

# NaCl胁迫对胡麻幼苗生长及其离子吸收运输的影响

张艳萍<sup>1</sup>, 赵 玮<sup>2</sup>, 齐燕妮<sup>2</sup>, 谢亚萍<sup>2</sup>

(1. 甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 为了探究 NaCl 胁迫对胡麻幼苗生长及其离子吸收运输的影响, 采用水培法对胡麻幼苗的盐分离子吸收、分布、累积特性进行了研究。结果表明, 胡麻幼苗干鲜重、含水量、叶绿素含量均在 NaCl 低浓度 ( $\leq 100$  mmol/L) 胁迫下小幅上升, 并随着胁迫浓度的增加而下降。地上和地下组织中膜透性呈现出明显的上升趋势, 游离脯氨酸含量和可溶性蛋白含量均随着 NaCl 浓度的增加表现为先上升后缓慢下降。随着 NaCl 浓度的增加根茎叶中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  含量均为上升趋势, 其中  $\text{Na}^+$  积累顺序为叶>根>茎,  $\text{Cl}^-$  积累顺序为根>茎>叶,  $\text{Ca}^{2+}$  流失顺序为根>茎>叶,  $\text{K}^+$  流失顺序为叶>根>茎。高浓度盐胁迫下胡麻幼苗将相对较多的  $\text{Na}^+$  积累在叶片中, 导致叶片中  $\text{K}^+$  流失较根茎中更严重,  $\text{Ca}^{2+}$  流失首先从根部开始, 以延缓茎和叶中的流失, 起到缓解盐害目的。

**关键词:** 胡麻; NaCl胁迫; 幼苗生长; 离子吸收运输

**中图分类号:** S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2019)11-0026-07

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2019.11.008

## Influence of NaCl Stress on Seedlings Growth of Flax and Their Ion Absorption and Transport

ZHANG Yanping<sup>1</sup>, ZHAO Wei<sup>2</sup>, QI Yanni<sup>2</sup>, XIE Yaping<sup>2</sup>

(1. Institute of Biotechnology, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Institute of Crops, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** To study the influence of NaCl stress on the growth and ions transport of flax seedlings, the absorption, distribution and accumulation of saline ions in seedlings of flax were analysed by water culture experiment. The results showed that the fresh and dry weight, the water and chlorophyll content of flax seedlings all increased slightly under NaCl ( $\leq 100$  mmol/L) stress, and decreased with increasing concentration of NaCl. Whether above-ground or under-ground tissue of flax seedlings, the membrane permeability increased, but the contents of free proline and soluble protein all increased firstly and then decreased slowly with increasing NaCl concentration. The content of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  in the roots, stems and leaves of flax seedlings all showed increasing trend with increasing NaCl concentration, the accumulation of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  were in ascending order: stem, root, leaf, and leaf, stem, root, respectively. The loss of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{K}^+$  were in ascending order: leaf, stem, root, and stem, root, leaf, respectively. More  $\text{Na}^+$  were accumulated in leaves of flax seedlings under higher salt stress, which resulted in the more loss of  $\text{K}^+$  from leaves; the loss of  $\text{Ca}^{2+}$  started from roots, which could delay the loss from stem and leaves and then alleviate the salt damage.

**Key words:** Flax; NaCl stress; Seedlings growth; Ion absorption and transport

收稿日期: 2019-08-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560347、31660368、31760426); 兰州市人才创新创业项目(2017-RC-97); 甘肃省现代农业产业技术体系建设专项(GARS-07-05); 甘肃省农业科学院科研条件建设及成果转化项目(2017GAAS22)资助。

