

## 旱盐互作对盐地碱蓬生长及其渗透调节物质的影响\*

黄 玮<sup>1,2</sup> 李志刚<sup>1,2</sup> 乔海龙<sup>1,2</sup> 李存桢<sup>1</sup> 刘小京<sup>1\*\*</sup>

(1. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050021;

2. 中国科学院研究生院 北京 100049)

**摘 要** 采用盆栽土培的方法,研究了不同干旱条件下盐胁迫对盐地碱蓬生长及其渗透调节物质的影响。结果表明:适量 NaCl 可提高干旱条件下盐地碱蓬的生物量和植株含水量,缓解其干旱胁迫。盐分改变了干旱条件下盐地碱蓬的渗透调节物质,随着盐浓度的增加,叶片中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  的积累增加,而叶片中的  $\text{K}^+$  积累减少;干旱条件下,叶片  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  以及  $\text{K}^+$  的积累增加,增强了盐地碱蓬在干旱条件下的渗透调节能力。叶片中脯氨酸的积累随着土壤含盐量和土壤干旱程度的增加而增加。

**关键词** 盐地碱蓬 盐生植物 干旱胁迫 盐胁迫 生长 渗透调节物质

**中图分类号**:S155.2 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3990(2008)01-0173-06

### Interactive effect of sodium chloride and drought on growth and osmotica of *Suaeda salsa*

HUANG Wei<sup>1,2</sup>, LI Zhi-Gang<sup>1,2</sup>, QIAO Hai-Long<sup>1,2</sup>, LI Cun-Zhen<sup>1</sup>, LIU Xiao-Jing<sup>1</sup>

(1. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** A pot culture experiment was designed to study the interactive effect of sodium chloride and water stress on the growth and osmotica of *Suaeda salsa*. Results show that moderate sodium chloride promotes plant growth and increases water content of *Suaeda salsa* under drought condition, and alleviates drought stress of *Suaeda salsa*. Accumulation of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  in leaves increases with increasing soil salinity, while  $\text{K}^+$  content decreases.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{K}^+$  contents in leaves further increase under drought stress, improving osmotic adjustment ability of plants in saline soils. Proline accumulation in leaves increases with increased salt and water stresses.

**Key words** *Suaeda salsa*, Halophyte, Drought stress, Salt stress, Growth, Osmotica

(Received May 8, 2006; accepted Aug. 20, 2006)

土壤盐碱和水资源短缺是影响农业可持续发展的主要限制因子。目前国内外试图通过在盐碱地上直接种植经济盐生植物来实现盐碱地的开发利用和发展咸水灌溉农业<sup>[1]</sup>。在盐渍化条件下,植物生长受离子毒害和渗透胁迫的影响。过高的离子浓度抑制植物生长,甚至导致其死亡。盐生植物能在盐渍环境下生长,且一定的盐分能促进其生长。已有研究证明,这种低浓度盐分促进盐生植物生长的作用与渗透调节有关,盐胁迫下的盐地碱蓬可以吸取外界盐分并积累在液泡中,从

而使其在盐胁迫中吸收水分,而生长在无 NaCl 溶液中的盐地碱蓬因失去渗透调节能力而受到伤害<sup>[2]</sup>。自然条件下,盐生植物的生长不但受到盐分的胁迫,同时也受到干旱胁迫的影响。目前关于旱盐互作对盐生植物生长和渗透调节物质影响的研究较少。

盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)是1年生草本盐生植物,在我国北方滨海盐碱地上广为分布,具有良好的经济开发潜力<sup>[3]</sup>和生态价值<sup>[4]</sup>。本试验通过研究干旱条件下盐分对盐地碱蓬生长的影响,为北方

\* 国家高技术研究(863)发展计划项目(2006AA100206)和河北省“十一五”攻关课题(06220111D-1)资助

\*\* 通讯作者, E-mail: xjliu@sjiam.ac.cn

黄玮(1980~),男,博士研究生,主要从事植物逆境生理生态与中药资源的研究。E-mail: huangwei\_chn@163.com

收稿日期:2006-05-08 接受日期:2006-08-20

半干旱滨海盐碱地上盐地碱蓬的栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

盐地碱蓬种子采集于河北省海兴县的滨海盐碱地,经自然风干和筛净后置于纸袋中室温下

保存。种子经过 0.1% 的  $\text{HgCl}_2$  溶液消毒 8 min 后用蒸馏水洗净,播种于盛有 1.5 kg 风干菜园土的盆中,土壤的理化性质见表 1(测定方法见文献[5])。种子出苗后长至 3 cm 时间苗,每盆保留 10 株。

