熟组品种变化趋势一致。

2.4 不同水稻品种在盐碱胁迫下根、茎鞘和叶中钾离子含量的变化

钾是水稻生长发育需要的大量元素, 不仅能提高水稻产量还能改善其品质^[23]。通过分析得, 图 7 迟熟组品种, 每个月根茎叶中钾离子含量均差异极显著 ($F_{\text{第1个月}} = 440.12, P < 0.01$; $F_{\text{第2个月}} = 308.76, P < 0.01$; $F_{\text{第3个月}} = 118.56, P < 0.01$; $F_{\text{第4个月}} = 217.24, P < 0.01$), 含量大小为茎 > 叶 > 根。图 8 早熟组品种, 每个月根茎叶钾离子含量差异极显著 ($F_{\text{第1个月}} = 726.84, P < 0.01$; $F_{\text{第2个月}} = 347.39, P < 0.01$; $F_{\text{第3个月}} = 91.10, P < 0.01$), 变化趋势与迟熟组品种一致。

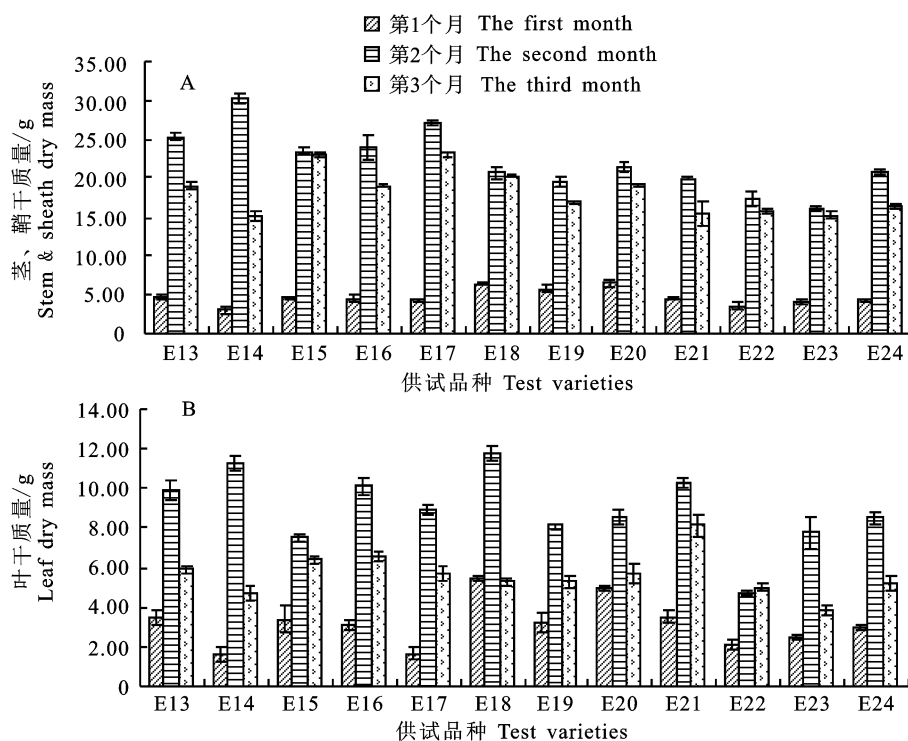


图 4 早熟品种茎、鞘(A)和叶(B)干质量

Fig. 4 Dry mass of stems, sheaths(A) and leaves (B) of early-maturing varieties

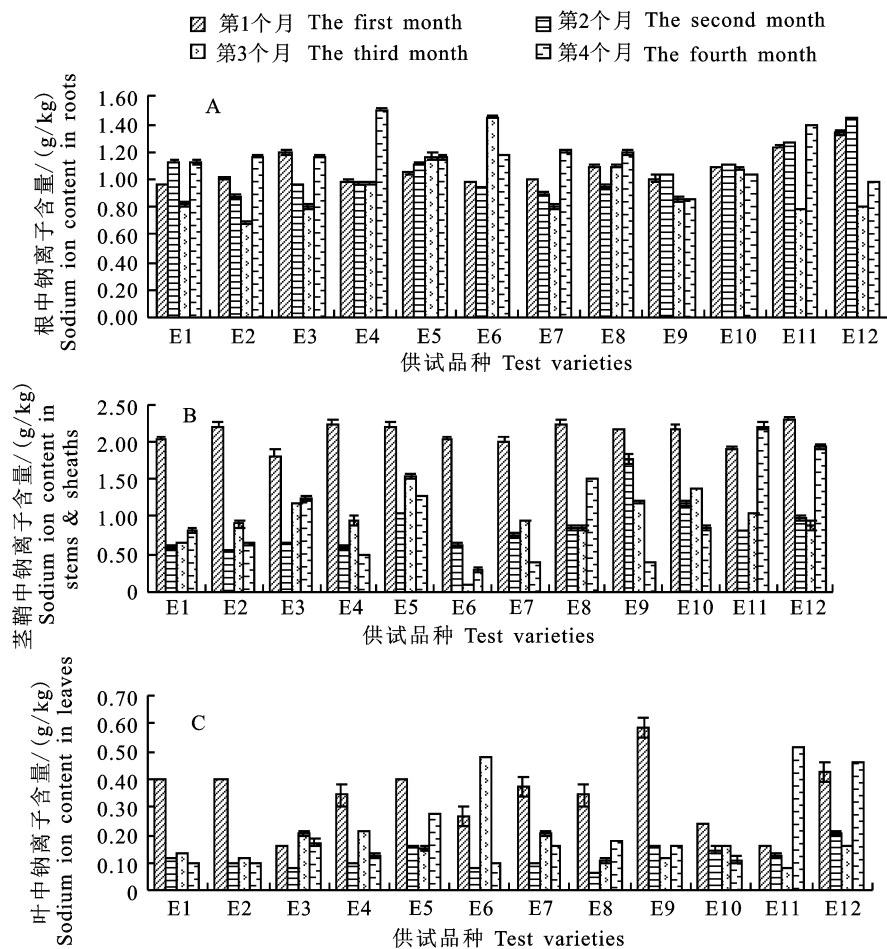


图 5 迟熟品种根(A)、茎鞘(B)和叶(C)钠离子含量

Fig. 5 Sodium ion content in root(A), stem, sheath(B) and leaf(C) of late-maturing varieties

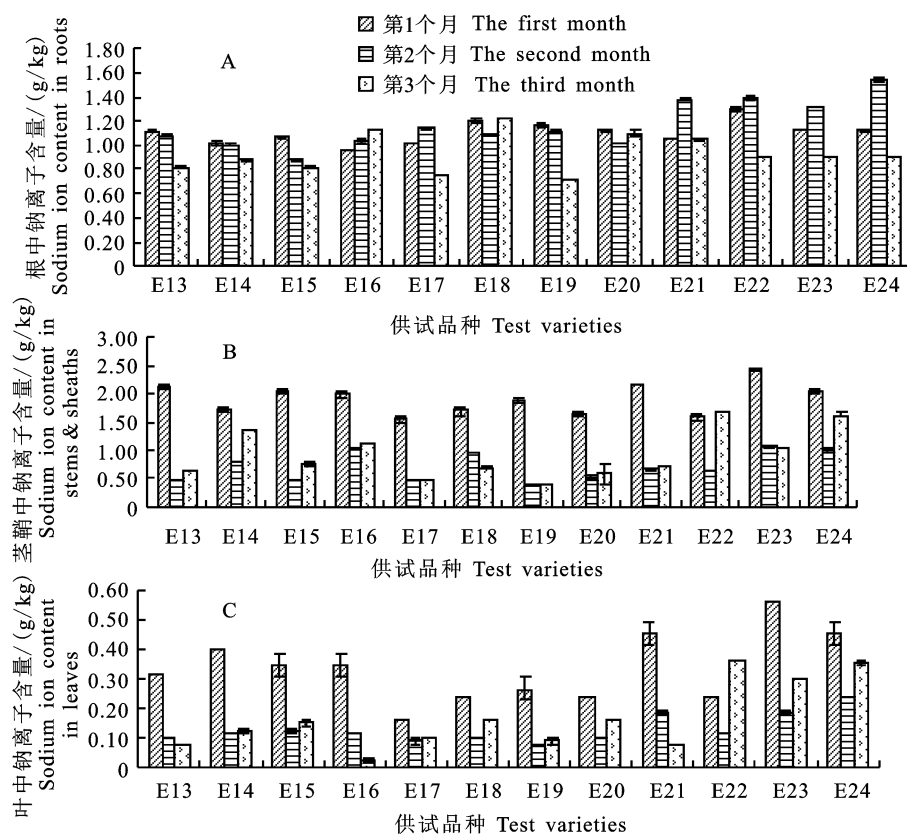


图6 早熟品种根(A)、茎鞘(B)和叶(C)钠离子含量

Fig. 6 Sodium ion content in root(A) stem,sheath(B) leaf(C) of early-maturing varieties

