

# 水稻耐盐机理的研究<sup>\*</sup>

## I. 不同基因型植株水平耐盐性初步比较

严小龙 郑少玲 连兆煌

(作物营养与施肥研究室)

**摘要** 本文比较了外部形态和基本特性相似、而耐盐性有显著差异的3组共6个水稻基因型苗期对NaCl胁迫的不同反应,以盐害程度评级、相对生物量和鲜/干值等作为生长指标进行比较,证实耐盐基因型的耐盐程度显著地高于其对应的盐敏感基因型。分析了水稻植株的Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量,发现在NaCl胁迫下,耐盐基因型地上部的Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量分别显著地低于其对应的盐敏感基因型。相关分析结果表明了稻株地上部的Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量分别与上述三项生长指标高度相关,表明植株地上部Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量可以作为水稻苗期耐盐性的一个生理指标。

**关键词** 耐盐性; NaCl胁迫; 生理指标; 水稻

世界上种植的相当一部分水稻,由于其土壤受到不同程度的盐害影响而使产量难以提高。因此,对水稻耐盐性的改良是当今的重要研究课题<sup>[1,6]</sup>。近年来,国内外的科学家在植物耐盐机理方面已做了一些研究工作<sup>[3,12,17]</sup>,指出植物在盐胁迫下的相对耐盐性主要取决于渗透调节和离子分隔能力的大小。对于非盐生植物,后一种机理可能在决定植物耐盐能力方面起着主导作用。植物的相对耐盐能力主要与地上部对盐分离子的排斥能力有关<sup>[13,14,15]</sup>。水稻也有类似的趋势,即水稻地上部对盐分离子的排斥能力愈强,其相对耐盐性愈高<sup>[4,8,9]</sup>。然而,这种相关关系还未能被确定<sup>[18]</sup>,需要进行工作予以探讨。

本试验选择了基本性状相似、而耐盐性有显著差异的3组共6个水稻基因型作为比较研究材料。通过观察它们对NaCl胁迫的反应和分析植株Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量,探讨水稻地上部对Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>的排斥作用能否作为水稻苗期耐盐性的一个生理指标。

## 1 材料和方法

选用国际水稻研究所(IRRI)已确定耐盐性状的3组籼稻品种(系): I. Pokkali(耐盐)、Peta(盐敏感); II Nona Bokra(耐盐,简称N.B.)、Mas(盐敏感); III IR29725-25-2 2-3-3-3(中等耐盐,简称IR29725)、IR5(盐敏感)。各组内两个基因型的基本性状相似,但耐盐性有显著差异。

在玻璃网室内,自然光温条件下,采用国际水稻研究所推荐的常规营养液<sup>[1]</sup>培育水稻幼苗。28天后,对常规营养液分别作0, 5, 50, 100mmol<sup>-1</sup>NaCl 4个盐处理,培育秧龄28天,具有4~5片叶的水稻幼苗。每一处理3次重复,每个重复中每个基因型各有15棵苗。按随机区组方式排列。盐处理12天后,首先对水稻幼苗进行盐害程度评级<sup>[16]</sup>,然后分别收获水稻的地上部与根部,称其鲜重,然后烘干称其干重。干样粉碎后,对水稻地上部和根部

\* 国家自然科学基金资助项目。

1992-02-20 收稿

的 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量分别进行分析。Na<sup>+</sup>用 1molL<sup>-1</sup>HCl 浸提，JF12-1B 型火焰光度计测定<sup>[5]</sup>；Cl<sup>-</sup>用灰化，硝酸银滴定法测定<sup>[3]</sup>。并分别以盐害级值、相对生物量、相对鲜/干值这几项生长指标为参比项，分析 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量与这些参比项的相关关系。

## 2 试验结果

### 2.1 NaCl 胁迫对不同基因型水稻生长的影响

#### 2.1.1 不同基因型盐害程度外观评价

表 1 结果表明，只有高盐浓度（50 和 100mmolL<sup>-1</sup>NaCl）处理才对各水稻基因型有不同程度的伤害，其伤害程度又以盐敏感基因型的较严重。

表 1 3 组基因型水稻苗期盐害程度级值（盐处理后 12 天）

NaCl 浓度 mmolL <sup>-1</sup>	I		II		III	
	Pokkali*	Peta	N. B. *	Mas	IR29725*	IR5
0	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
50	1.7	3.7	1.7	2.5	2.3	3.3
100	2.8	5	3	4	3.3	4.3

