

## 叶片淋洗对玉米耐盐性影响机理的研究\*

夏阳<sup>1</sup> 林杉<sup>2</sup> 张福锁<sup>2</sup> 李杰<sup>2</sup> 胡恒觉<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>甘肃农业大学园艺系, 甘肃兰州 730070; <sup>2</sup>中国农业大学植物营养系, 北京 100094)

**摘要** 叶片淋洗和NaCl胁迫对液培条件下不同抗盐性玉米品种生长和体内矿质营养含量的影响。研究表明: 随NaCl浓度提高, 玉米生物量下降; 叶片淋洗可提高低盐(100 mmol/L NaCl)浓度下盐敏感玉米品种的生物量。随NaCl浓度的提高, 两品种玉米的电导率均明显升高; 高盐(200 mmol/L NaCl)浓度下, 耐盐品种的电导率低于盐敏感品种, 同时淋洗处理的电导率明显低于对照(不淋洗); 随NaCl浓度的提高, 叶绿素含量下降, 酸性(pH 3.5)淋洗液降低耐盐品种高盐胁迫下的叶绿素含量, 对其它淋洗处理的叶绿素含量没有明显影响。随NaCl胁迫的增加: (1) 茎叶 $K^+$ 、 $Zn^{+2}$ 、 $Ca^{+2}$ 和 $Na^+$ 含量增加, 根系 $K^+$ 含量下降, 耐盐品种的 $K^+$ 含量高于盐敏感品种, 根系的 $Na^+$ 含量则没有明显变化; (2) 根系 $Ca^{+2}$ 和 $Zn^{+2}$ 含量盐敏感品种增加, 耐盐品种没有变化; (3) 对两品种茎叶和根系 $Mg^{+2}$ 含量及茎叶 $Fe^{+2}$ 含量没有产生影响, 根系 $Fe^{+2}$ 含量明显高于茎叶; 同一盐浓度下, 抗盐品种茎叶的 $Fe^{+2}$ 含量高于盐敏感品种。淋洗使茎叶 $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{+2}$ 和 $Zn^{+2}$ 含量下降, 对 $Mg^{+2}$ 含量没有影响; 酸性淋洗液降低盐敏感品种的茎叶 $Fe^{+2}$ 含量, 对抗盐品种的 $Fe^{+2}$ 含量没有影响; 叶片淋洗对根系矿质养分含量没有明显影响。

**关键词** 叶片淋洗; 盐胁迫; 生长; 矿质营养

## Studies of Mechanism of Maize Salt-Resistance Affected by Foliar Leaching

XIA Yang<sup>1</sup> LIN Shan<sup>2</sup> ZHANG Fu-Suo<sup>2</sup> LI Jie<sup>2</sup> HU Heng-Jue<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Department of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; <sup>2</sup>Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** The impact of foliar leaching on growth and mineral nutrition contents of different salt-resistant maize varieties under NaCl stress was investigated. The results showed that with the increasing of NaCl concentration from 100 to 200 mmol/L, shoot and root biomass decreased; foliar leaching could increase the biomass of salt sensitive maize under low NaCl stress (100 mmol/L). With the increasing of NaCl stress, the conductance ratio of maize increased significantly. The conductance ratio of salt-resistant maize was lower than that of salt-sensitive maize under high NaCl stress (200 mmol/L) and that of foliar leaching treatment was lower than that of no leaching treatment. With the increasing of NaCl stress, the contents of chlorophyll decreased and acidic leaching solution (pH 3.5) decreased the chlorophyll contents of salt-sensitive variety. With the increasing of NaCl stress, (1) the  $K^+$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  and  $Na^+$  contents of shoot increased and the  $K^+$  contents of root decreased. The  $K^+$  contents of salt-resistant vari-

