

碱性盐胁迫对水稻苗期矿质离子吸收与分配的影响

滕祥勇¹, 李鹏志¹, 林秀云^{1*}, 王金明¹, 孙强¹, 盖志佳²

(1. 吉林省农业科学院水稻研究所, 吉林 公主岭 136100; 2. 黑龙江省农业科学院佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007)

摘要:选择耐盐碱性较强的水稻回交导入系材料JE、JI1、JI2、JH1、JH2及回交亲本JJ(吉粳88),在温室内进行水培,以50 mmol/L的Na₂CO₃和NaHCO₃(摩尔比9:1)作为盐碱处理,研究对苗期水稻植株Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Fe²⁺、Zn²⁺、Mn²⁺、Mo²⁺等矿质离子的影响。结果表明:碱性盐胁迫下,Na⁺含量显著增加,大量Na⁺向叶片分配,导致植株体内阳离子显著增加,破坏了植株体内的离子平衡;K⁺含量降低,叶片的降幅小于根系,K⁺在叶片中分配比例增加,从而保持较高的K⁺/Na⁺比,使植株少受害;叶片中Ca²⁺和Mo²⁺含量降低,而根系中含量增加;Mg²⁺含量未见显著变化;Mn²⁺含量降低,以根系中降幅显著;Fe²⁺、Zn²⁺含量呈现增加趋势。与JJ相比,耐盐碱性较强的JE、JH1、JH2、JI1、JI2叶片中K⁺/Na⁺、Ca²⁺/Na⁺、Mg²⁺/Na⁺比较高,Na⁺所占TC(阳离子总量)和MC(单价阳离子总量)比例较低。

关键词:水稻;碱性盐胁迫;离子吸收及分配

中图分类号:S511

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)01-0011-06

Effects of Saline-Alkali Stress on Mineral Ion Absorption and Distribution of Rice Seedling

TENG Xiangyong¹, LI Pengzhi¹, LIN Xiuyun^{1*}, WANG Jinming¹, SUN Qiang¹, GAI Zhijia²

(1. Rice Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100; 2. Jiamusi Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007, China)

Abstract: Rice backcross import line JE, JI1, JI2, JH1, JH2 and its backcross parent JJ (Jijing 88) were selected for hydroponics in greenhouse. 50 mmol/L Na₂CO₃ and NaHCO₃ (molar ratio 9:1) were used as saline-alkali treatment. Mineral elements of Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Zn²⁺, Mn²⁺, Mo²⁺ contents were measured to study the effect on rice seedlings. Result showed that the Na⁺ content in rice seedling was positively increased under saline-alkali stress. A lot of Na⁺ was distributed to the leaves and the high concentration of cation in the plant tissue disturbed the ion homeostasis. The K⁺ contents in rice seedling was decreased under saline-alkali stress, while the K⁺ content in leaves decreased less than that in roots. The distribution ratio of K⁺ in the leaf increased, thus maintaining a higher K⁺/Na⁺ ratio, so that the plant was less affected by saline-alkali stress. The content of Ca²⁺ and Mo²⁺ in leaves decreased, while the content in roots increased. The Mg²⁺ content did not changed significantly. The Mn²⁺ content in rice seedling decreased, especially in roots. The content of Fe²⁺ and Zn²⁺ showed an increasing trend. Compared with JJ, the K⁺/Na⁺, Ca²⁺/Na⁺, Mg²⁺/Na⁺ ratio in leaves of the salt-tolerant varieties (JE, JH1, JH2, JI1, JI2) are higher, and the percentage of the Na⁺ contents of total cation and monovalent cation was lower.

Key words: Rice; Saline-alkali stress; Ion absorption and distribution

吉林省是我国重要的商品粮基地,然而,土地的盐碱化严重影响了吉林省西部地区水稻的生

产,因此,开展水稻耐盐碱生理研究,提高水稻耐盐碱胁迫能力和培育耐盐碱品种具有重要意义^[1-2]。盐碱胁迫对植物的伤害可以大致分渗透胁迫和离子毒害^[3]。前者主要表现为类似于根系干旱所引起的渗透吸水困难,植株水势下降,造成植株生理干旱^[4-5]。而离子毒害则是由于盐中Na⁺和Cl⁻在叶片中大量积累造成的毒害^[6]。但盐碱胁迫与单纯的盐胁迫具有较大的差异性,它对植物的伤害除了具有盐胁迫的特点,还具有高的