注 盐害程度级值按地上部受害程度自小到大分 1~5 级<sup>[6]</sup>；右上角具“\*”号的为耐盐水稻基因型；表中数字为 3 次重复的平均数。

#### 2.1.2 NaCl 胁迫对各基因型相对生物量的影响

图 1 显示，高盐浓度（50 和 100mmolL<sup>-1</sup>NaCl）对水稻生长有不良影响，其中不同基因型的水稻对高浓度盐的忍耐能力有所不同。以相对于 0 mmolL<sup>-1</sup>处理时的百分生物量来比较，耐盐基因型生物产量的减少程度低于其对应的盐敏感基因型，这种趋势在地上部尤为明显。

#### 2.1.3 NaCl 胁迫对各基因型鲜/干值的影响

表 2 不同 NaCl 浓度处理对各基因型鲜/干值的影响

水稻 基因型	NaCl 浓度 (mmolL <sup>-1</sup> )							
	0		5		50		100	
	地上部	根部	地上部	根部	地上部	根部	地上部	根部
I Pokkali*	6.40	7.08	6.41 (100.1*)	8.46 (119.4*)	5.40 (84.4*)	6.80 (96.0*)	4.94 (75.4*)	7.07 (99.9*)
	Peta	5.89	9.12	5.64 (95.7*)	7.25 (79.4*)	3.69 (62.7*)	8.68 (95.2*)	2.77 (47.5*)
II N. B. *	6.29	7.77	6.13 (97.4*)	9.95 (122.9*)	5.02 (79.4*)	7.65 (98.5*)	4.68 (74.6*)	7.94 (102.1*)
	Mas	6.07	8.18	6.05 (99.6*)	9.82 (120.0*)	4.89 (80.3*)	8.05 (98.3*)	3.55 (59.0*)
III IR29725*	5.88	7.88	5.59 (95.1*)	7.46 (94.7*)	4.62 (78.0*)	8.8 (111.8*)	3.83 (64.4*)	6.47 (82.1*)
	IR5	5.76	6.88	6.12 (106.2*)	9.80 (142.4*)	4.66 (81.0*)	9.21 (133.9*)	3.76 (65.5*)

注 括号里的数字为相对于 0 mmolL<sup>-1</sup>处理的百分比 (%)；同一组数字右上角字母相同时表示差异不显著 (t 检验, P=0.05)；其它如表 1。

表2表明,高盐浓度(50和100mmolL<sup>-1</sup>NaCl)对地上部鲜/干值影响很大,不同基因型的地上部鲜/干值受盐胁迫影响的程度不同。在100mmolL<sup>-1</sup>NaCl时,3组基因型中的耐盐基因型地上部的相对鲜/干值分别为75.4%,74.6%和64.4%,盐敏感基因型受到的影响较大,其相对鲜/干值分别为49.5%,59.0%和65.5%。

盐胁迫对于根部鲜/干值的影响较小,不同基因型之间的差异也不大。

## 2.2 NaCl胁迫下水稻累积Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>的基因型差异

表3表明,经0和5mmolL<sup>-1</sup>NaCl处理,耐盐基因型与盐敏感基因型之间地上部Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量的差异不是很大。而经50和100mmolL<sup>-1</sup>NaCl处理,在地上部Na<sup>+</sup>含量方面,Peta分别是Pokkali的3.7和4.3倍,Mas是N.B.的1.7和3.5倍,IR5是IR29725的2.3和1.3倍;在地上部Cl<sup>-</sup>含量方面,Peta分别是Pokkali的3.2和3.6倍,Mas是N.B.的1.5和3.1倍,IR5是IR29725的2.1和1.4倍。可见,不同基因型之间的差异很大,盐敏感基因型的地上部Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量显著地高于耐盐基因型的含量。

从表3还看出,在高盐浓度(50和100mmolL<sup>-1</sup>NaCl)胁迫下,除了个别情况外,盐敏感基因型根部的Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量均比对应的耐盐基因型低,显示了不同基因型之间根部Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量的差异与地上部不同的趋势。

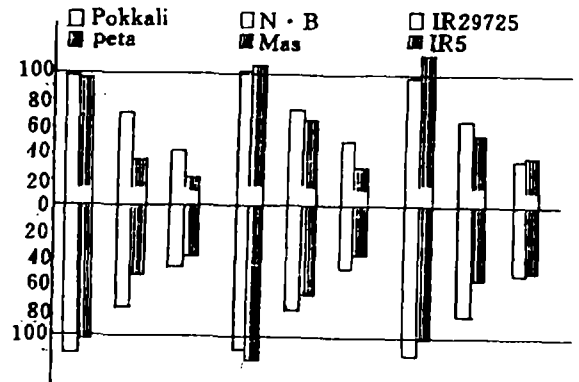


图1 不同水稻基因型在不同NaCl浓度(单位: mmolL<sup>-1</sup>)下的相对生物量

表3 不同NaCl浓度下各基因型水稻累积Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>的情况(μmol/g鲜重)