表 1 初始土壤的理化性质

Tab. 1 Chemical and physical traits of the initial soil

测定项目 Item	测定值 Value	测定项目 Item	测定值 Value
有机质 Organic matter ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	11.0	$\text{Na}^+$ ( $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )	43.5
碱解氮 Alkali-hydrolysis N ( $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )	5.6	$\text{K}^+$ ( $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )	1.4
速效磷 Available P [ $\text{mg}(\text{P}_2\text{O}_5) \cdot 100\text{g}^{-1}$ ]	1.8	$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )	1.5
速效钾 Available K [ $\text{mg}(\text{K}_2\text{O}) \cdot 100\text{g}^{-1}$ ]	13	$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )	1.6
田间持水量 Field water capacity (%)	22.76	$\text{Cl}^-$ ( $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )	63.82

试验共设 20 个处理,包括 5 个盐分水平(即土壤含盐量为 0‰、3‰、6‰、9‰和 12‰)和 4 个干旱水平(用占田间持水量的百分数表示不同胁迫程度<sup>[6,7]</sup>,即占田间持水量的 85%、70%、55% 和 40%),盐地碱蓬生长 30 d 后进行处理。土壤含盐量的控制是通过梯度灌入盐溶液来实现,5 d 后达到预定土壤含盐量,然后开始控制其水分条件。水分管理是通过称盆补水来实现,5 d 后到达预定土壤水分,以后每天早晚定时称盆补水两次。试验重复 3 次,随机区组排列,并每周调整盆的位置,以避免边行效应的影响。处理 30 d 后分别取样测定植株鲜重、干重、植株含水量。植株分成根、茎和叶 3 部分,杀青、烘干后磨成粉末,测定根、茎、叶中的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  含量和脯氨酸含量。植株根、茎、叶粉末用三酸消煮后,用 HITACHI-170-10 型原子吸收分光光度计测定体内  $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  含量,  $\text{AgNO}_3$  滴定法测定  $\text{Cl}^-$  含量,叶片脯氨酸含量用茚三酮比色法测定。所得数据用 SPSS 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱条件下盐分对盐地碱蓬生长与含水量的影响

由图 1 可知,在同一水分条件下,盐地碱蓬的鲜重和干重随土壤含盐量的增加先升高后降低,适当盐分促进了盐地碱蓬生物量的积累,这种促进作用在较低水分条件下更为明显。在田间持水量为 85% 条件下,3‰ 土壤含盐量处理其地上部干重比

无盐处理增加 11%;而在田间持水量为 70% 和 55% 的土壤上,其增幅分别为 17% 和 24%。已有研究表明<sup>[2,8,9]</sup>,在水培或砂培条件下,适量的盐分促进盐地碱蓬的生长,但高盐抑制其生长,盐地碱蓬的生长需要一定的盐环境;虽然盐地碱蓬能忍受由于盐分胁迫产生的渗透胁迫,但对 PEG 所诱导的水分胁迫十分敏感。本试验结果表明,对盐生植物盐地碱蓬而言,适度的盐分可促进其干旱条件下的生长,这种促进作用在重度干旱条件下更为显著。盐地碱蓬具有在液泡中区域化外界离子的能力,它在盐渍环境下受盐害程度低,而在干旱条件下因失去渗透调节能力而受到伤害,适当的盐分促进了干旱条件下盐地碱蓬的生长,这是盐分提高了其在干旱条件下渗透调节能力的结果。研究还发现植株在土壤含盐量为 3‰和田间持水量为 55% 和 70% 的条件下生长最好,表明适当干旱条件和适当的盐分有利于盐地碱蓬生长。但在高盐环境下,盐地碱蓬生物量的积累随干旱水平的增加而减少,表明重度干旱降低了植物对盐环境的忍受,这可能与极度干旱条件下植物的水分亏缺有关。类似的结果在泌盐生物上也得到了证明,Martinez 等<sup>[10]</sup>在地中海滨藜(*Atriplex halimus*)上发现 NaCl 可以缓解 PEG 模拟的干旱影响。