收稿日期:2020-05-17

基金项目:吉林省科技发展计划项目(20200402029NC);国家重点研发计划(2017YFD0300608)

作者简介:滕祥勇(1985-),男,助理研究员,硕士,主要从事水稻栽培技术研究。

通讯作者:林秀云,女,博士,研究员,E-mail: linxiuyun1965@163.com

pH的伤害。植物在盐胁迫下,为避免离子的直接伤害,通过拒盐方式将 Na^+ 和 Cl^- 排斥在胞外;或是将 Na^+ 进行区域化,将其储存于液泡中与细胞质分隔或运往老的组织内,维持幼嫩组织较高的 K^+/Na^+ 比和离子平衡;或者通过合成有机亲和物质保护酶等活性大分子物质,以及进行渗透调节的方式降低盐害的影响^[7]。

在盐胁迫下,棉花幼苗叶片及根系 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 等元素含量均明显下降,尤其以 Mn^{2+} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 元素含量下降最为显著^[8];耐盐碱性强的燕麦品种通过茎中区域化 Na^+ ,选择吸收 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cu^{2+} ,保持较高的 K^+/Na^+ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$,并在叶片中分配较多的矿质离子来保持体内离子平衡,以适应盐碱胁迫^[9];水稻幼苗通过离子分配运输平衡来首先保证绿叶等幼嫩组织维持较高的 K^+/Na^+ 比,从而少受盐害^[10]。而有关水稻耐盐碱性与 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 等矿物质元素的分配关系鲜见报道。本研究以耐盐碱性较强的回交导入系材料JE、JH1、JH2、JI1、JI2及其轮回亲本JJ(吉粳88)为研究材料,研究碱性盐胁迫对其吸收 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Mo^{2+} 等矿质离子的影响,以及在不同品种、不同器官中分配规律的差异,以期揭示其与耐盐碱性的关系,为培育耐盐碱水稻新品种,改良和开发利用盐碱土地提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

以吉粳88作为轮回亲本的回交导入系为试验材料(表1),在3叶1心期进行盐碱胁迫。

表1 供试水稻材料及代号

缩写	注释
JJ	吉粳88轮回亲本
JE	吉粳88/EIKO
JH1	吉粳88/HEI MI CHAN
JH2	吉粳88/HEI MI CHAN
JI1	吉粳88/Inn mayebaw
JI2	吉粳88/Inn mayebaw

试验材料由孟丽君等^[11]提供,是以吉粳88为轮回亲本与11个来自不同国家的供体品种杂交和回交培育的 BC_2F_4 群体,在吉林省白城市盐碱地进行全生育期耐盐碱筛选,次年对入选的耐盐碱单株后代进行苗期耐盐碱鉴定,最终筛选出的全生育期和苗期均具有较强耐盐碱性的水稻材料。

1.2 试验设计

试验在吉林省农业科学院水稻研究所气候箱内进行,采用国际水稻所提出的苗期营养液胁迫处理方法。挑选饱满种子消毒,常规方法催芽,同时播6份材料,各100粒,将播种后的泡沫板搁置于盛有清水的塑料箱中,网孔底部与水面接触,3天后将清水换成Yoshida营养液,温室昼夜温度保持在30/25℃,湿度60%左右。出苗后选留生长一致的秧苗各定植30株,3叶1心期在营养液中添加50 mmol/L的 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 (摩尔比9:1),调节pH至8.5,进行盐碱胁迫处理,以不加盐的营养液为对照(CK),每5天更换1次营养液,每处理3次重复。处理10 d后各取20株代表性水稻幼苗,测定离子含量。

1.3 离子含量的测定

采用硝酸溶解法:取干样0.15 g、5 mL浓硝酸(优级纯)于50 mL小烧杯中,小烧杯用保鲜膜封口,浸泡过夜;把烧杯转移到电热板上,100℃60~80 min,密切注视硝酸蒸发情况,把即将蒸干(但仍剩余少量液体,大约0.1~0.3 mL)的烧杯移开;继续向烧杯中加0.5 mL硝酸浸泡10 min(注意摇晃烧杯使固体溶解),之后把烧杯放到80℃烘箱中继续溶解20 min,最后向烧杯中加10 mL超纯水;空白设置,加等量的酸但不加样品,其他操作同样品。采用火焰光度计测量 K^+ 和 Na^+ 含量,采用偶联的等离子发射光谱仪检测 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Mo^{2+} 等离子的含量。

