海侵地区不同降雨条件下海水灌溉‘油葵 G101’的研究

唐奇志 刘兆普* 刘玲 郑青松 陈铭达

(南京农业大学资源与环境学院, 南京 210095)

摘要 在对油葵(*Helianthus annuus*)室内海水砂培试验研究油葵耐海水生物学特征的基础上,为获取半干旱海侵区海水大田灌溉的技术参数,以指导当地大田海水灌溉的实际应用,2002(干旱年)、2003年(丰水年)在山东莱州受海水入侵最严重的半干旱地区进行了不同浓度海水补充灌溉‘油葵 G101’的田间小区试验,着重研究了当地不同雨水条件下在油葵始蕾期、始花期海水灌溉两水的模式对夏播油葵产量结构及其主要形态指标、植株体内离子分布规律的影响。结果表明:1)在当地的土壤条件下,无论是干旱年份(2002年),还是丰水年份(2003年),在油葵生长期(约 100 d),补充灌溉两水,40%比例的海水灌溉是夏播油葵保证一定经济产量的安全指标,在干旱年份,海水比例超过 40%时,油葵籽产量即显著下降,而在丰水年份,即使用 60%比例的海水灌溉,油葵籽产量与 40%处理也无显著差异。综合考虑油葵经济产量、节省淡水用量等因素,40%海水补充灌溉两水可视为该海侵地区灌溉油葵适宜的海水补充灌溉额度。2)干旱年份,20%海水灌溉处理下,初花期油葵除茎秆直径和葵盘鲜重外,其它各生理生态指标与淡水灌溉处理无显著性差异($p=0.05$)。而在丰水年份,即使用 40% 的海水灌溉,‘油葵 G101’主要形态指标与淡水灌溉也无显著差异。3)0~40%比例海水灌溉处理,夏播油葵叶片能保持相对较高的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量,而根系吸收的 K^{+} 向葵盘的选择性运输能力很强。 Na^{+} 主要积累在根部、茎部,而叶和葵盘中含量较低。 Cl^{-} 在茎中含量最高。

关键词 降雨量 海水灌溉 油葵 离子分布 产量

EFFECTS OF IRRIGATION WITH DILUTED SEAWATER ON ‘OLEIC SUNFLOWER G101’ GROWN IN SALINIZED SOILS, LAIZHOU, CHINA

TANG Qi-Zhi LIU Zhao-Pu* LIU Ling ZHENG Qing-Song and CHEN Ming-Da

(College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract Nearly half the irrigated fields in the world are becoming saline and alkaline. Soil salinization is becoming a serious problem in China, especially in the seashore plain of north China where there is a highly developed industrial and agricultural economy and a huge population. With the high speed of industrial development and rapidly increasing population, groundwater overuse is leading to an influx of seawater and further expediting salinization of freshwater resources and soil. Lack of freshwater is a main factor restricting social and economic development in the seashore plain of north China.

Irrigation of crops with diluted seawater has been proposed as a way to conserve freshwater supplies. This experiment was conducted to study the characteristics and effects of irrigation with diluted seawater on a salt tolerant economic plant and provide recommendations for saline water irrigation in these drought/semi-drought seashore areas. ‘Oleic sunflower G101’ (*Helianthus annuus*), a salt-tolerant economic plant, was irrigated with different proportions of diluted seawater in the Laizhou, Shandong Province, where seawater intrusion is a very serious problem. The effects of irrigation with diluted seawater on various growth indices, the accumulation and distribution of ions in the plant, and total yields of ‘G101’ planted under local rainfall conditions were investigated during two growing seasons, 2002 (drought year) and 2003 (wet year). The sunflower was irrigated twice during the growing season, one at early bud and the other at early florescence. The results showed that 1) In both the drought year (2002) and the wet year (2003), a 40% seawater irrigation solution was a safe dilution ensuring economic yields for the 100 day growth period of ‘G101’. During the drought year, ‘G101’ seed yields decreased significantly when irrigated with 40% seawater or greater, while there were no differences in seed yields in the wet year when irrigated with 40% or 60% seawater. Thus, irrigation with a 40% seawater solution was economically feasible. 2) During the drought year, most growth indices of

oleic sunflowers when treated with 20% seawater were not significantly different with that irrigated with freshwater ($p = 0.95$), except for stem thickness and disc fresh weight during early florescence. However, in the wet year, all measured growth indices were not significantly different from the freshwater treatment when treated with up to 40% seawater ($p = 0.95$). 3) When irrigated with 0–40% seawater, Ca^{2+} and Mg^{2+} homeostasis was maintained in the leaves and root K^{+} selective ion transport to the disc was strong. Accumulation of Na^{+} was mainly in the root and stem, while Na^{+} concentrations in the leaves and disc were lower. Chloride content was the greatest in the stem as compared to other parts of the oleic sunflowers.