\* 国家自然科学基金“淋洗对植物叶片质外体中养分平衡和植物生长的影响”项目(批准号: 3967034)和山东农业大学博士后资金资助。

作者现工作地址: 山东省林业科学研究所, 济南市文化东路42号, 250014。

收稿日期: 1999-07-22, 接受日期: 2000-01-06

Received on: 1999-07-22, Accepted on: 2000-01-06

ety were higher than that of salt-sensitive one. The  $\text{Na}^+$  contents of root remained unchanged; (2) the root  $\text{Ca}^{+2}$  and  $\text{Zn}^+$  contents of salt-sensitive variety increased and those of salt-resistance remained unchanged; (3) the  $\text{Mg}^{+2}$  contents of shoot and root and the  $\text{Fe}^{+2}$  contents of shoot remained unchanged. The  $\text{Fe}^{+2}$  contents of root were higher than that of shoot and under same  $\text{NaCl}$  stress the shoot  $\text{Fe}^{+2}$  contents of salt-resistance were higher than that of salt-sensitive one. Foliar leaching decreased the shoot  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  and  $\text{Zn}^{+2}$  contents and the shoot  $\text{Mg}^{+2}$  contents remained unchanged. A acidic leaching solution decreased the shoot  $\text{Fe}^{+2}$  contents of salt-sensitive variety and the root  $\text{Fe}^{+2}$  contents of salt-sensitive variety remained unchanged. Foliar leaching had no significant effect on mineral nutrition of root.

**Key words** Foliar leaching;  $\text{NaCl}$  stress; Growth; Mineral nutrition

研究已经证明: 叶片质外体在植物营养上起着重要作用, 如空气污染时的去毒<sup>[1]</sup>、植物的元素中毒和缺素症<sup>[2]</sup>、矿质营养的吸收、运输和贮藏<sup>[3]</sup>等。Munnis等<sup>[4]</sup>一致强调叶片质外体中盐分积累是植物盐害的主要原因, 而质外体中盐分的积累又是造成新叶生长速率减慢的主要原因。淋洗可从完整叶片的质外体中带走无机和有机物质<sup>[5]</sup>, 因而可以大胆假设: 叶片淋洗可以移去植物在盐胁迫条件下叶片质外体中积累的盐分离子, 从而减轻盐胁迫对植物的危害。淋洗现象在自然界广泛发生, 不同植物种类在淋洗物的量和种类之间存在差异, 同种不同品种的抗淋洗能力也不同<sup>[6]</sup>。在盐渍条件下, 植物体内的离子平衡发生变化, 作物之间由于抗盐性方面的差异, 不同作物品种之间的养分含量的变化就必然不同, 从而导致质外体中可被淋洗的离子也不同<sup>[5]</sup>。叶片质外体参与了细胞pH的调节<sup>[7]</sup>, 故淋洗液的pH值不同对淋洗效果将产生很大影响。随着工业化的发展, 自然降雨趋向酸化, 而在许多灌溉农田, 土壤次生盐渍化问题日益严重, 对作物生产造成严重威胁。高油115和综31是两个抗盐性差异明显的玉米品种, 不同浓度盐胁迫时, 前者绝对生长量大, 而后者相对生长量大(作者试验结果)。为此, 本试验以这两个玉米品种为试材, 探讨在盐胁迫条件下不同pH淋洗液淋洗对其生长和矿质营养的影响, 了解淋洗对于解除盐胁迫和植物体养分平衡的作用及其基因型间的差异。

## 1 材料与方 法

**1.1 供试作物** 选用盐敏感玉米(*Zea mays* L.)品种高油115(cv. Gaoyou 115, 简称为GY)和耐盐品种综31(cv. Zong31, 简称为Z31)作为试材(两品种抗盐性划分来自于作者所进行的玉米品种抗盐试验结果)。

**1.2 试验方法** 种子在0.3%的 $\text{H}_2\text{O}_2$ 中消毒15 min, 并在饱和 $\text{CaSO}_4$ 溶液中浸泡30 min, 然后移至石英砂中催芽。播种后第7d当幼苗长至5 cm高、叶片尚未展开时, 移至培养盆中(容积2L), 每盆6株, 重复3次, 在培养室条件下进行培养。培养液每3d更换一次, 依次变为水、半量、全量营养液, 其配方如下:  $\text{K}_2\text{SO}_4$  0.75  $\times 10^{-3}$ ,  $\text{MgSO}_4$  0.65  $\times 10^{-3}$ ,  $\text{KCl}$  0.1  $\times 10^{-3}$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  0.2  $\times 10^{-3}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.25  $\times 10^{-3}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  1  $\times 10^{-6}$ ,  $\text{MnSO}_4$  1  $\times 10^{-6}$ ,  $\text{CuSO}_4$  1  $\times 10^{-7}$ ,  $\text{ZnSO}_4$  1  $\times 10^{-6}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  5  $\times 10^{-9}$ ,  $\text{Fe-EDTA}$  1  $\times 10^{-4}$  mol/L。调节pH(6.0~6.2), 光照/黑暗周期为14/10 h, 光照强度为185~210  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 昼/夜温度分别为27~32/23~26。