1.4 数据处理

利用EXCEL和DPS统计软件进行统计分析和显著性测验。各处理总阳离子含量(the total sum of the cation concentration, TC)和单价阳离子含量(monovalent cation concentration, MC)及元素组成百分比参照文献[8]计算如下:

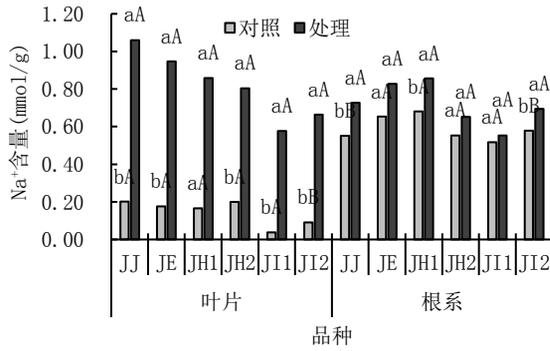
$$\text{TC}=[\text{Na}^+]+[\text{K}^+]+[\text{Ca}^{2+}]+[\text{Mg}^{2+}]$$

$$\text{MC}=[\text{Na}^+]+[\text{K}^+]$$

2 结果与分析

2.1 碱性盐胁迫对水稻 Na^+ 、 K^+ 吸收及分配的影响

碱性盐胁迫下,植株 Na^+ 含量增加,叶片增幅显著高于根系(图1)。在常规对照条件下,叶片中 Na^+ 含量远低于根系,而在碱性盐胁迫作用下快速增加, JJ叶片和根系中 Na^+ 分配比例在无盐状态下为26.7%和73.3%,而在碱性盐胁迫下的分配比例为59.3%和40.7%,这表明碱性盐胁迫打破了植株原来的 Na^+ 分配平衡,大量 Na^+ 向地上部分运输。通过比较发现, JE、JH2、JI1和JI2叶片中 Na^+



注:同一品种不同处理间,不同大小写字母分别表示在0.01和0.05水平差异显著,下同

图1 碱性盐胁迫对水稻叶片和根系Na⁺含量的影响

分配比例均低于JJ,而根系中Na⁺分配比例高于JJ,这也说明耐盐品种具有较强的抑制Na⁺向叶片运输,降低Na⁺积累的能力。

植株K⁺含量在碱性盐胁迫下降低(图2),叶片的降幅小于根系,K⁺在叶片中分配比例明显增加,JJ、JE、JH1、JH2、JI1、JI2分别增加11.2%、12.4%、8.5%、7.4%、16.2%和17.4%。耐盐碱性较强的水稻材料JE、JH1、JH2、JI1和JI2叶片中K⁺含量均高于JJ,这表明植株体内的K⁺含量与耐盐性有关,盐碱胁迫下,水稻通过向叶片分配更多K⁺,以降低盐碱胁迫对植株的伤害。

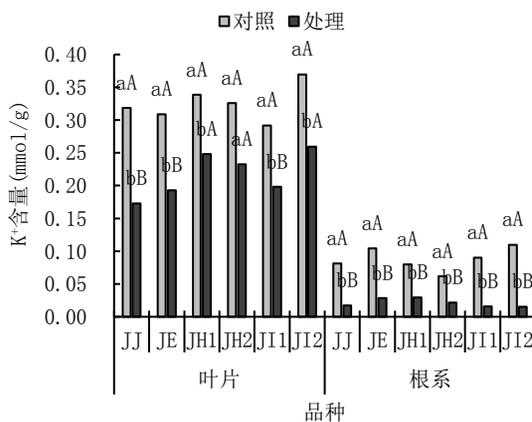


图2 碱性盐胁迫对水稻叶片和根系K⁺含量的影响

2.2 碱性盐胁迫对Ca²⁺、Mg²⁺吸收及分配的影响

碱性盐胁迫下,植株Ca²⁺含量增加,但不同部位变化趋势不同,叶片中Ca²⁺含量呈降低趋势,而根系中Ca²⁺含量大幅升高,达极显著水平(图3)。说明碱性盐胁迫未影响根系对Ca²⁺的吸收,但限制了Ca²⁺由木质部运输到叶片。耐盐碱性较强的JE、JH1、JH2、JI1、JI2植株Ca²⁺含量均高于回交亲本JJ。盐碱胁迫未对Mg²⁺产生明显影响,处理间差异均不显著(图4)。