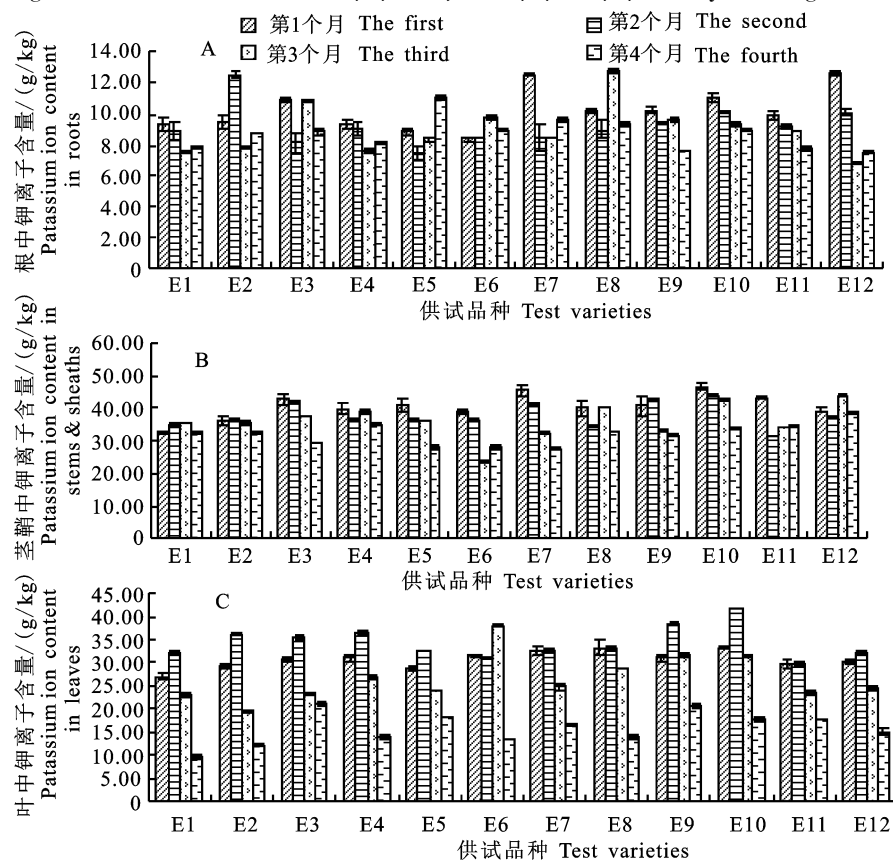


图7 迟熟品种根(A)、茎鞘(B)和叶(C)钾离子含量

Fig. 7 Potassium ion content in roots (A) stems,sheaths (B) leaves (C) of late-maturing varieties

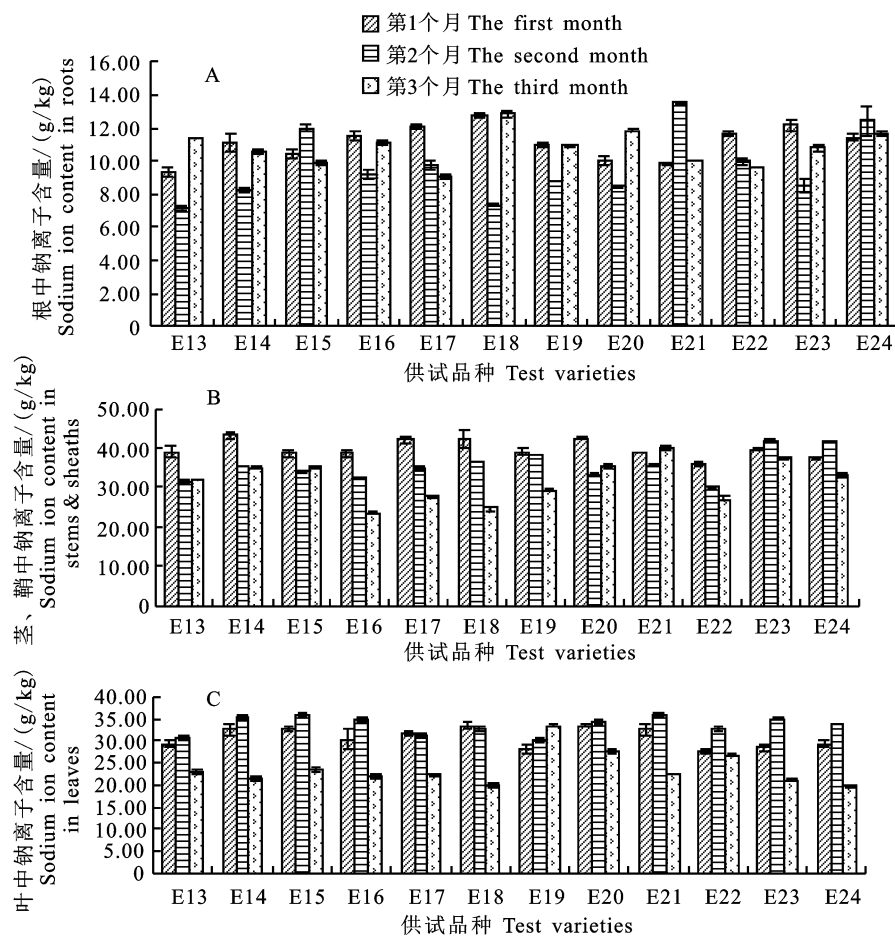


图 8 早熟品种根(A)、茎(B)和叶(C)钾离子含量

Fig. 8 Potassium ion content in roots(A), stems(B) and leaves (C) of early-maturing varieties