作者简介: 张艳萍(1978—), 女, 甘肃武威人, 助理研究员, 研究方向为作物逆境机理。Email: 64929217@qq.com。

通信作者: 赵 玮(1976—), 男, 甘肃景泰人, 副研究员, 研究方向为胡麻耐盐新品种选育。Email: 308214921@qq.com。

全世界盐渍土面积约 10 亿  $\text{hm}^2$ ，干旱和半干旱地区约有 50% 的灌溉土地受到盐碱化的影响，中国的盐渍化土地大约占到全球的 1/10<sup>[1]</sup>，选育适合在盐碱地生长的植物品种是有效利用盐渍化土地的主要方法之一。胡麻(即油用亚麻)属于亚麻科(*Lianceace*)亚麻属(*Linum*)，胡麻是我国对油用亚麻和油纤兼用亚麻的俗称<sup>[2]</sup>，国内主要分布在甘肃、内蒙古、宁夏、山西、河北等干旱半干旱省区<sup>[3]</sup>。近年来对于纤用亚麻在盐胁迫下的生长及离子运输方面的研究较多。郭媛等<sup>[4]</sup>采用中性盐和碱性盐对纤维亚麻进行胁迫处理，结果表明，盐碱胁迫大幅度增加了亚麻苗期根和地上部对  $\text{Na}^+$  的吸收，中性盐胁迫下地上部  $\text{K}^+$  的吸收增高，根的  $\text{K}^+$  吸收降低，中性盐胁迫和碱性盐胁迫下，根和地上部  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  的吸收均降低；郭瑞等<sup>[5]</sup>利用中性盐和碱性盐混合对亚麻胁迫处理发现，碱胁迫使地上部分  $\text{Na}^+$  浓度急剧增高， $\text{Na}^+$  含量随着胁迫强度的增加而升高，而  $\text{K}^+$  含量呈下降趋势。我国胡麻主产区一直受到不同程度盐碱化的危害，已成为当前胡麻生产中重要的非生物胁迫因子，严重威胁着胡麻产业的可持续发展，因此对胡麻响应盐胁迫机制的解析对胡麻育种及生产具有重要意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

供试材料为胡麻品种陇亚 10 号，甘肃省农业科学院作物研究所胡麻课题组提供。

### 1.2 方 法

实验于 2017 年在甘肃省农业科学院作物研究所人工气候室内进行。温室条件为：温度 22  $^{\circ}\text{C}$ ，湿度 80%，光周期 14 h，光强为 400 ~ 450  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。挑选籽粒饱满的胡麻种子平铺在有两层滤纸的培养皿中，根长达到 3 ~ 5 cm 时转夹到厚 2 cm 的泡沫板剪切的缝隙中用 1/2MS 营养液培养，每 3 d 更换 1 次营养液。幼苗长到 6 ~ 8 片叶时，选取长势一致的幼苗进行盐溶液处理。 $\text{NaCl}$  溶液浓度分别为 0、50、100、150、200、

250  $\text{mmol}/\text{L}$ ，其中 0  $\text{mmol}/\text{L}$  为对照(CK)。每个处理重复 3 次，培养 30 d 测定各项指标。

### 1.3 指 标 测 定

胁迫 30 d 后，每个处理随机取 20 株幼苗，洗净后用滤纸吸干植株表面水分并称鲜重，先在 105  $^{\circ}\text{C}$  下杀青 30 min，然后在 80  $^{\circ}\text{C}$  下烘干至恒重称干重。采用电导法测定细胞膜透性。用荧光仪测量叶绿素荧光参数<sup>[6]</sup>；采用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白；采用茚三酮试剂显色法测定游离氨基酸含量<sup>[7]</sup>。 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$  等含量的测定用离子体发射光谱仪测定， $\text{Cl}^-$  含量用  $\text{AgNO}_3$  滴定法测定<sup>[8]</sup>。

### 1.4 数 据 计 算 与 统 计

含水量 =  $[(\text{鲜重} - \text{干重}) / \text{鲜重}] \times 100\%$ 。

细胞膜透性 =  $(\text{处理电导率} / \text{处理煮沸后电导率}) \times 100\%$ 。

根、茎、叶的离子运输选择性系数 S 参考相关文献计算方法<sup>[9-10]</sup>。计算公式如下：

根到茎的  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  离子运输选择性系数  $S_{\text{SR}(\text{K}, \text{Na})} = \frac{\text{茎}[\text{K}^+]/[\text{Na}^+]}{\text{根}[\text{K}^+]/[\text{Na}^+]}$

茎到叶的  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  离子运输选择性系数  $S_{\text{LS}(\text{K}, \text{Na})} = \frac{\text{叶}[\text{K}^+]/[\text{Na}^+]}{\text{茎}[\text{K}^+]/[\text{Na}^+]}$

根到茎的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  离子运输选择性系数  $S_{\text{SR}(\text{Ca}, \text{Na})} = \frac{\text{茎}[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Na}^+]}{\text{根}[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Na}^+]}$

茎到叶的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  离子运输选择性系数  $S_{\text{LS}(\text{Ca}, \text{Na})} = \frac{\text{叶}[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Na}^+]}{\text{茎}[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Na}^+]}$

数据处理采用 Excel 2007 进行数据整理、作图，SPSS20.0 进行统计分析。

## 2 结 果 与 分 析

### 2.1 $\text{NaCl}$ 胁迫对胡麻幼苗干鲜重和含水量的影响

从图 1 可以看出，随着  $\text{NaCl}$  浓度的增加，胡麻幼苗干鲜重出现先升后降的趋势。当浓度为 50  $\text{mmol}/\text{L}$  时鲜重达到最高值，较对照增长 3.57%；当浓度为 150、200、250  $\text{mmol}/\text{L}$  时，鲜重较对照分别下降 21.43%、25.00%、35.71%，差异均达到显著水平。浓度为 50  $\text{mmol}/\text{L}$  时干重上升 25%，浓度为 100 ~ 250  $\text{mmol}/\text{L}$  时干重趋于平稳，但均比对照降低了 50% 以上，差异均达到显著水