**1.3 处理设计** 移栽后第9天进行加盐处理, 培养液 $\text{NaCl}$ 处理的浓度分别为100和200 mmol/L, 100 mmol/L处理的盐浓度一次到位, 200 mmol/L处理经过100、200 mmol/L的逐

日提高; 每个盐处理各设3个淋洗处理: 即CK(不淋洗)、pH7.0和pH3.5水淋洗, 淋洗液pH用 $H_2SO_4$ 和 $NaOH$ 调节, 由于在淋洗池中采用专门设计制作的盆盖并辅以相应的保护措施, 可完全防止淋洗液进入培养液中。盐胁迫的同日开始进行淋洗, 共淋洗22d, 每天早晚各淋洗1次, 每次5 min, 相当于4 mm降水, 水滴成弥漫雾状。采收时植株高50~60 cm(从茎的基部至最长叶片的叶尖), 有展开叶10片左右, 采收前2天测定叶绿素含量和电导率。植物样品在105℃下杀青15 min, 70℃下烘干, 磨碎备用。称取0.5g混匀的样品, 在550℃马福炉中灰化7~8h, 6 mol/L盐酸溶解并定容。

火焰光度计测 $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{+2}$ , 原子分光光度计测 $Mg^{+2}$ 、 $Fe^{+2}$ 和 $Zn^{+2}$ 。叶绿素的测定采用POC-1数显式叶绿素测定仪; 电导仪法测电导率。

## 2 结果与分析

**2.1 淋洗对叶片电导率、叶绿素含量和生物量的影响** 从表1看出: 随 $NaCl$ 浓度的提高, 两品种玉米的电导率均明显升高, 高盐浓度(200 mmol/L  $NaCl$ )下, 耐盐品种Z31电导率低于盐敏感品种GY, 这也体现了Z31抗盐性强的特性; 低盐浓度下, 两品种各淋洗处理间的电导率没有差异, 但在高盐浓度下, 淋洗处理的电导率明显低于对照, 由此可说明淋洗可减轻高盐胁迫的危害。

表1 叶片淋洗对 $NaCl$ 胁迫下玉米电导率、叶绿素和生物量的影响(%、毫克/平方米、克/盆)  
Table 1 Effect of foliar leaching on conductance ratio, chlorophyll and growth of maize under  $NaCl$  stress

基因型 Genotype	$NaCl$ mmol/L	淋洗处理 Leaching	电导率 Conductance ratio	叶绿素 Chlorophyll	地上鲜重 Shoot FW	地下鲜重 Root FW	地上部干重 Shoot DW	地下部干重 Root DW
高油	100	pH3.5	3.64 ± 1.1 <sup>*</sup> a	353 ± 12.3a	136.68 ± 18.2a	58.08 ± 7.6a	15.31 ± 2.5a	4.65 ± 0.7a
		pH7.0	4.97 ± 2.3ab	357 ± 13.9a	133.92 ± 15.2a	60.47 ± 7.9a	14.68 ± 2.2ab	4.87 ± 0.6a
		CK	3.06 ± 0.6a	341 ± 4.7a	110.82 ± 13.4b	40.61 ± 5.8b	12.20 ± 1.4b	3.37 ± 0.4b
	200	pH3.5	14.13 ± 4.9c	271 ± 25.1de	28.88 ± 7.7c	15.19 ± 3.4d	4.01 ± 1.1c	1.27 ± 0.3c
		pH7.0	15.43 ± 0.3c	258 ± 9.7e	22.92 ± 4.2c	16.37 ± 4.8d	3.04 ± 0.3c	1.17 ± 0.3c
		CK	21.12 ± 6.4d	253 ± 10.4e	17.53 ± 3.9c	13.45 ± 3.5d	2.76 ± 0.4c	0.99 ± 0.2c
综31	100	pH3.5	3.31 ± 0.2a	325 ± 8.3b	133.77 ± 8.1a	32.69 ± 5.0c	13.38 ± 2.6ab	3.04 ± 0.7b
		pH7.0	4.04 ± 1.0a	337 ± 10.4ab	121.53 ± 19ab	36.83 ± 6.4bc	12.25 ± 2.1b	3.21 ± 0.6b
		CK	2.92 ± 0.6a	336 ± 7.9ab	129.54 ± 15a	30.42 ± 7.0c	14.36 ± 1.8ab	2.71 ± 0.6b
	200	pH3.5	7.63 ± 1.9ab	259 ± 25.1e	19.46 ± 9.6c	9.57 ± 2.6d	3.28 ± 1.1c	0.81 ± 0.2c
		pH7.0	8.86 ± 1.4b	302 ± 3.9c	24.26 ± 2.1c	11.47 ± 0.8d	3.64 ± 0.3c	0.95 ± 0.1c
		CK	14.09 ± 3.2c	283 ± 6.3cd	14.31 ± 8.4c	9.09 ± 3.1d	3.02 ± 1.2c	0.71 ± 0.3c