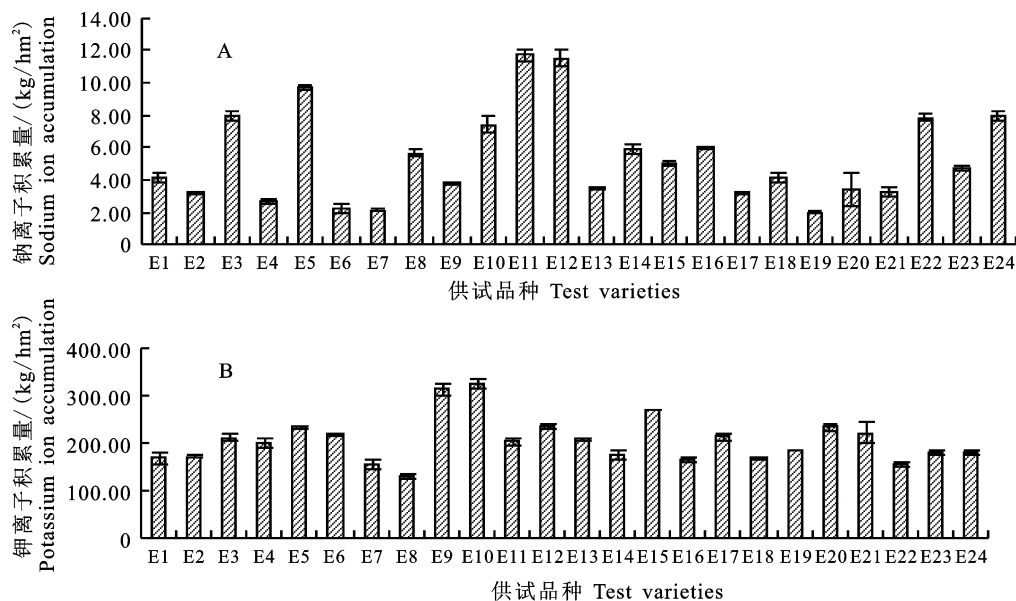


图 9 茎、鞘、叶钠(A)和钾(B)离子积累量

Fig. 9 Sodium(A) and potassium(B) ion accumulation in stem & sheath and leaf

2.5 不同水稻品种在盐碱胁迫下茎叶钠钾离子积累量比较

通过图 9 分析得,不同品种之间茎叶钠钾离子积累量均差异极显著($F_{\text{钠离子}} = 157.54, P < 0.01$; $F_{\text{钾离子}} = 64.95, P < 0.01$),平均钾离子积累量最多的品种为 E10(323.60 kg/hm²),最少的品种为 E8(130.33 kg/hm²);钠离子积累量最多的品种为 E11(11.71 kg/hm²),最少的品种为 E19(2.02 kg/hm²)。生育期长的品种平均钠钾离子积累量更高,但差异未达显著水平($F_{\text{钠离子}} = 1.16, P = 0.30$; $F_{\text{钾离子}} = 0.82, P = 0.38$)。

2.6 不同水稻品种在盐碱胁迫下产量及产量构成因素比较

由表 4 可见,所有品种的产量构成因素差异

均极显著($F_{\text{有效穗数}} = 12.67, P < 0.01$; $F_{\text{每穗总粒数}} = 22.35, P < 0.01$; $F_{\text{结实率}} = 152.88, P < 0.01$; $F_{\text{千粒质量}} = 74.47, P < 0.01$; $F_{\text{理论产量}} = 224.30, P < 0.01$; $F_{\text{实际产量}} = 242.56, P < 0.01$),有效穗数最高的品种为 E21,每穗总粒数、理论产量和实际产量最高的是品种 E10,结实率和千粒质量最高的是品种 E12。产量最高的品种茎叶钾离子积累最高且茎叶干物质质量也较大,产量次之且生育期最长的品种 E12 和 E11 茎叶钠离子积累量相比其他水稻品种更高。而通过生育期划分比较分析,迟熟组品种理论产量和实际产量都极显著高于早熟的品种($F_{\text{理论产量}} = 12.96, P < 0.01$; $F_{\text{实际产量}} = 28.27, P < 0.01$)。