平。从图 2 可知, 胡麻幼苗含水量随着胁迫浓度的增加, 呈现先小幅增加后持续下降趋势。其中 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时, 幼苗含水量较对照上升了 3.44%; NaCl 浓度增加到 100、150 mmol/L 时, 幼苗含水量较对照分别下降了 0.99%、5.42%, 与对照差异均不显著; 当 NaCl 浓度增加到 200、250 mmol/L 时, 幼苗含水量较对照分别下降了 18.24% 和 20.20%, 差异均达到显著水平。

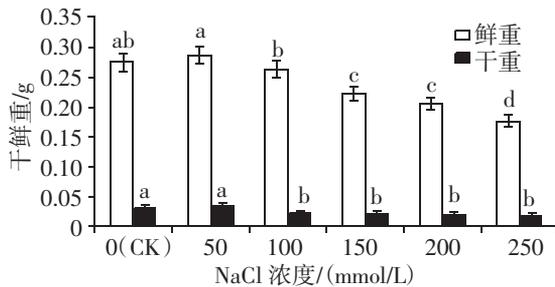


图 1 NaCl 胁迫对胡麻幼苗干鲜重的影响

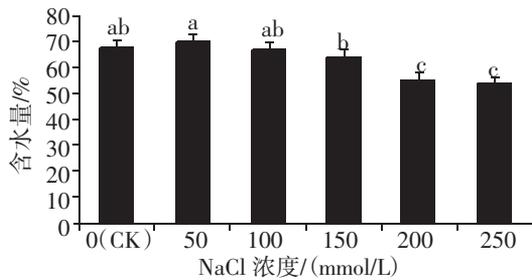


图 2 NaCl 胁迫对胡麻幼苗含水量的影响

## 2.2 NaCl 胁迫对胡麻幼苗叶绿素和膜透性的影响

从图 3 可知, 随着 NaCl 浓度的增加, 胡麻幼苗叶绿素含量呈先上升后下降趋势, 与含水量变化趋势基本吻合。当 NaCl 浓度为 50、100 mmol/L 时, 叶绿素含量小幅上升但与对照差异不显著; 当浓度为 150、200 mmol/L 时叶绿素含量较对照下降, 但差异不显著, 浓度为 250 mmol/L 时, 叶绿素含量较对照显著降低。从图 4 看出, 随着 NaCl 浓度的增加, 胡麻幼苗地上、地下组织膜透性变化为先升高后平稳。当浓度为 50、100、150、200、250 mmol/L 时, 地上部膜透性较对照分别增加了 42.18%、55.10%、78.91%、76.18%、78.22%, 差异均达显著水平; 地下部较对照分别增加了 3.32%、31.68%、59.18%、56.68%