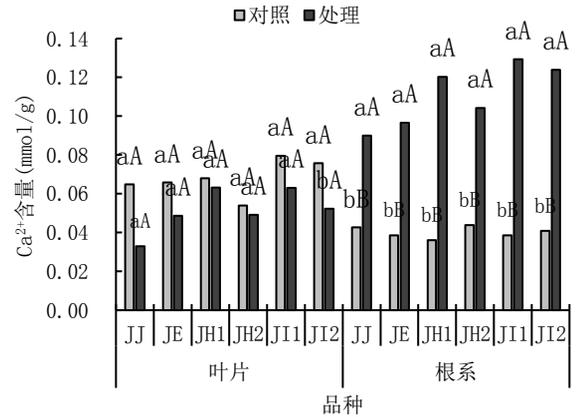


图3 碱性盐胁迫对水稻叶片和根系Ca²⁺含量的影响

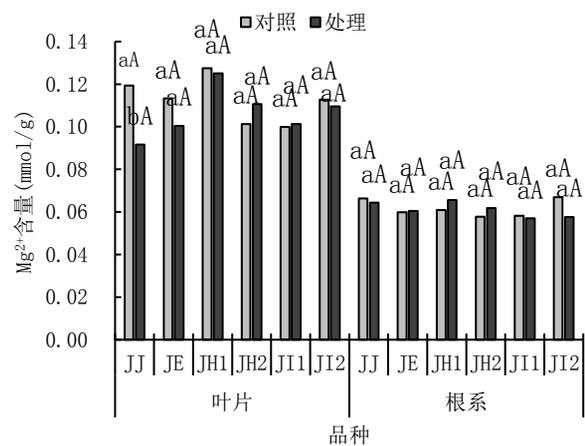


图4 碱性盐胁迫对水稻叶片和根系Mg²⁺含量的影响

2.3 碱性盐胁迫对水稻苗期K⁺/Na⁺、Ca²⁺/Na⁺、Mg²⁺/Na⁺的影响

K⁺/Na⁺、Ca²⁺/Na⁺、Mg²⁺/Na⁺是衡量植物耐盐性的一个重要指标,维持正常比例将有助于植物保持正常的离子平衡^[12-13]。盐碱胁迫下,叶片中K⁺/Na⁺、Ca²⁺/Na⁺、Mg²⁺/Na⁺均大幅度下降(表2),表明植株的离子平衡遭到破坏。比较不同部位的K⁺/Na⁺,叶片的K⁺/Na⁺相对较高,这表明植株通过向叶片分配较多的K⁺和较少的Na⁺来保证其维持较高的K⁺/Na⁺,从而减少盐碱胁迫危害;叶片中Ca²⁺/Na⁺低于根系,推测与叶片中Ca²⁺降低而根系中大量增加有关;JE、JH1、JH2、JI1、JI2叶片中Mg²⁺/Na⁺比高于根系,JJ叶片中Mg²⁺/Na⁺比低于根系。比较发现,耐盐碱性较强的回交导入系材料JE、JH1、JH2、JI1、JI2叶片的K⁺/Na⁺、Ca²⁺/Na⁺、Mg²⁺/Na⁺均高于回交亲本JJ(吉粳88)。