表 4 不同水稻品种产量及产量构成因素

Table 4 Yield of different rice varieties and yield components

品种 编号 Variety coding	有效穗数 ($\times 10^4$)/hm ⁻² Effective panicle	每穗总粒数 Total grains per panicle	结实率/% Seed setting rate	千粒质量/g Thousand grain mass	理论产量/ (t/hm ²) Theoretical yield	实际产量/ (t/hm ²) Actual yield
E1	256.17±15.74 i	185±12.02 cd	71.41±0.96 gh	18.14±0.32 k	6.11±0.15 kl	6.09±0.08 jk
E2	262.35±17.46 i	192±10.44 bc	79.56±0.6 bc	19.83±0.25 i	7.93±0.07 ef	7.86±0.03 e
E3	370.37±7.56 abc	126±3.48 j	75.88±0.87 def	21.05±0.18 h	7.44±0.05 g	7.37±0.11 f
E4	311.73±11.55 fg	182±7.22 cde	79.33±0.9 bc	20.18±0.10 i	9.06±0.16 c	9.03±0.10 c
E5	327.16±26.55 ef	186±13.84 cd	73.55±2.74 fg	17.45±0.28 l	7.78±0.22 f	7.32±0.13 f
E6	311.73±19.03 fg	165±10.37 efg	75.21±0.42 ef	18.99±0.17 j	7.32±0.12 g	7.29±0.05 f
E7	308.64±11.55 fgh	137±5.31 hij	78.17±0.78 cde	22.37±0.11 bcdef	7.36±0.04 g	7.29±0.06 f
E8	354.94±8.73 bcde	137±1.08 hij	76.83±2.42 cde	21.87±0.10 fg	8.18±0.14 e	7.94±0.17 e
E9	277.78±13.09 hi	210±9.09 b	65.23±0.96 i	22.62±0.21 bc	8.60±0.14 d	8.50±0.11 d
E10	314.81±13.09 fg	248±13.51 a	78.88±1.43 bcd	18.49±0.20 jk	11.34±0.30 a	10.78±0.33 a
E11	385.8±15.74 ab	154±6.25 fgh	81.59±0.98 b	20.73±0.09 h	10.04±0.10 b	10.00±0.13 b
E12	330.25±11.55 def	151±4.88 ghi	85.81±1.28 a	23.73±0.21 a	10.13±0.03 b	10.04±0.11 b
E13	348.77±8.73 cde	152±8.11 ghi	58.26±1.97 jk	21.96±0.62 efg	6.76±0.10 hi	6.56±0.15 gh
E14	361.11±13.09 abcd	149±3.71 ghi	55.34±0.51 kl	21.76±0.71 g	6.47±0.26 ij	6.26±0.06 ij
E15	382.72±19.03 ab	136±1.98 ij	53.34±2.24 l	22.55±0.18 bcd	6.25±0.10 jk	5.83±0.13 kl
E16	367.28±19.03 abc	163±13.78 fg	45.13±3.13 n	20.85±0.17 h	5.61±0.23 m	5.31±0.17 n
E17	385.8±23.1 ab	125±8.59 j	40.72±1.73 o	22.06±0.14 defg	4.31±0.14 n	4.25±0.18 o
E18	330.25±21.82 def	188±9.57 cd	48.61±0.86 m	20.99±0.13 h	6.30±0.06 jk	6.28±0.06 hij
E19	339.51±15.74 cdef	170±8.99 def	45.18±2.22 n	21.91±0.07 efg	5.70±0.19 m	5.46±0.23 mn
E20	324.07±15.12 ef	186±6.43 cd	48.61±1.19 m	22.89±0.10 b	6.69±0.18 hi	6.48±0.11 hi
E21	391.98±11.55 a	120±4.74 j	64.20±1.92 i	22.30±0.19 cdef	6.73±0.10 hi	6.36±0.26 hij
E22	271.6±15.74 i	149±8.65 ghi	66.14±1.26 i	22.06±0.09 defg	5.89±0.11 lm	5.65±0.16 lm
E23	283.95±19.03 ghi	166±13.61 efg	69.45±0.28 h	21.04±0.17 h	6.83±0.10 h	6.79±0.04 g
E24	330.25±15.74 def	149±9.71 ghi	59.31±0.66 j	22.42±0.34 bcde	6.53±0.20 hij	6.46±0.10 hi

注:数据为“平均数±标准偏差”,同列不同字母表示在 0.05 水平上存在显著差异。

Note: The data is “the mean±standard deviation”, and different letters means the significant difference at 0.05 level.

3 讨论与结论

3.1 粳型杂交稻应用于盐碱土改良的可行性

种植水稻不仅可以解决粮食危机,还能有效的改良土壤,因此种植水稻改良盐碱地效果良好,且与其他传统方式相比更加有优势^[24-25]。在江苏沿海盐碱地,种植的品种多为常规粳稻,对粳型水稻品种种植和耐盐性研究甚少。中国通过水稻杂种优势的利用,水稻单产远高于粮食作物平均单产^[26],而其中有大量的优质杂交水稻品种^[27-28],因此研究杂交水稻的耐盐性非常有现实意义。

本研究表明通过一季杂交水稻种植,显著降低了土壤中钠离子和土壤可溶性盐的含量。水稻在经历过营养生长最快的时期后会引起土壤中盐分大幅度的降低,但在后面的生长中土壤的盐分慢慢回升,在今后的研究中可以加强这方面的探究,为耐盐碱水稻品种改良提供更多理论依据。研究还发现,产量较高的 2 个品种(E11 和 E12)植株中钠离子的积累量显著高于其他品种,但产量最高的品种(E10)钠离子积累量一般,而这 3 个品种相比,E11 和 E12 的生育期是最长的(159 d),生育期是否影响钠离子积累,值得深入探究。