水稻 基因型	地上部								根部							
	0 mmolL <sup>-1</sup>		5 mmolL <sup>-1</sup>		50 mmolL <sup>-1</sup>		100 mmolL <sup>-1</sup>		0 mmolL <sup>-1</sup>		5 mmolL <sup>-1</sup>		50 mmolL <sup>-1</sup>		100 mmolL <sup>-1</sup>	
	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
Pokkali	15.5 <sup>a</sup>	52.0 <sup>a</sup>	27.4 <sup>b</sup>	59.1 <sup>a</sup>	136.5 <sup>a</sup>	137.5 <sup>b</sup>	280.5 <sup>b</sup>	259.2 <sup>b</sup>	49.5 <sup>a</sup>	19.1 <sup>a</sup>	55.9 <sup>a</sup>	32.2 <sup>a</sup>	116.8 <sup>a</sup>	85.4 <sup>a</sup>	123.5 <sup>a</sup>	72.8 <sup>a</sup>
Peta	20.4 <sup>a</sup>	34.5 <sup>a</sup>	51.5 <sup>a</sup>	51.0 <sup>a</sup>	508.1 <sup>a</sup>	439.9 <sup>a</sup>	1200.8 <sup>a</sup>	937.4 <sup>a</sup>	23.6 <sup>b</sup>	24.8 <sup>b</sup>	52.6 <sup>b</sup>	39.5 <sup>b</sup>	68.3 <sup>b</sup>	49.6 <sup>b</sup>	79.9 <sup>b</sup>	50.7 <sup>b</sup>
N.B.	9.5 <sup>a</sup>	44.9 <sup>a</sup>	16.2 <sup>a</sup>	63.9 <sup>a</sup>	104.6 <sup>b</sup>	111.8 <sup>b</sup>	190.9 <sup>b</sup>	190.1 <sup>b</sup>	39.0 <sup>b</sup>	27.6 <sup>b</sup>	53.0 <sup>b</sup>	36.1 <sup>b</sup>	104.9 <sup>b</sup>	73.0 <sup>b</sup>	118.3 <sup>b</sup>	76.4 <sup>b</sup>
Mas	11.3 <sup>a</sup>	42.5 <sup>a</sup>	22.0 <sup>a</sup>	59.5 <sup>a</sup>	182.6 <sup>b</sup>	166.7 <sup>b</sup>	674.0 <sup>b</sup>	595.8 <sup>b</sup>	42.4 <sup>b</sup>	17.2 <sup>b</sup>	44.6 <sup>b</sup>	24.4 <sup>b</sup>	95.9 <sup>b</sup>	51.6 <sup>b</sup>	112.9 <sup>b</sup>	54.4 <sup>b</sup>
IR29725	10.9 <sup>a</sup>	35.2 <sup>a</sup>	19.8 <sup>a</sup>	63.5 <sup>a</sup>	131.7 <sup>b</sup>	131.7 <sup>b</sup>	438.1 <sup>b</sup>	384.6 <sup>b</sup>	33.0 <sup>b</sup>	21.0 <sup>b</sup>	49.6 <sup>b</sup>	24.0 <sup>b</sup>	83.3 <sup>b</sup>	54.7 <sup>b</sup>	119.0 <sup>b</sup>	67.8 <sup>b</sup>
IR5	24.5 <sup>a</sup>	46.1 <sup>a</sup>	41.4 <sup>a</sup>	47.8 <sup>a</sup>	308.6 <sup>b</sup>	271.8 <sup>b</sup>	570.8 <sup>b</sup>	523.4 <sup>b</sup>	48.6 <sup>b</sup>	20.1 <sup>b</sup>	48.6 <sup>b</sup>	27.3 <sup>b</sup>	94.5 <sup>b</sup>	56.5 <sup>b</sup>	104.4 <sup>b</sup>	59.4 <sup>b</sup>

注 “\*”为培养液中NaCl浓度;其它如表2。

## 2.3 水稻Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量与其耐盐性的相关关系

表4表明,在NaCl胁迫(50和100mmolL<sup>-1</sup>NaCl)的情况下,地上部的Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量均分别与上述三项生长指标高度相关:与盐害程度级值呈正相关;与相对生物量和相对鲜/干值呈负相关。根部的Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量与上述生长指标的相关关系则缺乏明显的规律性。