Key words Rainfall, Seawater irrigation, Oleic sunflower, Morphologist, Yield

全世界有近一半的灌溉用地存在严重的盐化和(或)次生碱化的问题(Flagela *et al.*, 2002a)。在我国土壤盐渍化也已成为一个越来越严重的社会问题,特别是在北方滨海平原地区,工农业经济较为发达,人口众多,随着工业化的高速发展和人口的剧增,淡水资源供给严重不足。由于过量抽取地下水,造成海水入侵,又进一步加剧了淡水资源和土壤的盐化。淡水资源的匮乏已成为该地区社会经济可持续发展的主要限制因子。滨海地区长期以来的传统农业,需要的是淡水,怕的是海水,因此,哪怕是用淡水稀释了的海水来灌溉作物,也能节省大量的淡水资源。

向日葵(*Helianthus annuus*)通常被认为是一种中等耐盐的植物,苗期耐盐阈值在 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($4.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) 左右。本试验供试植物为杂交油用‘向日葵 G101’(文中简称油葵),系从美国引进的油用型品种,耐盐性较强,被誉为盐碱地上“先锋”植物。目前国内外对油葵的栽培措施,盐肥耦合效应(Delgado & Sanchez, 1997; Ashraf, 1999; Legha & Gajendra, 1999),不同栽培方式、灌溉制度对油葵籽粒产量和葵油品质的影响(Razi & Assad, 1999; Göksoy *et al.*, 2004; Flagella *et al.*, 2002b)研究较多,但未见有利用海水或稀释海水来灌溉油葵方面的研究报道。

在大田海水灌溉次数与灌溉定额筛选的基础上,根据油葵生长期短(全生育期为 95 d)、油葵不同生育期间的需水特性以及莱州降水特点,2002 和 2003 年,在油葵始蕾和初花期分两次用不同稀释比例的海水进行补充灌溉试验,以研究不同降雨年份在海侵地上用咸水或海水养殖废水(相当于 50% 海水)补充灌溉对油葵的影响,以期能为干旱、半干旱滨海地区合理利用咸水或海水养殖废水补充灌溉耐盐经济植物提供一定的应用性参数。

1 材料和方法

1.1 试验设计

2002 年 7 月 20 日~10 月 27 日和 2003 年 7 月

15 日~10 月 25 日在南京农业大学山东莱州“863”中试基地安排海水补充灌溉小区试验,试验区位于胶东半岛西北部沿海,地理坐标为 $36^{\circ}59' \sim 37^{\circ}38' \text{ N}$, $119^{\circ}33' \sim 120^{\circ}18' \text{ E}$,西部和北部濒临渤海湾,2002 年灌溉用海淡水比例分别为 0(海、淡水体积比为 0:10,下同)、20%(2:8)、40%(2:3)、60%(3:2)、80%(4:1)5 个水平,2003 年增加 10% 与雨养(不灌溉)种植两个处理。根据田间水分张力计测定的数据,2002 年在土壤水引力大于 40 kPa 的 8 月 11 日(油葵始蕾期)和 9 月 14 日(油葵初花期)、2003 年 8 月 6 日和 9 月 9 日分别进行两次补充灌溉,灌溉定额分别为 $400 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (湿润层 30 cm)和 $600 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (湿润层 40 cm,满足根际水分需求)。灌溉海水基本性状为:pH 值为 8.30,矿化度为 $33.32 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, K^{+} 为 $15.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, Na^{+} 为 $412.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, Cl^{-} 为 $493.4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, Ca^{2+} 为 $39.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, Mg^{2+} 为 $84.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。小区面积 15 m^2 ($3 \text{ m} \times 5 \text{ m}$),每个海水灌溉处理设 4 个重复,小区按随机区组划分。各小区之间用 0.12 mm 塑料薄膜隔断(开 0.4 m 深沟埋入),塑料薄膜宽 0.5 m,下埋 0.4 m,地表留 0.1 m,小区与小区之间覆垄高 0.1 m,四周种植 3 行保护行,每个小区设两个专用采样行。人行道两侧小区边覆垄高 0.1 m,以防互溢。株行距为 $30 \text{ cm} \times 65 \text{ cm}$,播种前试验地土壤深翻 20 cm,耙均,施入基肥(有机肥) $20000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;播种时穴施 NPK 复合肥 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.2 样品采集与数据分析