注: 应用L. S. D. 法进行显著性检验, 字母不同者表示差异显著,  $P < 0.05$ (下同); \*: 平均数 ± 误差。

Note: The L. S. D. method was used after one-way ANOVA to test the significance of difference, means for the same testing items followed by the same letters are not significantly different at  $P < 0.05$  (the same for all figures). \*: mean ± SE.

随 $NaCl$ 浓度的提高, 叶绿素含量下降; 淋洗处理的叶绿素含量与对照(不淋洗)没有明显区别, 但耐盐品种Z31在200 mmol/L  $NaCl$ 胁迫下, pH3.5淋洗处理的叶绿素含量下降, 说明低盐(100 mmol/L  $NaCl$ )胁迫时, 不同pH淋洗液对玉米叶片叶绿素含量没有影响, 但在高盐(200 mmol/L  $NaCl$ )胁迫时, 酸性淋洗液可使耐盐品种叶片叶绿素含量下降。

随 $NaCl$ 浓度提高, 玉米生物量下降; 对于盐敏感品种GY, 在100 mmol/L  $NaCl$ 胁迫下淋洗处理的地上部生物量均高于对照; 在高盐胁迫下, 淋洗处理的生物量与对照没有区别; 淋洗对耐盐品种的生物量没有明显影响, 说明在低盐胁迫(100 mmol/L)状态下, 淋洗可减轻

盐敏感玉米品种的盐害。

### 2.2 淋洗对植株体内矿质养分含量的影响

2.2.1 对钾含量的影响 随NaCl胁迫的增加, 茎叶 $K^+$ 含量增加, 根系含量下降; 耐盐品种的 $K^+$ 含量高于盐敏感品种。与对照相比, 低盐浓度时, pH7.0淋洗处理使茎叶 $K^+$ 含量明显下降; pH3.5淋洗时没有明显变化, 说明茎叶 $K^+$ 的含量与淋洗液pH之间存在一定的正相关关系。高盐浓度处理时, 两品种淋洗处理的茎叶 $K^+$ 含量均表现明显下降, 这与高盐胁迫导致的细胞膜结构破坏而引起的细胞质外渗有关。淋洗对两个品种根系 $K^+$ 含量未产生明显影响, 说明叶片淋洗首先影响的是茎叶, 对地下部的影响是比较弱的。同时也看出地上部含量明显高于地下部, 这与高盐胁迫造成的地上部生长受阻, 矿质元素相对积累有关(图1)。