和 60.00%, 均与对照差异显著。

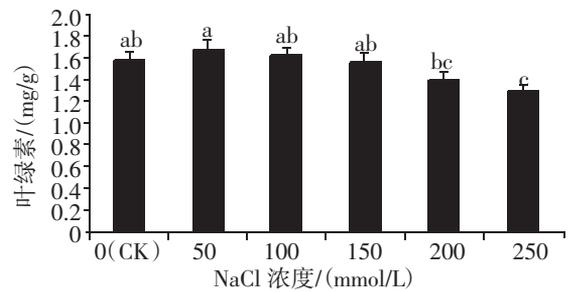


图 3 NaCl 胁迫对胡麻幼苗叶绿素的影响

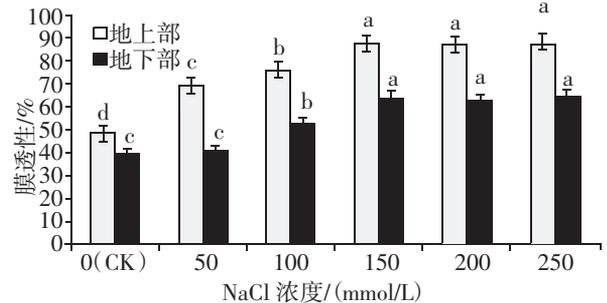


图 4 NaCl 胁迫对胡麻幼苗膜透性的影响

## 2.3 NaCl 胁迫对胡麻幼苗游离脯氨酸和可溶性蛋白的影响

从图 5 可以看出, 随着 NaCl 浓度的增加, 地上和地下组织游离脯氨酸的含量均呈先迅速上升后缓慢下降的趋势。NaCl 浓度为 150 mmol/L 时游离脯氨酸含量均达到最高值, 地上和地下组织分别较对照增加了 7.65 倍和 6.00 倍, 差异均显著。浓度为 200、250 mmol/L 时, 地上、地下组织游离脯氨酸含量均有所下降, 其中地上组织含量分别为对照的 6.35 倍和 6.27 倍, 地下组织含量分别为对照的 5.70 倍和 5.67 倍, 差异均达到显著水平。另外, NaCl 胁迫条件下胡麻幼苗地上组织游离脯氨酸含量均高于地下组织。

从图 6 可以看出, 可溶性蛋白含量变化趋势与游离脯氨酸相似, 随着 NaCl 浓度的增加, 地上和地下组织均为先上升后下降。其中当 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时, 胡麻幼苗地上组织蛋白质含量较对照增加了 62.86%; 浓度为 100、150 mmol/L 时同时达到最高值, 均为 82.86%, 均与对照差异显著; 浓度为 200、250 mmol/L 时, 地上组织蛋白质含量较对照分别上升了 20.00%、8.57%, 差异

均不显著。当 NaCl 浓度为 50、100 mmol/L 时，地下组织可溶性蛋白含量较对照分别增加了 10.00%、45.00%，且在浓度为 100 mmol/L 时含量最大，与对照差异显著；当浓度为 150、200、250 mmol/L 时，地下组织可溶性蛋白质含量较对照分别增加了 22.5%、15.00%、10.00%。

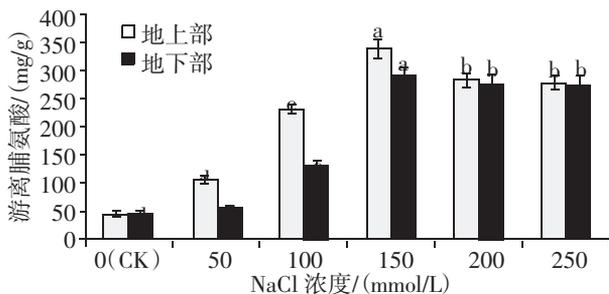


图 5 NaCl 胁迫对胡麻幼苗游离脯氨酸的影响

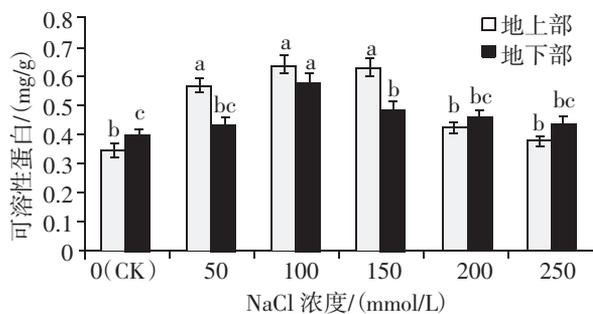


图 6 NaCl 胁迫对胡麻幼苗可溶性蛋白的影响

#### 2.4 NaCl 胁迫对 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 离子含量的影响

从表 1 可知，随着 NaCl 浓度的增加，胡麻幼苗根茎叶中的  $\text{Na}^+$  含量均为上升趋势，且浓度达到 250 mmol/L 时  $\text{Na}^+$  含量均达到最大值，不同组织中的  $\text{Na}^+$  含量顺序为叶 > 根 > 茎。根茎叶中  $\text{Na}^+$  含量的最大值分别较对照增加了 0.74 倍、0.27 倍，和 6.26 倍，说明胡麻幼苗在盐胁迫下大量  $\text{Na}^+$  主要积累在叶片中。随着 NaCl 胁迫浓度的增加，胡麻幼苗根茎叶中的  $\text{Cl}^-$  含量均为上升趋势，且浓度达到 250 mmol/L 时  $\text{Cl}^-$  含量均达到最大值，不同组织的  $\text{Cl}^-$  含量顺序为根 > 茎 > 叶。根茎叶中  $\text{Cl}^-$  含量的最大值分别较对照增加了 5.47 倍、4.12 倍和 3.22 倍，差异均显著。