土壤电导率和离子用土壤农化常规分析法。油葵初花期(2002 年为 9 月 14 日、2003 年为 9 月 9 日)进行形态考察,而在其收获期按小区单独采样,每小区在采样行中采好、中、差共 6 株样品,按部位分别在 105°C 杀青 5 min 后于 $70 \sim 80^{\circ} \text{C}$ 烘干至恒重,磨碎过 30 目筛作离子测定用。 K^{+} 、 Na^{+} 、 Cl^{-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 提取:精确称取 50 mg 干样放入 25 ml 刻度带塞大试管中,加入 20 ml 去离子水,摇均后置沸水浴中 1.5 h,冷却后过滤定容至 50 ml 容量瓶中备用。每

个样品 2~3 个重复。参照王宝山和赵可夫(1995)方法。 K^+ 、 Na^+ 含量使用上海分析仪器厂 6400 型火焰光度计测定, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用日立 Z-8000 型原子吸收仪测定, Cl^- 用 $AgNO_3$ 滴定法。所有数据用 SPSS 统计软件统计分析。按下列公式计算 K^+ 、 Na^+ 离子吸收和运输的选择性比率(Flower & Yeo, 1998): 离子吸收 $S_{K,Na}(AS_{K,Na}) = \sqrt{[K^+/Na^+]/\text{介质}[K^+/Na^+]}$; 离子运输 $S_{K,Na}(TS_{K,Na}) = \sqrt{\text{库器官}[K^+/Na^+]/\text{源器官}[K^+/Na^+]}$ 。

2 结果与分析

2.1 不同年份海水灌溉对始花期油葵主要形态指标的影响

油葵初花期的形态特征不仅反应油葵营养-生殖生长过渡期的生长状况,也是决定其经济产量的关键时期。从表 1 中可以看出,在干旱的 2002 年,随着海水灌溉浓度的增加,油葵的株高与之呈显著的负相关($R^2 = -0.9133$)。20%海水灌溉处理油葵除茎秆、葵盘直径外,其它各指标与对照相比均无显著性差异,60%和 80%处理油葵株高、茎秆直径、叶片和葵盘鲜重比 40%海水灌溉处理显著下降,而在雨水比较充沛的 2003 年,即使用 40%比例的海水灌溉,油葵根茎叶及葵盘干重等各指标与淡水灌溉也没有显著差异。

2.2 不同降雨条件下海水灌溉对油葵籽粒产量的

影响

在干旱的 2002 年,10%~40%浓度海水灌溉处理油葵籽粒产量与淡水灌溉处理没有显著性差异(表 2)。而 60%和 80%海水灌溉,油葵产量下降幅度较大,且与 40%海水灌溉处理均存在显著性差异,80%海水处理产量与其它各处理有极显著差异($p = 0.01$)。

2003 年,油葵生长期间,试验区降雨量为 2002 年的 2 倍(表 3),故 2003 年无论是淡水还是海水灌溉处理,油葵籽产量比 2002 年均有一较大幅度的增长,随着海水比例的提高,增长的幅度越大,80%海水处理油葵籽 2003 年比 2002 年增产 77%,而淡水处理仅增加 13%左右,这可能是因较大降雨量对高浓度海水灌溉下土壤中盐分淋洗产生重大影响(赵耕毛等,2003),进而缓解了高浓度海水灌溉对油葵的盐害。

2.3 不同浓度海水灌溉对成熟收割期油葵体内离子分布的影响

各处理葵盘 K^+ 含量明显高于其它部位,根部含量最低,葵盘 K^+ 含量是根中 30.7~6.7 倍(图 1A)。海水灌溉所有处理葵盘中 K^+ 含量均显著高于淡水处理,而海水浓度对其影响不大;而在茎、叶中各处理 K^+ 含量呈抛物线状,20%和 40%处理 K^+ 含量显著高于其它处理;根部 K^+ 含量随着海水比例加大而逐渐显著减少。与 K^+ 分布相反, Na^+ 主要

表 1 2002、2003 年海水灌溉油葵初花期主要形态指标
Table 1 Effect of seawater irrigation on primary growing indexes of oil sunflowers in early florescence in 2002 and 2003