表4 水稻植株  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  含量与几项生长指标的相关系数

生长指标	NaCl 浓度 (mmolL <sup>-1</sup> )	地上部		根部	
		$\text{Na}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{Cl}^-$
盐害程度 级 值	5				
	50	0.9276**	0.9186**		
	100	0.352**	0.9542**		
相 对 生物量	5	0.1120	-0.4866	-0.2474	-0.5448
	50	-0.9828**	-0.9830**	0.4844	0.5273
	100	-0.9362**	-0.9382**	0.4951	0.6676
相 对 鲜/干值	5	0.2351	-0.5887	-0.2069	-0.3537
	50	-0.8312*	-0.8396*	-0.0747	-0.3125
	100	-0.9722**	-0.9726**	0.2712	-0.1382

注 当  $n=6-2=4$  时,  $P_{0.05}=0.8114$ , 显著相关(\*);  $P_{0.01}=0.9172$ , 极显著相关(\*\*).

### 3 讨论

#### 3.1 供试水稻基因型的耐盐性差异

水稻的耐盐性可能是一个由多基因控制的, 具有数量性状特征的生理性状<sup>[10]</sup>。因此, 在进行水稻的耐盐性比较研究中, 理想的对比材料应是基本性状相似, 但耐盐性有显著差异的不同基因型, 这样可以避免其他性状产生的交互作用的干扰, 从而判断不同基因型在一些生理生化过程方面的差异是否确实与耐盐性有关。为此, 我们特意采用了国际水稻研究所提供的3组水稻品种(系), 每组中的2个品种(系)基本性状相似, 而耐盐性有显著差异。

水稻苗期是对盐害反应最敏感的时期<sup>[7]</sup>。本试验用盐害程度级值、相对生物量和相对鲜/干值等几项指标测定了供试各基因型水稻苗期对盐(NaCl)胁迫的不同反应。结果证实, 每组内2个基因型在耐盐程度方面确实存在着显著的差异, 说明我们采用这些材料进行水稻耐盐性机理的研究是合理的。结果还显示, 不同基因型之间在耐盐性方面的差异主要表现在地上部方面的差异, 根部方面的差异不明显。说明水稻苗期地上部对盐害的反应比根部更为敏感。

#### 3.2 不同基因型水稻植株体内对 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 累积的差异及其与苗期耐盐性的关系

以往的试验指出, 虽然水稻对 NaCl 的吸收累积与其相对耐盐性的负相关关系可以大体上成立, 但这种趋势尚不稳定, 在不同的品种之间或在同一品种的不同个体之间存在很大的变异, 因而未能被确定为衡量水稻耐盐性的一个稳定的指标<sup>[11,17]</sup>。Yeo 和 Flowers (1984) 把水稻品种间或个体间在  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  吸收累积方面的变异性归咎于现有水稻品种的非同质性, 非同质性使得水稻的不同个体存在着性状分化变异的可能性。一些未经过长期选择, 尚未稳定的性状更是如此。对于一般的栽培稻品种, 一些营养性状(如  $\text{K}^+$  的吸收累积能力) 在较长的栽培历史中得到了自然选择, 因此较为稳定, 而  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  的吸收累积尚

未经过长期选择,因此稳定性较差而表现出较大的差异。

据此有理由推断,如果 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Cl}^-$ 的吸收累积确实是与水稻耐盐性密切相关的一种特性,而且这种特性是可遗传的,那么在经过多代的选择压之后,水稻对 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Cl}^-$ 的吸收累积将会逐渐成为一个稳定的性状。本试验的结果验证了如上推断;在盐胁迫的情况下,经过多代选择,具有稳定耐盐性的品种 Pokkali 和 N. B. 地上部的 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Cl}^-$ 累积量分别显著地低于它们对应的盐敏感品种 Peta 和 Mas,另一个中等耐盐品系 IR29725 与它对应的盐敏感品种 IR5 地上部 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Cl}^-$ 累积量方面的差异也有这种趋势,但由于 IR29725 的耐盐性尚不稳定,因而在高盐浓度( $100\text{mmolL}^{-1}\text{NaCl}$ )胁迫下,两个基因型之间的差异未达到显著的水准。

从总体上看,相关分析的结果显示了水稻地上部的 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 含量与苗期耐盐性呈显著的负相关关系,说明了地上部对 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Cl}^-$ 的排斥作用与水稻的耐盐性呈高度相关,可以作为水稻苗期耐盐性的一个生理指标。然而,地上部对 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 的排斥作用是通过什么机理来实现的?是减少根系对 $\text{NaCl}$ 的吸收,还是控制了 $\text{NaCl}$ 从根部向地上部的运转?控制的关键部位在哪里?这些问题目前尚未得到回答,有待进一步的研究探讨。