随着 NaCl 浓度的增加，胡麻幼苗根茎叶中  $\text{Ca}^{2+}$  含量均呈下降趋势，且浓度达到 250

mmol/L 时  $\text{Ca}^{2+}$  含量均达到最小值，不同组织的  $\text{Ca}^{2+}$  流失顺序为根 > 茎 > 叶。根茎叶中  $\text{Ca}^{2+}$  含量的最小值分别较对照降低了 5.41 倍、4.7 倍，和 1.55 倍，差异均达到显著水平。随着 NaCl 浓度的增加，胡麻幼苗根茎叶中  $\text{K}^+$  含量均为下降趋势，且浓度达到 250 mmol/L 时  $\text{K}^+$  含量均达到最小值，不同组织  $\text{K}^+$  流失顺序为叶 > 根 > 茎。根茎叶中  $\text{K}^+$  含量最小值较对照分别降低了 38.9%、37.54% 和 57.0%，差异均显著。

#### 2.5 NaCl 胁迫对 $\text{K}^+/\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 的影响

随着 NaCl 浓度的增加，胡麻幼苗根茎叶中  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  均为下降趋势，且浓度为 250 mmol/L 时均达到最小值。不同组织的  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  比例依次为茎 > 根 > 叶，其中根茎叶中最小值分别较对照降低了 2.67 倍、2.4 倍和 17.18 倍，差异均达到显著水平。

胡麻幼苗根茎叶中  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  均为下降趋势，且浓度为 250 mmol/L 时均达最小值。不同组织的  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  比例同样为茎 > 根 > 叶，其中根茎叶中  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  的最小值分别较对照降低了 2.67 倍、2.4 倍和 17.18 倍，差异均显著(表 1)。

#### 2.6 NaCl 胁迫对 $S_{\text{SR}(\text{K}, \text{Na})}$ 、 $S_{\text{LS}(\text{Ca}, \text{Na})}$ 、 $S_{\text{SR}(\text{K}, \text{Na})}$ 、 $S_{\text{LS}(\text{Ca}, \text{Na})}$ 的影响

随着 NaCl 浓度的增加，胡麻幼苗  $S_{\text{SR}(\text{K}, \text{Na})}$  值呈现波动向上趋势，浓度为 100、200、250 mmol/L 时分别高于对照 4.83%、44.82% 和 24.14%；浓度为 50 mmol/L 和 150 mmol/L 时分别较对照低 23.45%、15.17%，差异均显著。 $S_{\text{SR}(\text{Ca}, \text{Na})}$  值随着 NaCl 胁迫浓度的增加呈现先降低后升高的趋势，浓度为 50 mmol/L 时较对照降低了 1.4%，差异不显著；浓度为 100、150、200、250 mmol/L 时分别较对照增加了 14.02%、43.93%、60.28%、40.19%，差异均显著(图 7)。

随着 NaCl 浓度的增加，胡麻幼苗  $S_{\text{LS}(\text{K}, \text{Na})}$  值呈现明显下降趋势，浓度为 50、100、150、200、250 mmol/L 时分别较对照降低了 56.13%、77.45%、77.94%、87.61%、86.25%，差异均

表 1 NaCl 胁迫对胡麻根、茎、叶离子含量的影响

组织	NaCl浓度 /(mmol/L)	Na <sup>+</sup> /(mmol/g)	Ca <sup>2+</sup> /(mmol/g)	K <sup>+</sup> /(mmol/g)	Cl <sup>-</sup> /(mmol/g)	K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> /Na <sup>+</sup>
根	0(CK)	50.68 e	27.71 a	8.20 a	1.54 e	0.16 a	0.55 a
	50	62.45 d	15.46 b	7.74 ab	2.39 d	0.12 b	0.25 b
	100	69.93 c	9.25 c	7.66 ab	2.92 d	0.11 bc	0.13 c
	150	70.77 c	7.59 cd	7.43 b	4.67 c	0.10 c	0.11 d
	200	86.74 b	6.22 d	5.50 c	6.53 b	0.07 d	0.07 e
	250	88.27 a	5.12 d	5.01 c	8.42 a	0.06 d	0.06 e
茎	0(CK)	38.41 e	44.90 a	9.03 a	1.37 d	0.24 a	1.17 a
	50	43.59 d	22.80 b	6.01 c	1.45 d	0.14 c	0.52 b
	100	45.10 c	15.14 c	7.50 c	1.50 d	0.17 b	0.34 c
	150	45.70 bc	15.04 c	5.89 c	2.69 c	0.13 c	0.33 c
	200	46.50 b	11.34 d	6.15 c	3.45 b	0.13 c	0.24 d
	250	55.58 a	9.55 d	5.64 c	5.64 a	0.10 d	0.17 e
叶	0(CK)	6.26 d	31.27 a	11.86 a	1.38 d	1.89 a	5.00 a
	50	16.01 c	25.98 b	7.79 c	1.56 d	0.49 b	1.62 b
	100	32.02 b	23.60 bc	9.70 b	2.97 c	0.30 c	0.74 c
	150	32.42 b	23.27 c	7.43 c	3.34 b	0.23 d	0.72 d
	200	44.57 a	21.25 cd	5.76 d	4.42 a	0.13 e	0.48 e
	250	45.47 a	20.17 d	5.10 e	4.44 a	0.11 f	0.44 f