海水灌溉浓度 Seawater concentration (%)	株高 Stem height (cm)	茎秆直径 Stem diameter (cm)	葵盘直径 Disc diameter (cm)	重量 Fresh weight ¹⁾			
				根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	葵盘 Disc
2002							
淡水 Freshwater	142 ^a	2.185 ^a	15.0 ^a	49.6 ^a	283 ^a	272 ^a	273 ^a
20	135 ^a	1.918 ^b	13.7 ^{ab}	58.1 ^a	257 ^{ab}	275 ^a	210 ^b
40	124 ^b	1.798 ^{bc}	13.0 ^b	44.8 ^a	211 ^b	236 ^b	215 ^b
60	103 ^d	1.336 ^d	8.4 ^c	18.9 ^b	90.6 ^c	110 ^c	85 ^c
80	69 ^e	1.022 ^e	5.7 ^d	10.5 ^c	40.4 ^c	51 ^d	35 ^d
2003							
淡水 Freshwater				15.183 ^a	60.735 ^a	52.078 ^a	48.763 ^a
10				14.935 ^{ab}	55.998 ^a	50.923 ^a	48.3 ^a
20				13.678 ^{ab}	65.025 ^a	58.83 ^a	50.935 ^a
40				13.568 ^{ab}	55.713 ^a	53.32 ^a	47.3 ^a
60				12.773 ^b	44.748 ^b	40.035 ^b	37.863 ^b
80				10.09 ^c	46.520 ^b	40.015 ^b	39.573 ^b
雨养种植 Growth with rain				10.69 ^c	44.483 ^b	38.86 ^b	28.063 ^c

同一列标记相同的字母表示在 $p = 0.05$ 水平上不存在显著性差异 Values within the same column followed by the same letter are not significantly different at the level of $p = 0.05$ 1) 2002 年为 $g \cdot \text{株}^{-1}$ 鲜重, 2003 年为 $g \cdot \text{株}^{-1}$ 干重 $g \cdot \text{plant}^{-1}$ FW in 2002, $g \cdot \text{plant}^{-1}$ DW in 2003

表 2 不同年份海水灌溉对油葵籽粒产量的影响及节省淡水量
Table 2 Effect of seawater irrigation on the yield of oil sunflowers in 2002 and 2003

海水灌溉浓度 Seawater concentration(%)	节省淡水量 Saving water(m ³ •hm ⁻²)	平均产量 Mean of yield(kg•hm ⁻²)	差异显著性 Significance level	
			p = 0.05	p = 0.01
2002				
20	200	2 942	a	A
淡水 Freshwater	—	2 922	a	A
40	400	2 676	a	A
60	600	2 027	b	A
80	800	1 423	c	B
2003				
淡水 Freshwater	—	3 302.475	a	A
10	100	3 302.325	a	A
20	200	3 241.650	a	AB
40	400	3 193.000	ab	ABC
60	600	2 934.975	bc	BC
雨养种植 Growth with rain	—	2 921.175	c	C
80	800	2 523.500	d	D

同一列相同的小写或大写字母分别表示在 $p = 0.05$ 或 $p = 0.01$ 水平上没有显著性差异 Values within the same column followed by the same small letter or capital letter are not significantly different at the level of $p = 0.05$ or $p = 0.01$

表 3 2002、2003 年油葵生长期的降雨量
Table 3 Rainfall of oil sunflower in 2002 and 2003

2002		2003	
日期 Date	降雨量 Rainfall (mm)	日期 Date	降雨量 Rainfall (mm)
7.20 ~ 7.31	40.00	7.15 ~ 7.25	72.50
8.01 ~ 8.10(灌 1 水 Once-watered)	10.00	7.26 ~ 8.06(灌 1 水 Once-watered)	44.70
8.11 ~ 9.01	23.00	8.06 ~ 8.25	76.50
9.02 ~ 9.14(灌 2 水 Twice-watered)	5.70	8.26 ~ 9.09(灌 2 水 Twice-watered)	49.80
9.15 ~ 9.27	39.00	9.10 ~ 9.25	40.30
9.28 ~ 10.27(收获 Harvest)	54.00	9.26 ~ 10.25(收获 Harvest)	63.00
合计 Total	171.70	合计 Total	346.80