叶片或茎的肉质化是一些盐生植物适应盐渍环境的一种形态表现。适当的盐分可提高植株的含水量。本试验结果表明(图 2),在 3‰和 6‰盐

分条件下,各种水分处理的盐地碱蓬地上部含水量都有增加的趋势,但这种增加以 55% 和 40% 田间持水量处理表现最为明显。在田间持水量为 55% 的土壤上,6‰含盐量处理的盐地碱蓬植株含

水量比无盐处理提高 5.8%;而在田间持水量为 85% 的土壤上其变化不大,仅为 0.6%。说明在干旱条件下,适当的盐分处理促进了植株对土壤水分的吸收。

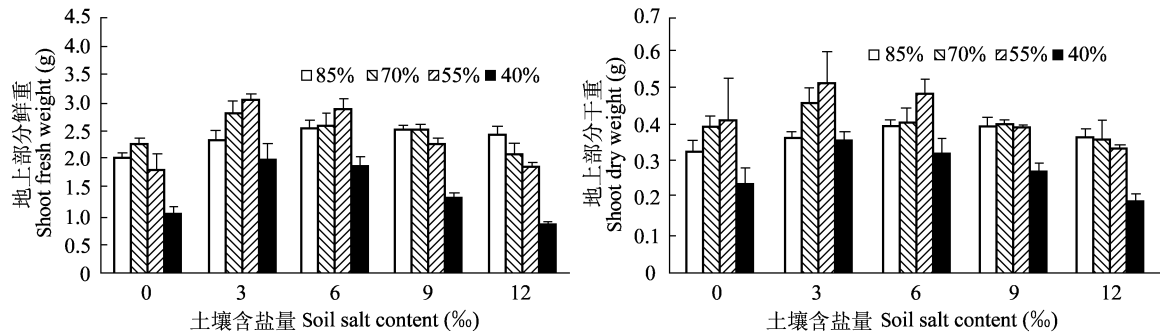


图 1 干旱条件下盐分对盐地碱蓬地上部分鲜重与干重的影响

Fig. 1 Effect of salinity on shoot fresh and dry weights of *Suaeda salsa* under drought condition

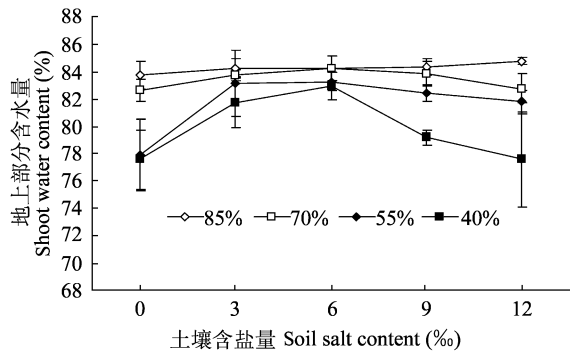


图 2 干旱条件下盐分对盐地碱蓬地上部分含水量的影响

Fig. 2 Effect of salinity on shoot water content of *Suaeda salsa* under drought condition

2.2 干旱条件下盐分对盐地碱蓬无机渗透调节物质的影响

表 2 表明,土壤盐分和干旱水平显著影响盐地碱蓬叶和茎中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  和  $\text{K}^+$  的含量,而盐分对根中  $\text{K}^+$  含量的影响不显著;茎中  $\text{Na}^+$  和根中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$

的含量受盐分和干旱互作的影响。

盐地碱蓬植株中  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  的积累顺序为叶片 > 茎部 > 根部(图 3,图 4),这与前人的研究结果一致。但叶部和茎部  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  的积累随着土壤干旱程度的增加而增加,而根部  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  的积累变化较小。对于盐生植物而言, $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  是重要的无机渗透调节物质。在盐渍环境下,盐生植物通过大量吸收  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  来降低细胞的渗透势,从而有利于水分从土壤向根和地上部的吸收运输,保证植株正常生长所需要的水分<sup>[11]</sup>。本试验结果表明,盐地碱蓬除具有典型盐生植物的渗透调节特性外,在干旱条件下也能通过进一步吸收离子进行渗透调节,促进水分的吸收,保持正常的生长。由于盐地碱蓬对离子的吸收受盐分和干旱的影响,在适度盐分条件下,吸收适度的盐分有利于渗透调节,但在极度干旱的高盐环境下,植株过高的积累盐分受干旱影响可能导致离子毒害,抑制其生长。