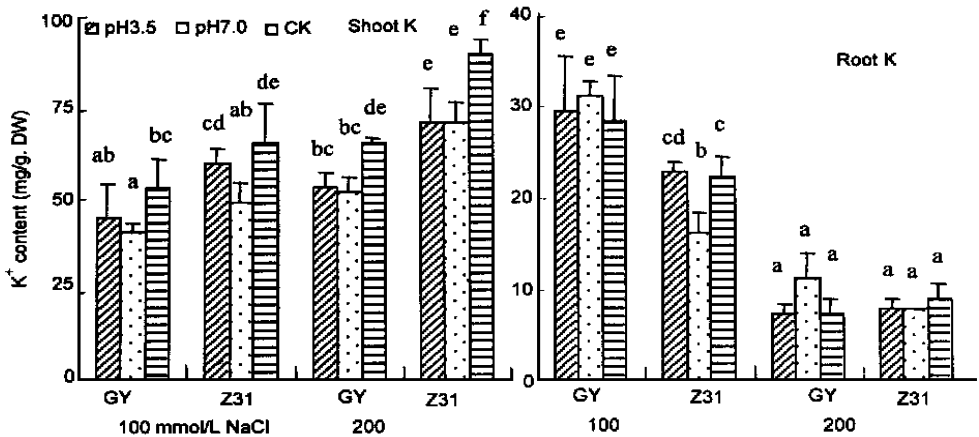


图1 淋洗对盐胁迫下玉米不同品种钾含量的影响

Fig. 1 Effect of leaching on potassium content of maize under salt stress

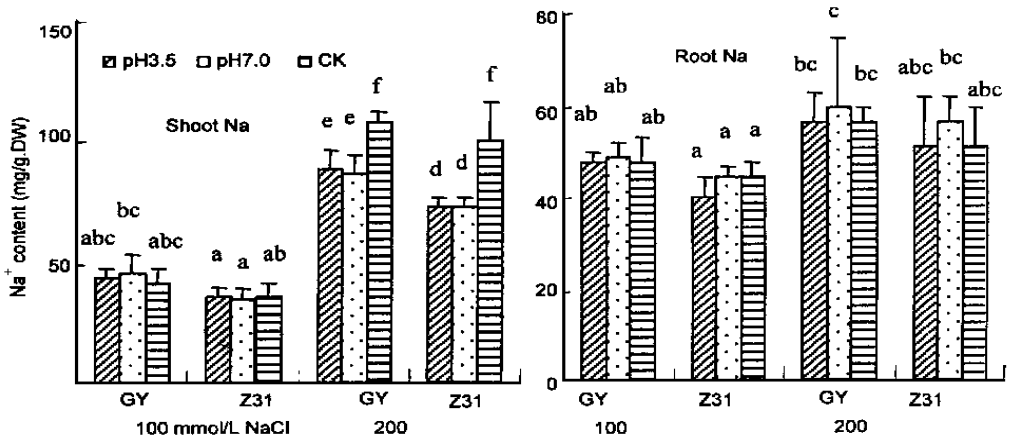


图2 淋洗对盐胁迫下玉米不同品种钠含量的影响

Fig. 2 Effect of leaching on sodium content of maize under salt stress

2.2.2 对钠含量的影响 随盐胁迫浓度的提高, 两品种茎叶的 $Na^+$ 含量增加, 根系的 $Na^+$ 含量则没有明显增加。淋洗使高盐胁迫下的植物体茎叶 $Na^+$ 含量明显降低, 从而在一定程度上减轻盐胁迫。茎叶含量在低盐胁迫时与根系含量没有明显区别, 而在高盐胁迫时则高于根

系含量, 这与生长受阻后的相对积累有关(图2)。

2.2.3 对钙含量的影响 随盐胁迫程度的提高, 茎叶  $Ca^{+2}$  含量提高, 根系  $Ca^{+2}$  含量 GY 增加, Z31 没有变化, 这与前者的生长严重受阻有关。淋洗使高盐浓度下茎叶  $Ca^{+2}$  含量下降, 与 CK 相比, GY 品种 pH3.5 和 pH7.0 淋洗处理分别下降 21.13% 和 19.93%, Z31 品种分别下降 32.29% 和 25.28%, 抗盐品种的下跌幅度大于盐敏感品种(图3)。