2.4 碱性盐胁迫对Fe²⁺、Mn²⁺、Zn²⁺、Mo²⁺吸收及分配的影响

从表3中可以看出,正常生长状态下,不同器官间微量元素分布不同,Mn²⁺、Fe²⁺主要存在于根

表2 碱性盐胁迫对水稻叶片、根系中K⁺/Na⁺、Ca²⁺/Na⁺、Mg²⁺/Na⁺的影响

盐碱处理	品种	K ⁺ /Na ⁺		Ca ²⁺ /Na ⁺		Mg ²⁺ /Na ⁺	
		叶片	根系	叶片	根系	叶片	根系
0	JJ	2.776bA	0.148cC	0.592bB	0.077aA	1.105abA	0.12aA
	JE	3.822abA	0.16cBC	0.846bAB	0.059abA	1.514abA	0.092cB
	JH1	2.059bA	0.117dD	0.418bB	0.053bA	0.782bA	0.089cB
	JH2	1.636bA	0.112dD	0.271bB	0.079aA	0.509bA	0.104bAB
	JI1	7.896aA	0.173bAB	2.204aA	0.077aA	2.739aA	0.113abA
	JI2	4.634abA	0.19aA	0.924bB	0.07abA	1.397abA	0.116abA
50 mmol/L	JJ	0.196aA	0.024bA	0.038bA	0.216aA	0.102aA	0.153aA
	JE	0.220aA	0.034aA	0.057abA	0.172aA	0.114aA	0.108bB
	JH1	0.364aA	0.034aA	0.064abA	0.184aA	0.188aA	0.100bB
	JH2	0.300aA	0.033aA	0.064abA	0.181aA	0.145aA	0.108bB
	JI1	0.394aA	0.029aA	0.125aA	0.235aA	0.199aA	0.103bB
	JI2	0.421aA	0.022aA	0.085abA	0.229aA	0.18aA	0.105bB

注:同一栏中,数字后相同字母表示品种内处理间差异不显著($P>0.05$),下同

表3 碱性盐胁迫对水稻叶片、根系中Fe²⁺、Mn²⁺、Zn²⁺、Mo²⁺含量的影响

品种	盐碱处理 (mmol/L)	Fe ²⁺		Mn ²⁺		Zn ²⁺		Mo ²⁺	
		叶片	根系	叶片	根系	叶片	根系	叶片	根系
JJ	0	2.95aA	29.37aA	2.79aA	6.80aA	0.52aA	0.55bA	0.16aA	0.11aA
	50	2.26aA	40.45aA	1.10bA	0.98bB	0.64aA	0.68aA	0.13bA	0.11aA
JE	0	6.49aA	29.89aA	3.31aA	6.78aA	0.39aA	0.66aA	0.32aA	0.17aA
	50	3.22aA	41.98aA	1.29bA	1.14bB	0.56aA	0.84aA	0.28aA	0.20aA
JH1	0	2.39aA	28.30bA	2.55aA	4.14aA	0.31bA	0.49bB	0.26aA	0.16aA
	50	4.29aA	52.23aA	1.60bB	1.25bB	1.02aA	1.86aA	0.23aA	0.18aA
JH2	0	2.77aA	32.74aA	2.50aA	4.58aA	0.72aA	0.92aA	0.21aA	0.14aA
	50	1.95aA	31.01aA	1.62aA	0.99bB	0.75aA	1.48aA	0.20aA	0.16aA
JI1	0	2.19aA	26.32aA	3.04aA	5.72aA	0.42aA	1.13aA	0.19aA	0.12aA
	50	2.14aA	34.66aA	2.34aA	0.99bB	0.60aA	1.47aA	0.17aA	0.15aA
JI2	0	3.62aA	34.44aA	3.19aA	5.07aA	0.65aA	0.83aA	0.21aA	0.13aA
	50	2.39aA	32.19aA	1.77bB	0.96bB	0.38bB	0.95aA	0.17aA	0.10aA

系中, JJ根系中Mn²⁺分配比例为70.9%, Fe²⁺在JJ根系中分配比例为90.9%; Zn²⁺在根中含量略高于叶片; 而Mo²⁺在叶片中含量较高。盐碱胁迫下, Fe²⁺、Zn²⁺含量呈现增加趋势, Mo²⁺在根系中含量增加, 而在叶片中降低, Mn²⁺在植株体内含量降低, 以根系中降幅尤其显著, 在碱性盐胁迫下, JJ根系中Mn²⁺仅为常规对照的14.4%, JE根系中Mn²⁺为对照的16.8%, 说明植株根系Mn²⁺含量的缺乏是盐碱胁迫最为敏感的指标之一^[8]。盐碱胁迫下, 回交导入系材料JE、JH1、JH2、JI1、JI2体内Mn²⁺、Zn²⁺、Mo²⁺含量均高于回交亲本JJ。