表 2 盐旱互作对盐地碱蓬各部分离子积累影响的方差分析

Tab. 2 Variance analysis of effects of salinity, drought and their interactions on ion uptake of leaves, stems and roots of *Suaeda salsa*

变异来源 Variance resource		盐分 Salinity	干旱 Drought	盐分 × 干旱 Salinity × drought
叶 Leaf	Na	213.55 ***	61.64 ***	1.48 <sup>NS</sup>
	K	0.21 **	3.94 *	1.33 <sup>NS</sup>
	Cl	146.44 ***	53.25 ***	1.75 <sup>NS</sup>
茎 Stem	Na	58.73 ***	18.88 ***	2.39 *
	K	13.15 ***	10.48 ***	1.43 <sup>NS</sup>
	Cl	34.64 ***	5.87 **	1.07 <sup>NS</sup>
根 Root	Na	20.91 ***	7.24 ***	2.91 **
	K	1.32 <sup>NS</sup>	3.46 *	0.75 <sup>NS</sup>
	Cl	4.49 ***	52.25 ***	4.21 ***

\*\*\*, \*\*, \* 分别表示  $P < 0.001, 0.01$  和  $0.05$  水平上差异显著, NS 表示差异不显著。表中数值为  $F$  值。\*\*\*, \*\*, \* indicate significant difference at  $P < 0.001, 0.01$  and  $0.05$  respectively, NS indicates no significant difference at  $P < 0.05$ . Numbers are  $F$  values.