#### 参 考 文 献

- 1 西北农学院,华南农学院主编,农业化学研究法。北京:农业出版社,1980,83
- 2 刘友良等。植物耐盐性研究进展。植物生理学通讯,1987(4),1~7
- 3 吉田昌一等著,北京市农业科学院作物研究所资料情报组译。水稻生理学实验手册。北京:科学出版社,1975.36~38
- 4 汪宗立等。水稻耐盐性的生理研究。I 盐逆境下水稻品种间水分关系和渗透调节的差异。江苏农业学报,1986,2(3),1~11
- 5 张粹雯。钠和钾离子的测定。A:火焰光度法。见:中国土壤学会农业化学专业委员会编。土壤农业化学常规分析方法。北京:科学出版社,1984,216~217
- 6 翟凤林、曹鸣庆等编译。植物的耐盐性及其改良。北京:农业出版社,1989,1~7
- 7 Akbar M. and Ponnampereuma F N. Saline soil of South and Southeast Asia as potential rice Lands. In: Rice Research Strategies for the Future. IRRI. 1982. 265~281
- 8 Arjunan A. et al. Tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) in relation to salt uptake and yield. Indian J Plant Physiol, 1988, 16(4), 403~406
- 9 Bajwa W S. A study on the salt and sodium tolerance of rice. J Agric Sci. 1982, 98, 475~482
- 10 Epstein E and Rains D W. Advance in salt tolerance. Plant and Soil, 1987, 99, 17~29
- 11 Flowers T J and Yeo A R. Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa*) varieties. New Phytol, 1981, 88, 363~373
- 12 Greenway H and Rana Munns. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Ann Rev Plant Physiol, 1980, 31, 149~190
- 13 Lauchli A. Salt exclusion, A Adaptation of legume for crop or pastures under saline conditions. In: Salt tolerance in Plant Strategies for Crop Improvement. New York, Wiley Interscience. 1984. 171~188
- 14 Storey R and Wyn Jones R G. Salt stress and comparative physiology in the Gramineae. I. Ion relations of two salt—and water—stressed barley cultivars, California mariout and arimar. Aust J Plant Physiol, 1978, 5, 801~816
- 15 Storey R and Wyn Jones R G. Salt stress and comparative physiology in the Gramineae. II, Effects of salinity upon ion relations and glycine—betain and proline levels in *Spartina Townsendii*. Aust J Plant Physiol, 1987,

- 5: 831~838
- 16 Yan Xiaolong and Tan Kezheng. Screening rice varieties for salt tolerance in the greenhouse. International Rice Research Newsletter. 1991, 16 (1): 16~17
- 17 Yeo A R and Flowers T J. Mechanisms of salinity resistance in rice and their role as physiological criteria in plant breeding. In: Salinity Tolerance in Plant—Strategies for Crop Improvement. New York: Wiley Interscience. 1984. 151~170
- 18 Yeo A R and Flowers T J. Salinity resistance in rice (*Oryza sativa* L.) and a pyramiding approach to breeding varieties for saline soils. Aust J plant Physiol, 1986, 13: 161~173

#### STUDIES ON THE MECHANISMS OF SALT TOLERANCE IN RICE I. COMPARISONS OF WHOLE—PLANT SALT TOLERANCE AMONG DIFFERANT GENOTYPES

Yan Xiaolong Zheng Shaoling Lian Zhaohuang

(Research Lab of Crop Nutrition and Fertilizer)

**Abstract** Three pairs of rice genotypes, each pair having similar general characters but marked differences in salt tolerance, were compared in terms of seedling responses to NaCl stress. Based on such growth indices as appearance evaluation of salt damage, relative biomass and fresh/dry matter ratios, it was confirmed that the salt—tolerance genotypes indeed outdid their salt—sensitive counterparts. It was found from plant tissue analysis that  $\text{Na}^+$  or  $\text{Cl}^-$  content in the shoot of salt—tolerant genotypes was significantly lower than those of salt—sensitive genotypes. Correlation analysis showed that the  $\text{Na}^+$  or  $\text{Cl}^-$  content in the shoot was highly correlated to the above growth indices, indicating that  $\text{Na}^+$  and/or  $\text{Cl}^-$  content in the shoot can be used as a physiological index of salt tolerance in rice seedlings.

**Key words** Salt tolerance; NaCl stress; Physiological index; rice