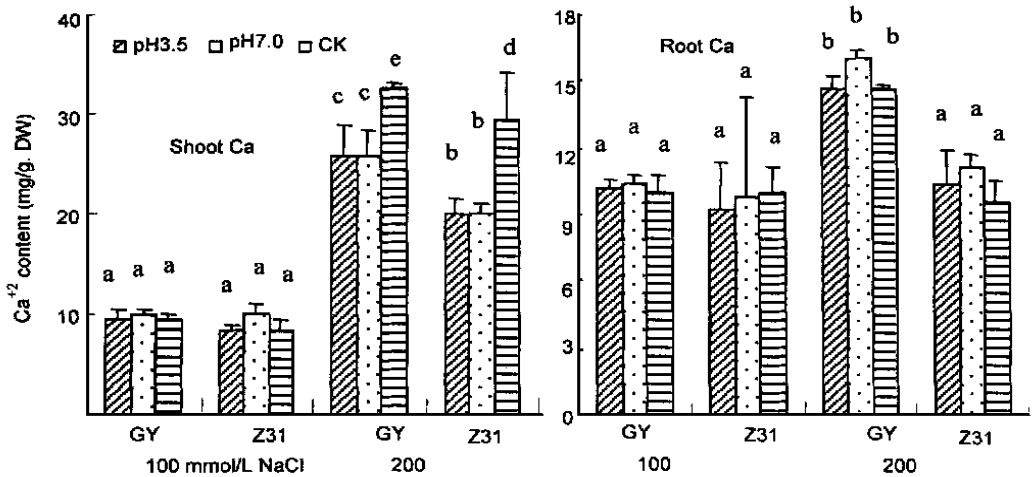


图3 淋洗对盐胁迫下玉米不同品种钙含量的影响

Fig 3 Effect of leaching on calcium content of maize under salt stress

2.2.4 对镁含量的影响 盐胁迫和淋洗处理均未对两品种茎叶  $Mg^{+2}$  含量产生影响, 对地下部含量也未产生规律性影响(图4)。

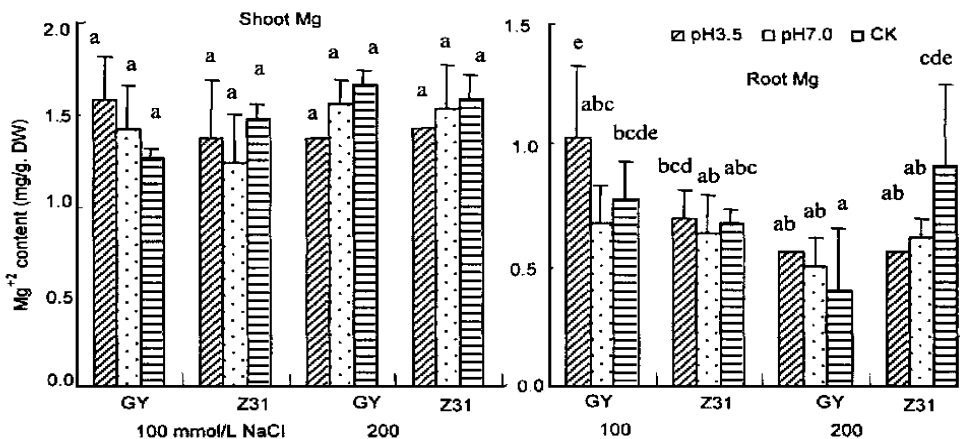


图4 淋洗对盐胁迫下玉米不同品种镁含量的影响

Fig 4 Effect of leaching on magnesium content of maize under salt stress

2.2.5 对铁含量的影响 盐胁迫对茎叶  $Fe^{+2}$  含量没有产生明显影响; 同一盐浓度下, 抗盐品种的  $Fe^{+2}$  含量高于盐敏感品种; 酸性淋洗液 (pH3.5) 淋洗降低盐敏感品种 GY 的  $Fe^{+2}$  含

量, 淋洗对抗盐品种的  $\text{Fe}^{+2}$  含量没有影响。随盐浓度提高, CK 根系  $\text{Fe}^{+2}$  含量明显增加, 并且根系含量明显高于茎叶, 这说明 NaCl 胁迫限制植物对  $\text{Fe}^{+2}$  的运输, 而对吸收的影响不大。淋洗对根系  $\text{Fe}^{+2}$  含量没有影响(表2)。

2.2.6 对锌含量的影响 随盐胁迫提高, 两个品种茎叶  $\text{Zn}^{+2}$  含量增加, 品种之间没有明显差别; 高盐浓度下淋洗降低茎叶  $\text{Zn}^{+2}$  含量, 低盐浓度基本没有明显影响。随盐胁迫提高, GY 根系  $\text{Zn}^{+2}$  含量增加, Z31 未产生变化, 这一现象与品种间抗盐性的差异有关, 它涉及到盐敏感品种地上部生长严重受阻后的需求量的减少和根系相对吸收能力增强的两个方面; 淋洗对根系  $\text{Zn}^{+2}$  含量没有产生明显影响(表2)。

表2 叶片淋洗对玉米品种铁和锌含量的影响 (毫克/公斤干重)

Table 2 Effect of foliar leaching on iron and zinc content of maize under NaCl stress (mg/kg DW)