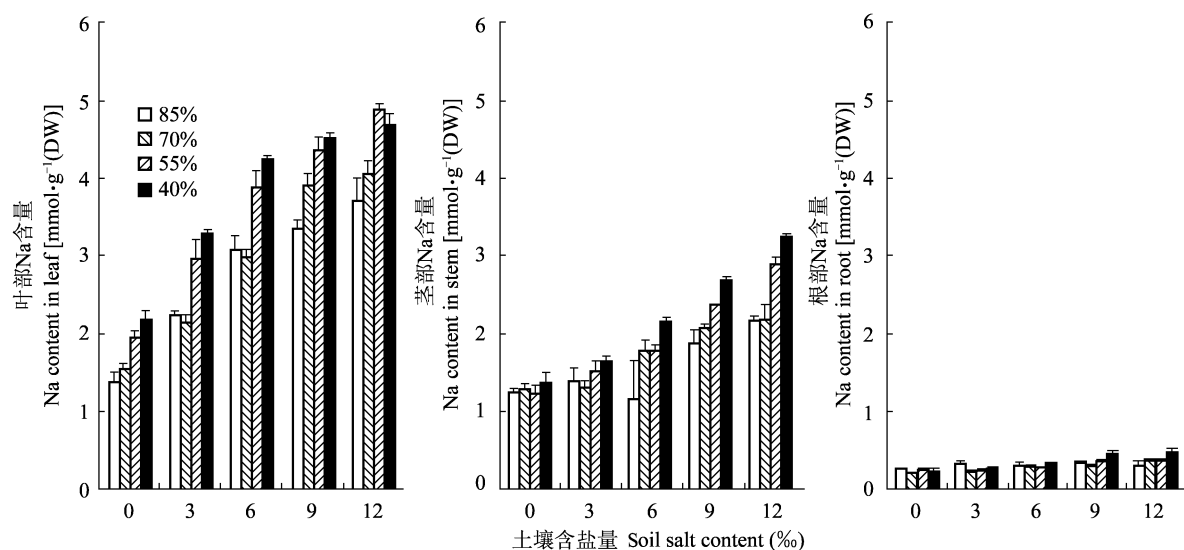


图 3 干旱条件下盐分对盐地碱蓬各部分 Na 含量的影响

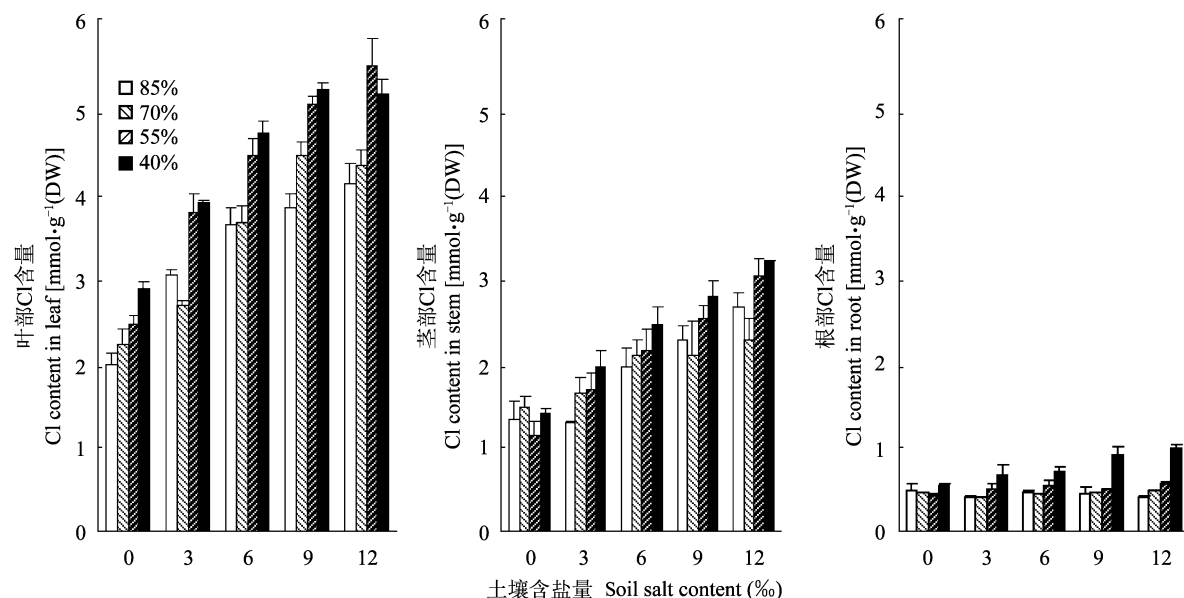
Fig. 3 Effect of salinity on Na content of *Suaeda salsa* under drought condition

图 4 干旱条件下盐分对盐地碱蓬各部分 Cl 含量的影响

Fig. 4 Effect of salinity on Cl content of *Suaeda salsa* under drought condition

$K^+$ 不仅是植物生长的大量元素,也是植物渗透调节的重要元素。本试验结果表明(图 5),叶片和茎部中的  $K^+$  高于根部,且随盐分的增加而降低。重度干旱条件下盐地碱蓬叶部和茎部  $K^+$  的积累量明显高于田间持水量 85% 处理。故当盐地碱蓬生长在干旱环境条件下, $K^+$  作为渗透调节物质对植物在干旱条件下吸水起着重要作用。这一特性与一些旱生植物相似,在干旱条件下通过积累  $K^+$  来吸收和运输水分,如沙蓬 (*Agriophyllum squarrosum*) 和

蒙古虫实 (*Corispermum mongolicum*)<sup>[12]</sup>。盐地碱蓬根部  $K^+$  含量比较稳定,有利于根部正常的生理活动。

根茎叶各部分中的  $K/Na$  比表明(图 6),随土壤含盐量的提高, $K/Na$  比均呈降低趋势,叶部的  $K/Na$  随土壤干旱程度的增加而降低,而茎部和根部的  $K/Na$  比除极端干旱条件下降低外均相对比较稳定。根部  $K/Na$  比比叶部和茎部高,表明根具有选择性吸收  $K$  而保持营养平衡的能力。