3.2 不同品种耐盐性差异及亲本对杂交稻耐盐性的影响

不同品种耐盐性不同,与前人研究结论一致^[29-31]。在本试验中,同母本 1146S 的不同父本品种(E1-E8)间产量差异极显著($F_{\text{理论产量}} = 81.45, P < 0.01$; $F_{\text{实际产量}} = 131.83, P < 0.01$),父本为 R889 的品种 E4 产量最高;同母本 416S 的 2 个品种(E11 和 E22)的产量差异极显著($F_{\text{理论产量}} = 1\ 649.21, P < 0.01$; $F_{\text{实际产量}} = 899.62, P < 0.01$),父本为 9 海 28 的品种 E11 产量更高;同母本 C815S 的 5 个品种(E12、E14、E21、E23 和 E24)产量差异极显著($F_{\text{理论产量}} = 194.59, P < 0.01$; $F_{\text{实际产量}} = 281.72, P < 0.01$),父本为 9 海 30 的品种 E12 产量最高。由 2 个姊妹系海品 21 和海品 12 为父本与不育系椰香 A 的杂交组合(E13 和 E20)产量差异不显著($F_{\text{理论产量}} = 0.24, P = 0.65$; $F_{\text{实际产量}} = 0.39, P = 0.57$)、与甜 A 的杂交组合(E15 和 E16)产量差异显著($F_{\text{理论产量}} = 13.02, P = 0.02$; $F_{\text{实际产量}} = 11.63, P = 0.02$)、与神农 A 的杂交组合(E17 和 E19)产量差异极显著($F_{\text{理论产量}} = 67.82, P < 0.01$; $F_{\text{实际产量}} = 33.69, P <$

0.01),不同的母本与姊妹系父本杂交其带来的影响也不同。品种 E11 和 E12 为本次试验筛选出来的高产品种,其父本为 9 海 28 和 9 海 30,可大致推测出这两个同系父本为耐盐碱性较好的亲本。

同父本海品 21 的品种(E13、E16、E18 和 E19)间理论产量差异极显著($F_{\text{理论产量}} = 22.74, P < 0.01$; $F_{\text{实际产量}} = 27.46, P < 0.01$),母本为椰香 A 的 E13 产量最高;同父本海品 12 的品种(E15、E17 和 E20)间产量差异极显著($F_{\text{理论产量}} = 157.59, P < 0.01$; $F_{\text{实际产量}} = 125.55, P < 0.01$),母本为椰香 A 的 E20 产量最高,综合比较母本椰香 A 耐盐碱较好。母本 416S 与耐盐性强的父本(9 海 28)的杂交品种 E11 产量极显著高于母本为 C815S 的品种 E21 ($F_{\text{理论产量}} = 1\ 169.50, P < 0.01$; $F_{\text{实际产量}} = 324.77, P < 0.01$),而与耐盐性较差的父本(9 海 55)杂交后其产量显著低于了母本为 C815S 的品种 E24 ($F_{\text{理论产量}} = 15.90, 0.01 < P < 0.05$; $F_{\text{实际产量}} = 38.85, P < 0.01$),是否因为基因的显性隐性关系,其遗传机理值得深入探究。

杂交品种的耐盐性受母本和父本的影响,同母本不同父本或是同父本不同母本在盐碱胁迫下产量表现不同,也已经有研究表明耐盐性好的亲本杂交出来的杂交品种耐盐性也好^[29]。至于父本和母本对其杂交组合耐盐性影响力的大小则难以定论,通过杂种优势提高水稻品种的耐盐性应该选择父母本耐盐性均强的亲本进行配组。

参考文献 Reference:

- [1] GUPTA B, HUANG B R. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization [J]. *International Journal of Genomics*, 2014, 2014:1-18.
- [2] LIU L L, WANG B S. Protection of halophytes and their uses for cultivation of saline-alkali soil in China [J]. *Biology*, 2021, 10(5):353.
- [3] 王 健, 李傲瑞. 我国盐碱地改良技术综述[J]. 现代农业科技, 2019(21):182-183, 185.
WANG J, LI A R. Summary of my country's saline-alkali soil improvement technology[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019(21):182-183, 185.
- [4] 胡 涛, 张鸽香, 郑福超, 等. 植物盐胁迫响应的研究进展[J]. 分子植物育种, 2018, 16(9):3006-3015.
HU T, ZHANG G X, ZHENG F CH, et al. Advances in the study of plant salt stress response [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2018, 16(9):3006-3015.