达显著水平。 $S_{LS(Ca, Na)}$ 值随着 NaCl 胁迫浓度的增加呈现先下降后升高趋势, 但均显著低于对照, NaCl 浓度 50、100、150、200、250 mmol/L 处理分别较对照降低了 27.17%、48.48%、48.95%、54.10%、39.34%(图 8)。

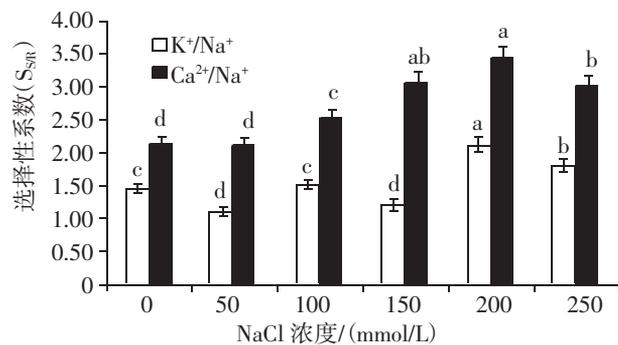


图 7 NaCl 胁迫对根到茎的离子运输选择性系数( $S_{SR}$ )的影响

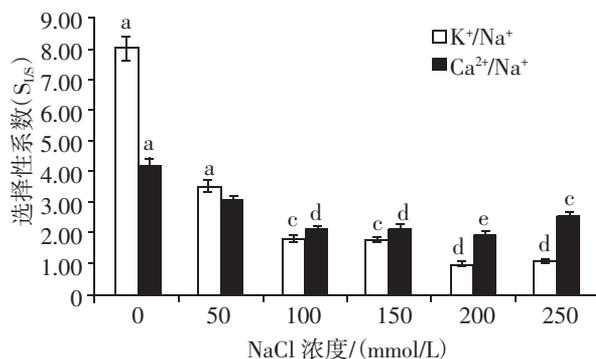


图 8 NaCl 胁迫对茎到叶的离子运输选择性系数( $S_{LS}$ )的影响

### 3 结论与讨论

研究表明, 胡麻幼苗干鲜重、含水量、叶绿素含量均在低浓度 NaCl ( $\leq 100$  mmol/L) 胁迫下小幅上升, 并随着胁迫浓度的增加而下降, 此现象也被称为“低促效应”, 在很多作物耐盐性研究中都有相似结果<sup>[11-14]</sup>。胡麻幼苗地上和地下组织中膜透性呈现出明显的上升趋势, 游离脯氨酸的含量和可溶性蛋白含量均随着 NaCl 浓度的增加表现为先上升后缓慢下降。随着 NaCl 浓度的增加, 胡麻幼苗根茎叶中 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 含量均为上升趋势, 其中 Na<sup>+</sup> 积累顺序为叶>根>茎, Cl<sup>-</sup> 积累顺序为根>茎>叶, Ca<sup>2+</sup> 流失顺序为根>茎>叶, K<sup>+</sup> 流失顺序为叶>根>茎。高浓度盐胁迫下胡麻幼苗将相对较多的 Na<sup>+</sup> 积累在叶片中, 导致叶片中 K<sup>+</sup> 流失较根茎中更严重, Ca<sup>2+</sup> 流失首先从根部开始, 以延缓茎和叶中的流失, 起到缓解盐害目的。

Na<sup>+</sup> 在不同器官中的分配是植物耐受盐分的重要机制<sup>[15]</sup>。我们研究认为, 高浓度盐胁迫下胡麻幼苗将相对较多的 Na<sup>+</sup> 积累在叶片中, 其原因可能是当根中积累的 Na<sup>+</sup> 超出了其有效调节范围, 通过提高叶片中 Na<sup>+</sup> 含量来降低其渗透势, 以促进水分向地上部的运输, 缓解盐胁迫造成的生理干旱。植物