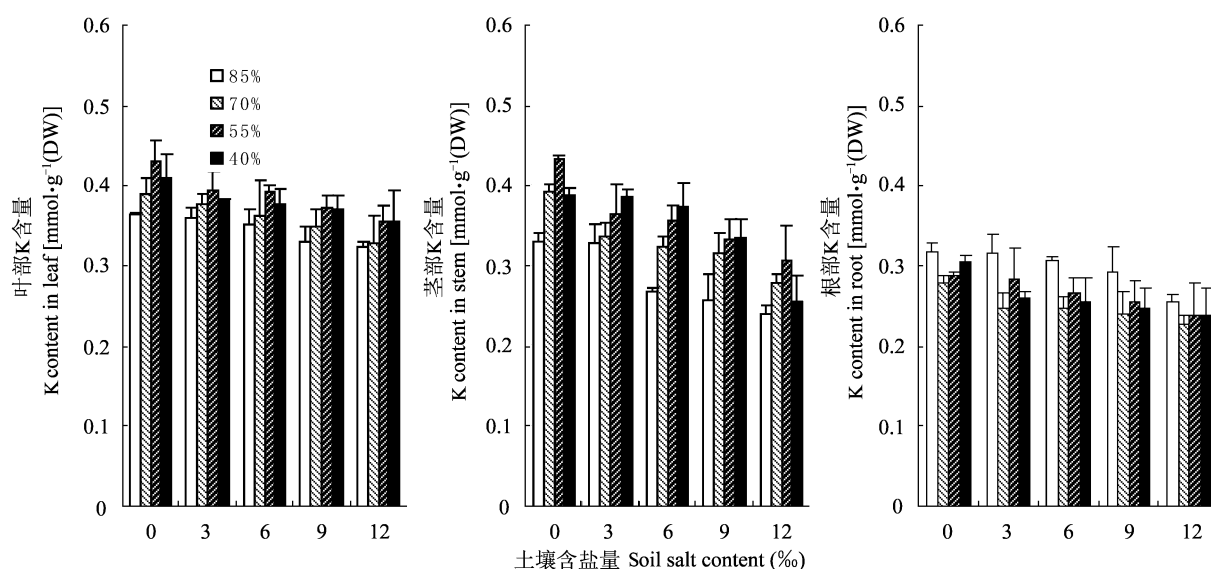


图 5 干旱条件下盐分对盐地碱蓬各部分 K 含量的影响

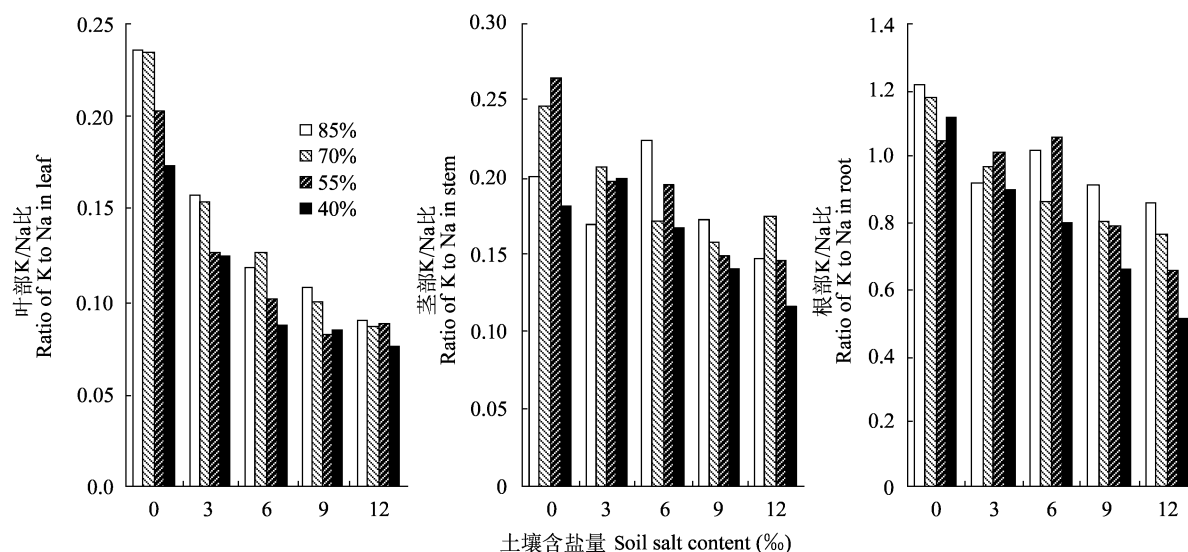
Fig. 5 Effect of salinity on K content of *Suaeda salsa* under drought condition

图 6 干旱条件下盐分对盐地碱蓬各部分 K/Na 的影响

Fig. 6 Effect of salinity on K/Na ratio of *Suaeda salsa* under drought condition

### 2.3 干旱条件下盐分对盐地碱蓬叶片中脯氨酸积累的影响

图 7 表明,叶片中脯氨酸的积累随着土壤含盐量和土壤干旱程度的增加而增加,尤其是高盐胁迫和重度干旱胁迫互作条件下,叶片脯氨酸含量陡增;在逆境条件下,如干旱、盐碱、低温、高温等都会造成植物体内脯氨酸的合成和积累,尤其在干旱胁迫时脯氨酸积累最多<sup>[13]</sup>。张海燕<sup>[2]</sup>等研究认为,在盐胁迫环境下,脯氨酸在盐地碱蓬叶片的渗透调节中作用不大;类似的结果也在另外一种碱蓬属植物囊果碱蓬(*Suaeda physophora*)上得到发现<sup>[13]</sup>。同无机渗透调节物质相比,叶部脯