- [5] 毛庆莲,王 胜.国内盐碱地治理趋势探究浅析[J].湖北农业科学,2020,59(S1):302-306.
MAO Q L, WANG SH. Investigation and analysis of domestic saline-alkali land management trends[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(S1): 302-306.
- [6] 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.
WEI ZH, TU N M, YI ZH X. Advances in research on stress stress effects of saline-alkali soil on rice and its improvement and efficient utilization [J]. *Journal of Hunan Ecological Science*, 2019, 6(4): 45-52.
- [7] GUAN B, ZHOU D, ZHANG H, *et al.* Germination responses of *Medicago ruthenica* seeds to salinity, alkalinity, and temperature [J]. *Arid Environment*, 2009, 73: 135-138.
- [8] MUNNS R, TESTER M. Mechanisms of salinity tolerance [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2008, 59: 651-681.
- [9] 费小钰.盐碱胁迫对转 Lc-CDPK 基因水稻生理生化特性的影响[D].长春:吉林农业大学,2017.
FEI X Y. Effects of saline-alkali stress on the physiological and biochemical characteristics of Lc-CDPK transgenic rice [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2017.
- [10] HASEGAWA P MSS, BREAN R A, ZHU J K, *et al.* Plant cellular and molecular responses to high salinity [J]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 2000, 51: 463-499.
- [11] 朱明霞,高显颖,邵玺文,等.不同浓度盐碱胁迫对水稻生长发育及产量的影响[J].东北农业科学,2014,39(6):12-16.
ZHU M X, GAO X Y, SHAO X W, *et al.* Effects of Saline-alkali Stress on Rice Growth and Yield [J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2014 39(6): 12-16.
- [12] 罗成科,肖国举,张峰举,等.不同浓度复合盐胁迫对水稻产量和品质的影响[J].干旱区资源与环境,2017,31(1):137-141.
LUO CH K, XIAO G J, ZHANG F J, *et al.* Effects of Compound Salt Stress on Rice Yield and Quality [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environmen*, 2017, 31(1): 137-141.
- [13] 赵 鹏,孙书洪,薛 铸.盐分胁迫对水稻生长性状影响研究[J].灌溉排水学报,2020,39(S1):31-34,39.
ZHAO P, SUN SH H, XUE ZH. Effects of Salt Stress on Rice Growth Character [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2020, 39(S1): 31-34, 39.
- [14] 赵 鹏,孙书洪,薛 铸.盐分胁迫对水稻产量影响试验研究[J].节水灌溉,2020(9):84-87,93.
ZHAO P, SUN SH H, XUE ZH. Effect of salt stress on rice yield [J]. *Water Saving Irrigation*, 2020(9): 84-87, 93.
- [15] 魏文杰,程知言,杨晋炜,等滨海盐碱地耐盐水稻种植效果研究[J].中国农学通报,2019,35(35):104-108.
WEI W J, CHENG ZH Y, YANG J W, *et al.* Research on the effect of salt-tolerant rice planting in coastal saline-alkali land [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(35): 104-108.
- [16] 李红宇,李 逸,司 洋,等.北方粳稻耐盐碱相关性状主成分分析及综合评价[J].核农学报,2020,34(8):1862-1871.
LI H Y, LI Y, SI Y, *et al.* Analysis and comprehensive evaluation of the principal component of saline-resistant correlation in North Japonica Rice [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(8): 1862-1871.
- [17] 张燕红,赵志强,袁 杰,等.粳稻品种资源耐盐性状的 SSR 标记关联分析[J/OL].分子植物育种:1-11[2021-05-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20201231.1717.016.html>.
ZHANG Y H, ZHAO Z Q, YUAN J, *et al.* SSR marker association analysis of salt tolerance traits of Japonica rice varieties [J/OL]. *Molecular Plant Breeding*: 1-11 [2021-05-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20201231.1717.016.html>.
- [18] 冯钟慧,刘晓龙,姜昌杰,等.吉林省粳稻种质萌发期耐碱性和耐盐性综合评价[J].土壤与作物,2016,5(2):120-127.
FENG ZH H, LIU X L, JIANG CH J, *et al.* Comprehensive evaluation of alkaline and salt tolerance of japonica rice germplasm in Jilin province [J]. *Soils and Crops*, 2016, 5(2): 120-127.
- [19] 朱孔志,卢 俊,陈锦珠,等.适合江苏盐渍化中低产田种植的水稻品种(系)筛选[J].江苏农业科学,2019,47(24):40-43.
ZHU K ZH, LU J, CHEN J ZH, *et al.* Screening of rice varieties(lines) suitable for planting in salinized middle and low-yield fields in Jiangsu [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(24): 40-43.
- [20] 于福安,顾红艳,刘 浩,等.耐盐碱优质多抗超高产粳稻津原 89 的选育及应用[J].中国稻米,2019,25(5):110-111.
YU F A, GU H Y, LIU H, *et al.* Breeding and application of salt-alkali-tolerant, high-quality, multi-resistant and super-high-yielding japonica rice Jinyuan 89 [J]. *China Rice*, 2019, 25(5): 110-111.
- [21] 杨 军,王海凤,郭 涛.海稻 86 的籼粳性鉴定[J].山东农业科学,2016,48(10):24-26.
YA J, WANG H F, GUO T. Identification of Indica and Japonica characters of Haidao 86 [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2016, 48(10): 24-26.
- [22] 梁传斌,张 雪,姚继攀,等,李全英,张忠旭.杂交粳稻辽优 2006 在辽宁滨海稻区的耐盐碱高产栽培技术[J].农业科技通讯,2013(4):172-174.
LIANG CH B, ZHANG X, YAO J P, *et al.* Salt-tolerant and high-yield cultivation techniques of hybrid japonica rice Liaoyou 2006 in Liaoning coastal rice area [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2013(4): 172-174.