Mineral nutrition	NaCl mmol/L	基因型 Genotype	茎叶 Shoot			根系 Root		
			pH3.5	pH7.0	CK	pH3.5	pH7.0	CK
铁 Fe	100	高油 GY	120.7 ± 9.3ab	144.8 ± 18.9bcd	144.0 ± 17.4cde	444 ± 54a	553 ± 62ab	719 ± 246abcd
		综31Z31	147.6 ± 18.8cdef	156.6 ± 9.5def	212.3 ± 9.4f	703 ± 135abcd	786 ± 198abcd	683 ± 105abc
	200	高油 GY	109.6 ± 10.9a	119.4 ± 13.8ab	134.1 ± 9.7bc	1301 ± 161e	1271 ± 448e	1067 ± 124cde
		综31Z31	166.7 ± 27.5f	162.1 ± 6.6ef	178.0 ± 2.9f	867 ± 411bcd	775 ± 130abcd	1391 ± 297de
锌 Zn	100	高油 GY	28.6 ± 5.0ab	31.7 ± 6.5abc	24.5 ± 4.6a	45.3 ± 11abc	52.5 ± 13bc	62.4 ± 16c
		综31Z31	35.9 ± 8.1bc	39.3 ± 8.7cd	48.2 ± 1.9d	43.2 ± 6abc	33.1 ± 5ab	44.8 ± 13abc
	200	高油 GY	62.8 ± 1.5e	82.6 ± 8.2gh	92.8 ± 9.3i	79.8 ± 30d	81.1 ± 28d	95.3 ± 4d
		综31Z31	72.0 ± 8.0ef	75.7 ± 8.5fg	90.4 ± 2.9hi	42.0 ± 19abc	29.9 ± 6a	36.8 ± 7ab

注: 同一元素同一植物部位的各处理间应用 L. S. D. 法进行显著性检验, 字母不同者表示差异显著,  $P < 0.05$ ; \*: 平均数 ± 误差。

Note: The L. S. D. method was used after one-way ANOVA to test the significance of difference among treatments of same element in the same plant part, means for the same testing items followed by the same letters are not significantly different at  $P < 0.05$ . \*, mean ± SE.

### 3 讨论与结论

3.1 淋洗对减轻盐害作用的基因型差异 试验结果表明: 淋洗对减轻盐害的作用因基因型的不同而表现明显的差异, 且只有在低盐胁迫时才能得以体现。淋洗对植物的影响是双重的, 一方面, 淋洗可减少植物在逆境下质外体中过量积累的离子, 从而提高植物的抗逆能力, 另一方面, 淋洗也可减少一些能够增强植物抗逆能力的有益离子, 特别是酸性淋洗还可对植物的正常生理过程产生不利影响<sup>[5]</sup>, 如本试验中在高盐(200 mmol/L NaCl)胁迫时, 酸性淋洗液可使耐盐品种叶片叶绿素含量下降。本试验表明: 淋洗减轻盐害的作用在两个品种上反应不一, 这与两个品种抗盐性的差异有关。低盐胁迫时, 耐盐品种 Z31 由于本身抗盐性强, 为此, 淋洗减轻盐害的作用难以充分表现出来, 而酸性淋洗液对该品种可能产生的不利影响则起了主导作用, 使得淋洗处理与对照相比地上部生物量没有变化; 盐敏感品种 GY 本身抗盐性弱, 使淋洗减轻盐害的作用相对得以体现, 表现为淋洗处理比对照的生物量大。高盐胁迫时, 由于盐胁迫的影响很大, 使两个品种淋洗减轻盐害的作用均难以体现, 这也说明淋洗解除盐胁迫的作用是有限的。从电导率的变化看: 高盐胁迫下, 淋洗处理的电导率低于对照, 说明淋洗提高了植物的抗盐性。淋洗对两品种的叶绿素含量基本没有产生明显影响, 但在高盐胁迫时, 酸性淋洗液降低耐盐品种的叶绿素含量。