2.5 碱性盐胁迫对水稻苗期阳离子含量的影响

Na⁺是碱性盐胁迫的主要毒害离子, 在碱性盐胁迫作用下, Na⁺在植株体内大量积累, 水稻幼苗

植株体内总阳离子含量(TC)及单价阳离子含量(MC)明显增加(表4), 叶片中Na⁺所占比例也大幅度增加, JJ叶片Na⁺占TC和MC的百分比由28.5%和38.7%分别增加至76.5%和86.0%, 而K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺等元素所占TC比例由45.3%、9.2%、17.0%减少至12.5%、2.4%、6.6%, 这就使植株体内原有的离子平衡关系被破坏。碱性盐胁迫作用下根系中Na⁺所占比例增幅较小, 可能是Na⁺含量趋于饱和, 转而向地上叶片部分运输。根系中K⁺、Mg²⁺含量占比略有降低, 而Ca²⁺含量占比增加显著, 可能是碱性盐胁迫限制了Ca²⁺向地上部分运输, 从而使其在根系中大量积累。

比较发现, 回交导入系材料(株系)JE、JH1、JH2、JI1、JI2叶片中Na⁺含量所占TC和MC比例均

表4 碱性盐胁迫对水稻叶片、根系中总阳离子(TC)和单价阳离子(MC)及其元素组成百分比的影响

组织	品种	盐碱处理 (mmol/L)	总阳离子含量($\mu\text{mol/g}\cdot\text{FW}$) 及其组成元素百分比(%)					单价阳离子含量($\mu\text{mol/g}\cdot\text{FW}$) 及其组成元素百分比(%)		
			TC	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	MC	Na ⁺	K ⁺
叶片	JJ	0	703.9	28.5	45.3	9.2	17.0	519.7	38.7	61.3
		50	1 384.6	76.5	12.5	2.4	6.6	1 232.2	86.0	14.0
	JE	0	663.2	26.4	46.5	9.9	17.1	484.0	36.2	63.8
		50	1 302.0	72.7	14.8	3.7	7.7	1 139.9	83.1	16.9
	JH1	0	699.0	23.6	48.4	9.7	18.2	503.6	32.8	67.2
		50	1 298.0	66.2	19.1	4.9	9.6	1 107.3	77.6	22.4
	JH2	0	680.0	29.3	47.9	7.9	14.9	524.9	37.9	62.1
		50	1 186.5	67.7	19.6	4.1	9.3	1 036.0	77.6	22.4
	JI1	0	508.9	7.4	57.3	15.6	19.6	329.4	11.5	88.5
		50	937.2	61.5	21.1	6.7	10.8	774.2	74.4	25.6
	JI2	0	648.2	13.9	57.0	11.7	17.4	459.8	19.6	80.4
		50	1 088.7	61.0	23.8	4.8	10.1	923.8	71.9	28.1
根系	JJ	0	742.5	74.3	11.0	5.8	8.9	633.3	87.1	12.9
		50	900.0	80.7	1.9	10.0	7.2	743.5	97.7	2.3
	JE	0	855.3	76.3	12.2	4.5	7.0	757.0	86.2	13.8
		50	1 012.6	81.8	2.8	9.5	6.0	856.3	96.7	3.3
	JH1	0	857.5	79.4	9.3	4.2	7.1	760.5	89.5	10.5
		50	1 066.8	80.3	2.7	11.3	6.2	885.6	96.7	3.3
	JH2	0	716.9	77.2	8.6	6.1	8.0	615.4	90.0	10.0
		50	835.2	78.0	2.6	12.5	7.4	673.3	96.8	3.2
	JI1	0	705.0	73.5	12.8	5.5	8.3	608.3	85.1	14.9
		50	757.0	73.1	2.1	17.1	7.5	569.4	97.2	2.8
	JI2	0	796.9	72.7	13.8	5.1	8.4	689.2	84.1	15.9
		50	900.2	77.1	1.7	13.8	6.4	709.3	97.9	2.1