- 172-174.
- [23] 赵婧玮. 耐低钾水稻的筛选及基因型鉴定[D]. 长沙:湖南师范大学,2014.
- ZHAO J W. Screening and genotype identification of low potassium-tolerant rice [D]. Changsha: Hunan Normal University,2014.
- [24] 程知言,胡 建,葛 云,等. 种植耐盐水稻盐碱地改良过程中的盐度变化趋势研究[J]. 矿产勘查,2020,11(12):2592-2600.
- CHENG ZH Y, HU J, GE Y, *et al.* Study on the changing trend of salinity in the process of improving salt-tolerant rice in saline-alkali land[J]. *Mineral Exploration*, 2020, 11(12):2592-2600.
- [25] 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.
- ZHAO J W, LEI CH S, LIU Y Q, *et al.* A preliminary study on the salt-alkali tolerance characteristics of sea rice 86 during germination period [J]. *China Rice*, 2018, 24(3):87-92.
- [26] 牛兆国. 水稻杂种优势利用现状及发展对策[J]. 现代农业科技,2010(24):93-94,98.
- NIU ZH G. The utilization status and development countermeasures of rice heterosis[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2010(24):93-94,98.
- [27] 青先国,黄大金,艾治勇. 中国杂交水稻产业经济发展战略[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2008,34(6):617-623.
- QING X G, HUANG D J, AI ZH Y. The economic development strategy of China's hybrid rice industry[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2008, 34(6):617-623.
- [28] 汪雪峰,盛夏冰,谭炎宁,等. 盐胁迫对杂交稻隆两优华占及其亲本种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 杂交水稻,2021,36(1):75-81.
- WANG X F, SHENG X B, TAN Y N, *et al.* Effects of salt stress on seed germination and seedling growth of hybrid rice Longliangyou Huazhan and its parents[J]. *Hybrid Rice*, 2021, 36(1):75-81.
- [29] 肖文斐,马华升,陈文岳,等. 籼稻耐盐性与稻米品质性状的关联分析[J]. 核农学报,2013,27(12):1938-1947.
- XIAO W F, MA H SH, CHEN W Y, *et al.* Association analysis of indica rice salt tolerance and rice quality traits [J]. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2013, 27(12):1938-1947.
- [30] 张治振,李 稳,周起先,等. 不同水稻品种幼苗期耐盐性评价[J]. 作物杂志,2020(3):92-101.
- ZHANG ZH ZH, LI W, ZHOU Q X, *et al.* Evaluation of salt tolerance in seedling stage of different rice varieties [J]. *Crops*, 2020(3):92-101.
- [31] 郑崇珂,张治振,周冠华,等. 不同水稻品种发芽期耐盐性评价[J]. 山东农业科学,2018,50(10):38-42.
- ZHENG CH K, ZHANG ZH ZH, ZHOU G H, *et al.* Salt tolerance evaluation of different rice varieties during germination period [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2018, 50(10):38-42.

Comparison between Sodium and Potassium Ion Change and Yield of Different Hybrid Indica Rice Varieties under Salt-Alkali Stress

WEI Zheng¹, ZOU Yan¹, CHEN Pengjun², HAN Jijun²,
MIAO Yuanqing², YI Zhenxie¹ and TU Naimei¹

(1. School of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Institute of Geochemical Exploration and Marine Geological Survey, Nanjing 210007, China)

Abstract Aiming at the coastal saline-alkali land in Jiangsu, the relationship between the accumulation of sodium and potassium ions and the yield of different indica hybrid rice varieties in the saline-alkali soil was explored, and the varieties suitable for planting in the saline-alkali soil in Jiangsu were selected. Twenty-four hybrid indica rice varieties were selected, and the change of the absorption of sodium and potassium ions, dry matter weight in plants, sodium and potassium ions and soluble salts in the soil was dynamically measured. The results showed that rice planting significantly reduced the content of sodium and potassium ions and total soluble salt in the soil. The content of sodium and potassium ions was reduced by 7.67% and 25.08%, respectively, and the total soluble salt content was reduced by 33.52%; three salt-tolerant hybrid indica rice varieties (E10, E11 and E12) were screened out by their accumulation of sodium and potassium, and grain yields. The varieties with the highest potassium ion accumulation and yield were E10 (323.60 kg/hm² and 10.78 t/hm²), the variety E11 (11.71 kg/hm²) had the highest sodium ion accumulation.

Key words Salt-alkali stress; Sodium ion; Potassium ion; Hybrid indica rice variety; Yield

Received 2021-05-10

Returned 2021-07-01

Foundation item Special Project of Major Science and Technology Research of Hunan Province(No. 2018NK1010).

First author WEI Zheng, male, master. Research area: high-efficiency cultivation technology of saline-alkali rice. E-mail: 1308279153@qq.com

Corresponding author TU Naimei, male, professor. Research area: rice physiology and ecology. E-mail: tnm505@163.com

YI Zhenxie, male, professor. Research area: crop production mechanism and resource efficient utilization. E-mail: yizhenxie@126.com

(责任编辑: 成敏 Responsible editor: CHENG Min)