**3.2 盐胁迫对植株矿质营养平衡的影响** 试验结果表明: 盐胁迫条件下植株体内矿质元素含量和比例发生变化。随NaCl胁迫的增加, 茎叶 $K^+$ 含量增加, 根系 $K^+$ 含量下降, 这是由于根系介质中 $Na^+$ 阻止了根系对 $K^+$ 的吸收; 耐盐品种的 $K^+$ 含量高于盐敏感品种, 许多试验证明<sup>[8]</sup>: 盐胁迫条件下的高 $K^+$ 含量与强的抗盐性相联系; 同时茎叶 $K^+$ 含量的增加, 以及茎叶 $Ca^{+2}$ 和茎叶 $Zn^{+2}$ 含量的增加, 还与NaCl胁迫后生物量下降、单位生物量(干重)的离子含量相对积累有关。茎叶 $Fe^{+2}$ 含量与盐浓度无明显关系, 根系含量则随盐胁迫而提高, 并且根系含量明显高于茎叶, 这说明NaCl胁迫限制了玉米对 $Fe^{+2}$ 向地上部的运输。同时试验也证明: 随NaCl浓度的提高, 茎叶 $Na^+$ 含量增加, 而对茎叶和根系 $Mg^{+2}$ 含量没有影响。根系中 $Na^+$ 含量与液培液中NaCl浓度无明显相关关系, 说明当介质中盐浓度达到一定程度后, 根系对Na有拒吸现象(选择性吸收), 从而有利于植株在盐胁迫条件下维持矿质养分的平衡。

**3.3 淋洗对植株矿质营养含量的影响** 试验结果表明: 叶片淋洗可在一定程度上改变盐胁迫条件下植株地上部矿质营养的平衡, 对根系矿质养分含量则没有明显影响。淋洗后植株茎叶 $K^+$ 含量下降, 酸性淋洗的下降幅度小于中性淋洗; 淋洗使高盐胁迫下植物体茎叶 $Na^+$ 和 $Ca^{+2}$ 含量明显降低, 盐敏感品种GY的 $Ca^{+2}$ 含量在淋洗后的降低幅度小于Z31, 从矿质营养的角度分析, 这是有利于抗盐的特征, 因为许多试验都证明盐胁迫下植物体内高的 $Ca^{+2}$ 含量对抗盐性具有重要影响<sup>[9, 10]</sup>。酸性淋洗液降低盐敏感品种GY的 $Fe^{+2}$ 含量, 淋洗对抗盐品种的 $Fe^{+2}$ 含量没有影响; 淋洗使高NaCl浓度下茎叶 $Zn^{+2}$ 含量下降, 而对 $Mg^{+2}$ 含量没有影响。已有试验证明: 正常养分供应状态下, 地上部的淋洗损失可以通过根系的加快吸收来补偿<sup>[11]</sup>, 但在养分缺乏条件下, 则可观察到植株体养分含量的明显降低<sup>[12, 13]</sup>。本试验淋洗处理与对照相比, 多数离子浓度降低, 这是因为盐胁迫限制了离子的吸收、运输和分配, 改变了植物体内的养分平衡, 相当于使植物处于一个养分缺乏的环境之中。至于对根系矿质养分的影响, 由于叶片淋洗在在地上部进行, 因而其有限的影响首先体现在地上部, 对根系则难以产生影响。

## 参 考 文 献

- 1 Pfanz H, K J Dietz, I Weinerth et al In: Rennenberg H et al ed *Sulfur Nutrition and Sulfur Assimilation in Higher Plants*, 1990, 229~ 233
- 2 Mengel K, R Planker, B Hoffmann *Plant Nutrition*, 1994, 17: 1053~ 1065
- 3 Starrach N, W E Mayer *J Exp. Bot*, 1989, 40: 865~ 873
- 4 Munns R, A Teemaat *J. Plant Physiol*, 1986, 13: 143~ 160
- 5 Tukey H B, Jr *Ann. Rev. Plant Physiol*, 1970, 21: 305~ 324
- 6 Kerstin P, K H M u h l i n g, B Sattelmacher In: Ando T et al ed *Plant nutrition for sustainable food production and environment*, Kluwer Academic Publishers Printed in Japan, 1997. 87~ 88
- 7 Muehling K H, B Sattelmacher *J. of Plant Physiology*, 1995, 147: 81~ 86
- 8 李长润, 刘友良 *南京农业大学学报*, 1993, 16(1): 16~ 20
- 9 晏斌, 戴秋杰, 刘晓忠等 *作物学报*, 1995, 21(6): 485~ 490
- 10 Greeway H, Munns R. *Ann. Rev. Plant Physiol*, 1980, 31: 149~ 190
- 11 Kaupenphann M, B U Schneider, R Hantschel et al *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 1988, 151: 123~ 126
- 12 Leonardi S, W Fluckiger *New Phytol*, 1989, 111: 173~ 179
- 13 Turner D P, D T Tingey. *Water Air and Soil Pollution*, 1990, 48: 205~ 214