低于JJ,这说明它们具有较强的限制Na⁺吸收和向叶片运输的能力,这与其在耐盐碱筛选过程中表现的较强耐盐碱性是相一致的^[11]。

3 讨论

水稻是我国乃至全世界重要的粮食作物之一,其耐盐碱性受多种因素影响,明确其耐盐碱机理,培育和选择耐盐碱作物品种,合理调控土壤和环境因子,对于提高水稻抗逆性,确保高产、稳产具有重要意义。

苗期通常是作物对盐胁迫最敏感的时期,盐胁迫下外界Na⁺大量进入植株,使组织内总阳离子含量显著增加,造成植株体内营养元素的比例失调,营养元素比例失调和高浓度的单价阳离子抑制幼苗生长,是导致盐害的主要原因之一^[8]。本研究发现,水稻幼苗在碱性盐胁迫下,Na⁺在植株体内大量积累,总阳离子含量(TC)及单价阳离子含量(MC)明显增加,叶片中Na⁺所占比例也大

幅度增加,最终导致盐害的发生。

与植物的拒盐机制密切相关的是植物对无机离子的选择吸收,尤其是K⁺/Na⁺的选择吸收^[14]。Gorham^[15]认为所有植物都在一定程度上具有选择吸收Na⁺或K⁺的功能。对于非盐生植物,很多选择吸收K⁺而排斥Na⁺,尤其在细胞质中,利用较高浓度的K⁺进行渗透调节,以提高抗盐性^[16]。研究表明,在盐碱胁迫下,耐盐燕麦品种较不耐盐燕麦品种吸收的Na⁺总量低,吸收的K⁺总量高^[9]。本研究发现,盐碱胁迫下水稻幼苗体内K⁺含量降低,Na⁺含量显著增加,K⁺/Na⁺比大幅度下降,离子平衡遭到严重破坏。但是,比较不同部位的K⁺/Na⁺比,叶片的K⁺/Na⁺比相对较高,耐盐碱材料JE、JH1、JH2、JI1、JI2的K⁺/Na⁺比高于普通品种JJ。这与前人的研究结果相同^[10],表明在盐碱胁迫下,植株通过离子分配运输来首先保证叶片等幼嫩组织维持较高的K⁺/Na⁺,从而少受盐害。

盐碱胁迫严重影响了植物矿质元素的吸收,

其原因可能是盐离子损伤了膜的功能,外界高浓度 Na^+ 显著降低了 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mn^{2+} 等离子活度^[17-18],并且,具有高度活性的单价离子(Na^+ 、 Cl^-)竞争一些必需营养元素(如 K 、 Ca 、 Mg 、 P 等)在膜上的转运位点^[19-21]。盐胁迫下,坪山柚实生苗根及地上部 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 含量均下降, Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 含量的变化因器官而异^[22]。本研究发现,碱性盐胁迫下,水稻幼苗 Mo^{2+} 在根系中含量增加,而在叶片中降低; Mn^{2+} 在植株体内含量降低,以根系中降幅尤其显著; Mg^{2+} 未见显著变化; Ca^{2+} 含量在叶片中略有下降,而根系大幅升高,这与萨如拉等^[9]研究结果相同,表明盐碱胁迫未影响水稻幼苗根系对 Ca^{2+} 的吸收,但是限制了 Ca^{2+} 由木质部运输到叶片。相较普通作物,耐盐作物通常保持较高的 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 比^[13],本研究证实了这点,耐盐碱性较强的回交导入系材料(品系)JE、JH1、JH2、JI1、JI2叶片的 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 均高于回交亲本JJ(吉粳88),JI1和JJ的 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 达到显著性差异。

研究发现,水稻幼苗 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 在根系中分布较多,碱性盐胁迫下植株 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 含量总体呈增加趋势,表明盐碱胁迫促进了Zn和Fe元素的吸收。 Fe^{2+} 是Fe血红素和高Fe血红素的辅基, Zn^{2+} 是SOD酶的辅基,陈亚华分析认为棉花幼苗对 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 跨膜转运似乎与 Na^+ 并不存在竞争性的抑制^[8]。徐建明研究表明^[23],Zn元素和Ca元素的添加可以减轻盐胁迫对水稻叶片光合结构造成的破坏。推测水稻幼苗体内Fe、Zn及Ca元素含量的增加可能与超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)等保护酶类活性变化有关。