氨酸的积累量很低,小于 0.5%,因此盐地碱蓬在盐旱胁迫环境下脯氨酸的渗透调节中作用不大,可能与蛋白质、酶或膜的保护有关。

### 3 小 结

本研究结果表明,适量盐分可缓解干旱对盐地碱蓬生长的抑制作用,在干旱条件下适量盐分可促进盐地碱蓬的生长,提高其生物量。盐地碱蓬在干旱条件下增加了  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  及  $\text{K}^+$  的吸收,脯氨酸含量增加,植株渗透调节能力增强,植株渗透势降低,促进了植物在土壤干旱环境下对水分的吸收,植株含水量增加。盐地碱蓬在含盐量为 3‰、田间持水量为 70% 或 50% 土壤上生长最好,



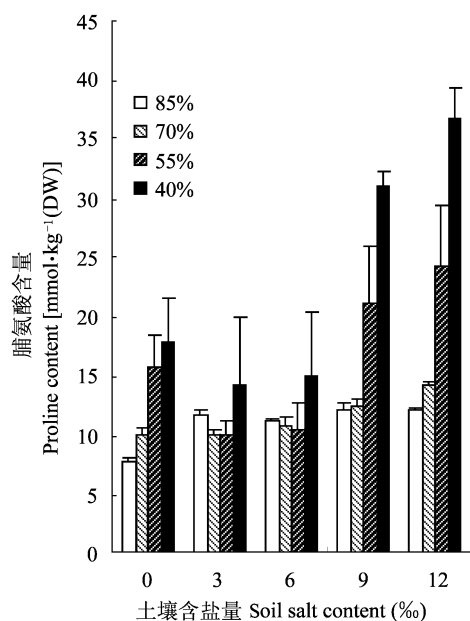


图 7 干旱条件下盐分对盐地碱蓬叶片脯氨酸的影响

Fig. 7 Effect of salinity on proline content in leaves of *Suaeda salsa* under drought condition

表明适当的盐分和干旱条件有利于盐地碱蓬的生长。

### 参考文献

- [1] 毛建华, 陆文龙. 发展盐土农业促进农业产业结构调整[J]. 天津农业科学, 2000, 6(3): 49-51
- [2] 张海燕, 赵可夫. 盐分和水胁迫盐地碱蓬幼苗渗透调节效应的研究[J]. 植物学报, 1998, 40(1): 56-61
- [3] 孙宇梅, 赵进, 周威, 等. 我国盐生植物碱蓬开发的现状与前景[J]. 北京工商大学学报, 2005, 23(1): 1-4
- [4] 赵可夫, 范海, 江行玉, 等. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用[J]. 应用环境与生物学报, 2002, 8(1): 31-35
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 116-200
- [6] 杨贵羽, 罗远培, 李保国, 等. 不同土壤水分处理对冬小麦根冠生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 104-109
- [7] 孙存华, 白嵩, 白宝璋, 等. 水分胁迫对小麦幼苗根系生长和生理状态的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(5): 485-489
- [8] 段德玉, 刘小京, 李存桢, 等. N 素营养对 NaCl 胁迫下盐地碱蓬幼苗生长及渗透调节物质变化的影响[J]. 草业学报, 2005, 14(1): 63-68
- [9] 张海燕. 盐胁迫下盐地碱蓬体内无机离子含量分布特点的研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(1): 129-135
- [10] Juan-Pablo Martínez, Jean-Marie Kinet, Mohammed Bajji, et al. NaCl alleviates polyethylene glycol-induced water stress in the halophyte species *Atriplex halimus* L. [J]. J. Exp. Bot., 2005, 56: 2421-2431
- [11] Flowers T. J., Troke P. F., Yeo A. R. The mechanism of salt tolerance in halophytes[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1977, 28: 89-121
- [12] Wang S., Wan C., Wang Y., et al. The characteristics of Na, K and free proline distribution in several drought-resistant plants of the Alxa Desert, China[J]. Journal of Arid Environment, 2004, 56: 525-539
- [13] Song J., Feng G., Tian C. Y., et al. Osmotic adjustment traits of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* in field or controlled conditions[J]. Plant Science, 2006, 170: 113-119