受到盐胁迫后, 会吸收更多  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  等离子, 减少对  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  的吸收, 导致植物体内自身的离子平衡被扰乱<sup>[16]</sup>。在盐碱胁迫下, 高活性  $\text{Na}^+$  置换质膜上的  $\text{Ca}^{2+}$ , 使细胞中  $\text{Ca}^{2+}$  浓度降低, 导致质膜上  $\text{Ca}^{2+}$  失去平衡, 破坏作物体内离子平衡<sup>[17]</sup>。同样由于胡麻幼苗叶片中优先积累了大量的  $\text{Na}^+$ , 导致叶片中  $\text{K}^+$  流失较根茎中更严重。薛延丰等研究发现, 盐胁迫后  $\text{Na}^+$  能置换细胞膜上的  $\text{Ca}^{2+}$ , 导致  $\text{K}^+$  的大量外流<sup>[18]</sup>, 以上结论也与本研究相符。

$\text{K}^+/\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  比值常用来表征盐胁迫对离子平衡的破坏程度, 其比值愈低, 表明  $\text{Na}^+$  对  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  吸收的抑制效应愈强, 受害愈严重<sup>[19]</sup>。本研究表明, 随着  $\text{NaCl}$  胁迫浓度的增加, 胡麻幼苗根茎叶中  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  均为下降趋势, 且胁迫浓度达到  $250 \text{ mmol/L}$  时均达到最小值。此结果与  $\text{NaCl}$  胁迫处理下, 牛叠肚幼苗根、茎、叶中  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  比值较对照显著下降趋势一致<sup>[10]</sup>。有研究表明, 各器官  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  比值的下降可能与盐胁迫下质膜上的  $\text{Ca}^{2+}$  被高活性的  $\text{Na}^+$  取代有关<sup>[20]</sup>, 进而破坏了植株体内的离子平衡, 也可能与各器官  $\text{Na}^+$  的净增加和矿质营养元素的降低有关<sup>[21]</sup>。

盐分胁迫下植物根系对  $\text{K}^+$  的选择性吸收能力提高即  $S_{(K, Na)}$  增大, 以维持细胞正常的代谢活动,  $S_{(K, Na)}$  增大的植物能够更好地耐受盐分胁迫<sup>[22]</sup>。本研究中, 随着  $\text{NaCl}$  浓度的增加, 胡麻幼苗  $S_{S/R(K, Na)}$  值呈现波动向上趋势,  $S_{L/S(K, Na)}$  值随着  $\text{NaCl}$  浓度的增加呈现下降趋势。如前所述, 随着  $\text{NaCl}$  浓度的增加, 促进了根系对  $\text{K}^+$  的选择性吸收能力并运输积累到茎部, 从而导致  $S_{S/R(K, Na)}$  值升高, 而由于叶片中  $\text{Na}^+$  的大量积累置换了  $\text{K}^+$  的含量, 所以导致  $S_{L/S(K, Na)}$  值下降。本研究中  $S_{S/R(Ca, Na)}$  值和  $S_{L/S(Ca, Na)}$  值均在低浓度  $\text{NaCl}$  胁迫下降低, 而在高浓度胁迫下逐渐升高, 其原因也同样如前所述低浓度  $\text{NaCl}$  胁迫下  $\text{Ca}^{2+}$  流失缓慢, 而高浓度胁迫下  $\text{Ca}^{2+}$  流失速

度加快, 且流失比为根>茎>叶。由此表明, 胡麻幼苗  $\text{Ca}^{2+}$  流失首先从根部开始, 延缓了茎和叶中的流失, 从而起到缓解盐害目的。

#### 参考文献:

- [1] 张金林, 李惠茹, 郭姝媛, 等. 高等植物适应盐逆境研究进展[J]. 草业学报, 2015, 24(12): 220-236.
- [2] 党占海, 张建平, 王利民, 等. 环境因子与胡麻产量及品质相关性研究[J]. 甘肃农业科技, 2018(6): 21-25.
- [3] 刘 风, 赵 玮. 野生胡麻愈伤组织诱导及其对  $\text{NaCl}$  胁迫的生理响应[J]. 甘肃农业科技, 2018(6): 1-6.
- [4] 郭 媛, 邱财生, 龙松华, 等. 盐碱胁迫对亚麻苗期生长及阳离子吸收和分配的影响[J]. 中国麻业科学, 2015, 37(5): 254-258.
- [5] 郭 瑞, 李 峰, 周 际, 等. 亚麻响应盐、碱胁迫的生理特征[J]. 植物生态学报, 2016, 40(1): 69-79.
- [6] 张欢欢, 马东方, 柏新富, 等. 玉米幼苗对  $\text{NaCl}$  胁迫的生理响应和耐受阈值分析[J]. 鲁东大学学报(自然科学版), 2013, 29(4): 324-329.
- [7] 刘爱荣, 张远兵, 张雪平, 等. 麦冬生长及相关生理代谢对  $\text{NaCl}$  胁迫的响应[J]. 草地学报, 2016, 24(1): 93-100.
- [8] 韩志平, 郭世荣, 郑瑞娜, 等. 盐胁迫对小型西瓜幼苗体内离子分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 908-917.
- [9] 徐 威, 袁庆华, 王 瑜, 等. 盐胁迫下白三叶幼苗离子分布规律的初步研究[J]. 中国草地学报, 2011, 33(5): 33-39.
- [10] 李玉梅, 郭修武, 姜云天. 牛叠肚幼苗对盐胁迫的离子响应[J]. 干旱区研究, 2014, 34(6): 1213-1219.
- [11] 张 昆, 李明娜, 曹世豪, 等. 白颖苔草对不同浓度  $\text{NaCl}$  胁迫的响应及其耐盐阈值[J]. 草业科学, 2017, 34(3): 479-487.
- [12] 贾新平, 邓衍明, 孙晓波, 等. 盐胁迫对海滨雀稗生长和生理特性的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(12): 204-212.
- [13] 胡化广, 张振铭. 大穗结缕草对盐胁迫响应及临界盐浓度的研究[J]. 北方园艺, 2010(3): 80-83.