参考文献:

- [1] 张磊,侯云鹏,王立春.盐碱胁迫对植物的影响及提高植物耐盐碱性的方法[J].东北农业科学,2018,43(4):11-16.
- [2] 韩春爽,武俊男,秦治家.吉林西部不同种植年限水稻土酸缓冲性能研究[J].东北农业科学,2016,41(2):56-61.
- [3] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance[J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59(1):651.
- [4] 王仁雷,华春,刘友良.盐胁迫对水稻光合特性的影响[J].南京农业大学学报,2002,25(4):11-14.
- [5] 刘晓龙,徐晨,徐克章,等.盐胁迫对水稻叶片光合作用和叶绿素荧光特性的影响[J].作物杂志,2014(2):88-92.
- [6] Ghoulam C, Foursy A, Fares K. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars[J]. Environmental & Experimental Botany, 2002, 47(1): 39-50.
- [7] 许祥明,叶和春,李国华.植物抗盐机理的研究进展[J].应用与环境生物学报,2000,6(4):379-387.
- [8] 陈亚华,沈振国,刘友良,等.NaCl胁迫下棉花幼苗的离子平衡[J].棉花学报,2001,13(4):225-229.
- [9] 萨如拉,刘景辉,刘伟,等.碱性盐胁迫对燕麦矿质离子吸收与分配的影响[J].麦类作物学报,2014,34(2):261-266.
- [10] 陈惠哲, Natalia Ladatko, 朱德峰,等.盐胁迫下水稻苗期 Na^+ 和 K^+ 吸收与分配规律的初步研究[J].植物生态学报,2007,31(5):937-945.
- [11] 孟丽君,林秀云,崔彦茹,等.利用高代回交导入群体进行水稻耐盐碱鉴定与筛选[J].分子植物育种,2010,8(6):1142-1150.
- [12] Zhu J K. Regulation of ion homeostasis under salt stress[J].Current Opinion in Plant Biology, 2003, 6: 441-445.
- [13] Yang F, Ding F, Du T Z. Absorption and allocation characteristics of K^+ , Ca^{2+} , Na^+ and Cl^- indifferent organs of *Broussonetia papyrifera* seedlings under NaCl stress[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(4): 767-772.
- [14] Khatun S, Flowers T J. Effect of salinity on seed set in rice[J]. Plant Cell Environ, 1995, 18:61-87.
- [15] Gorham J. Genetics and physiology of enhanced K^+/Na^+ discrimination. In: Randall P ed. Genetic aspects of plant mineral nutrition[M]. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993: 151-159.
- [16] Hajibagheri M A, Yeo A R, Flowers T J, et al. Salinity resistance in *Zea mays*: fluxes of potassium, sodium and chloride, cytoplasmic concentrations and microsomal membrane lipids[J]. Plant Cell Environ, 1989, 12: 753-757.
- [17] Cramer G R, Lauchli A, Epstein E. Effects of NaCl and CaCl_2 on ion activities in complex nutrient solutions and root growth of cotton [J]. Plant Physiol, 1986, 81: 792-797.
- [18] Shennan C, Schachtman D P, Cramer G R. Variation in [^{35}Se] selenate uptake and partitioning among tomato cultivars and wild species[J]. New Phytol, 1990, 115: 523-530.
- [19] Niu X M, Bressan R A, Hasegawa P M, et al. Ion homeostasis in NaCl stress environments [J]. Plant Physiology, 1995, 109: 735-742.
- [20] Cramer G R, Epstein E, Lauchli A. Effects of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. II. Elemental analysis [J]. Physiol Plant, 1991, 81: 197-202.
- [21] Epstein E. The essential role of calcium in selective cation transport by plant cells [J]. Plant Physiol, 1961, 36: 437-444.
- [22] 马翠兰,刘星辉,王湘平,等.盐胁迫下柚实生苗生长、矿质营养及离子吸收特性研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(3):319-323.
- [23] 徐建明,李才生,毛善国,等.锌营养对盐胁迫下水稻幼苗叶片细胞膜和叶绿素荧光特性的影响[J].安徽农业科学,2008,36(1):119-121.

(责任编辑:刘洪霞)