# 49 个春小麦品种在甘肃河西灌区的表现分析

郭莹, 王勇, 杨芳萍, 刘忠元

(甘肃省农业科学院小麦研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 为了丰富甘肃省春小麦品质育种的基因库, 2018 年从澳大利亚、国内宁夏及内蒙古等地搜集引进春小麦材料 49 份, 在武威黄羊镇设置了引种试验, 对其主要农艺性状和产量进行鉴定评价的结果表明, 有 1 份材料未拔节, 其余 48 份材料均正常成熟, 抽穗期为 5 月 26 日至 6 月 12 日。各农艺性状存在丰富的遗传变异, 不育小穗数的变异系数(38.75%)最大, 可育小穗数变异系数(9.36%)最小; 千粒重的多样性指数(2.02)最大, 株高(1.79 cm)最小; 聚类分析将供试材料分为 4 个类群, 依据田间表现和农艺性状筛选出了产量高、长势好, 抗病性强的优质种质武春 10 号、陇春 30 号、巴 09-520、甘春 20 号。

**关键词:** 种质资源; 中澳春小麦; 引种鉴定; 河西灌区

**中图分类号:** S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2019)11-0032-08

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2019.11.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2019.11.009)

种质资源是指具有特定种质或基因、可供育种及相关研究利用的各种生物类型, 包

括地方品种、引进品种、近缘植物、人工创造的各类食物类型等, 是优异基因的载体,

**收稿日期:** 2019-08-27

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2018YFD020040610); 甘肃省农业科学院支撑计划项目(2017GAAS33); 甘肃省农业科学院青年基金项目(2019GAAS41)。

**作者简介:** 郭莹(1986—), 女, 山西吕梁人, 助理研究员, 主要从事麦类种质资源创新及应用研究工作。联系电话: (0)15117198480。Email: 471601470@qq.com。

**通信作者:** 王勇(1964—), 男, 甘肃庄浪人, 研究员, 主要从事作物栽培生理与营养施肥研究工作。联系电话: (0)13919373618。Email: yongw@ggsagr.ac.cn

- [14] 高扬帆, 吕文彦, 王丙丽, 等. 盐胁迫对高羊茅种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(22): 5781; 5783.
- [15] 林栖凤, 李冠一. 耐盐植物研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 201-204.
- [16] 王晓冬, 王成, 马智宏, 等. 短期 NaCl 胁迫对不同小麦品种幼苗 K<sup>+</sup>吸收和 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>积累的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(10): 2822-2830.
- [17] 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.
- [18] 薛延丰, 刘兆普. 钙离子对盐胁迫下菊芋幼苗的生长、生理反应和光合能力的影响理论[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 44-47.
- [19] 敖雁, 管永祥, 孙云贺, 等. 基于离子稳态的野生与栽培番茄及其杂交 F<sub>1</sub> 的耐盐性差异[J]. 土壤学报, 2016, 53(4): 1065-1073.
- [20] JIANG X Y, SONG J, FAN H, et al. Regulations of exogenous calcium and spermidine on ion balance and polyamine levels in maize seedlings under NaCl stress[J]. Acta Phytobiologica Sinica, 2000, 26: 539-544.
- [21] PARIDA A K, DAS A B, MITTRA B. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove (*Bruguiera parviflora*)[J]. Trees, 2004, 18: 167-174.
- [22] 马荣, 王成, 马庆, 等. 向日葵芽苗期离子对复合盐胁迫的响应[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(5): 720-729.

(本文责编: 杨杰)