积累在根部(图 1B),其含量顺序是根 > 茎 > 叶 > 盘,所有海水处理根部 Na⁺ 含量均显著高于淡水处理,而在茎中随着海水浓度提高,Na⁺ 一直呈显著上升趋势,而叶和葵盘中这种上升幅度大大降低。Cl⁻ 在油葵主要分布在油葵根、茎和叶中,其中以茎中 Cl⁻ 含量最高(图 1C),根部 Cl⁻ 含量次之,所有海水处理油葵根、茎、叶中 Cl⁻ 含量均显著高于淡水处理,海水灌溉浓度从对茎中 Cl⁻ 含量影响不显著,而根和叶中随海水浓度升高 Cl⁻ 含量呈显著上升趋势。Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 主要分布在叶片中(图 1D、E),不同的是,随着海水浓度的提高,茎中 Ca²⁺ 含量逐步下降,而 Mg²⁺ 含量在 20% ~ 40% 海水处理时显著高于其它各处理,海水处理对叶片中 Ca²⁺ 含量影响不大,而 Mg²⁺ 含量随海水浓度升高而显著增加。叶片是光合作用的主要场所,在 40% 海水灌溉浓度以内,叶片中 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 含量保持稳定,这有利于细胞膜结构的稳定和叶绿体的光合功能。

2.4 不同浓度海水灌溉对成熟期油葵体内Na⁺ /K⁺ 及 S_{K,Na}的影响

根部的 Na⁺ /K⁺ 远大于其它各部位(表 4),且随海水灌溉浓度的增加而呈线性上升趋势($R = 0.970\ 2$),其次为茎、叶,而葵盘中最小。S_{K,Na} 值越大,表明 K⁺ 吸收或运输的选择性越高。葵盘中 S_{K,Na} 值最大,其次为叶、茎,根部最小;20% ~ 40% 海水浓度范围内,根、茎和葵盘中 S_{K,Na} 值随海水浓度增大而增加,而从 40% 海水处理开始,随着海水浓度增大 S_{K,Na} 值而下降,这可能是 20% 和 40% 海水处理虽然增大了处理小区土壤溶液中 Na⁺ 浓度,但油葵根部及地上部对 K⁺ 吸收和运输的选择性也随之增大,因而油葵在海水盐胁迫下利用 K⁺ 选择性吸收以缓解 Na⁺ 毒害的能力,这是油葵在一定强度盐胁迫下的自身调节适应性机制之一。

3 讨 论

干旱年份,20% 海水灌溉处理对油葵初花期各

图 1 不同灌溉处理油葵中各离子的分布
Fig.1 Primary ionic distribution of oil sunflowers in autumn on seawater irrigation

表 4 不同浓度海水灌溉对成熟期油葵体内 Na⁺/K⁺ 及 S_{K,Na} 的影响
Table 4 Effect of seawater irrigation on Na⁺/K⁺ and S_{K,Na} of oil sunflowers in autumn

	部位 Part	海水灌溉浓度 Seawater concentration for irrigation (%)				
		淡水 Freshwater	20	40	60	80
Na ⁺ /K ⁺	根 Root	3.74	7.98	10.2	14.6	23.3
	茎 Stem	0.38	0.26	0.40	0.92	2.85
	叶 Leaf	0.13	0.11	0.22	0.31	0.61
	葵盘 Disc	0.01	0.01	0.02	0.05	0.07
	全株 Shoot	2.72	6.27	7.01	5.29	4.30
离子吸收 S _{K,Na}	根 Root	2.72	6.27	7.01	5.29	4.30
	茎 Stem	9.88	30.8	25.3	15.8	8.17
	叶 Leaf	29.7	72.6	46.2	47.6	37.8
	葵盘 Disc	274	640	535	268	312
	全株 Shoot	2.72	6.27	7.01	5.29	4.30

形态指标总体影响不大,而促进了油葵根部的生长。从最后的经济产量看,20%海水处理高于淡水处理而没有显著差异,室内油葵苗期海水砂培试验表明,20%海水处理能显著提高油葵幼苗期根的生长速率,增加根冠比(唐奇志和刘兆普,2004),而油葵幼苗期合理的植株构型为后期海水灌溉下获得理想的

经济产量奠定了基础。同时,刘兆普等(2003)研究表明,如果控制好一定的灌溉次数与定额,采取有效的调控措施,海水灌溉后土壤盐分与水分会在一个理想的水平达到平衡,可以大大缓解干旱地区土壤水分蒸发,提高土壤的保水能力,油葵在 40% 海水灌溉下仍能获得满意的籽粒产量,可能是干旱条件下高浓度海水处理土壤中仍保持一定的水分。60% 和 80% 海水灌溉则对油葵生长的抑制作用明显,从各生长指标来看,均与其它处理存在显著性差异($p < 0.05$)。而降雨比较充沛的 2003 年,40% 海水处理的油葵初花期各形态学指标同淡水处理也没有显著差异,而最终的油葵籽产量 40% 海水处理同淡水处理也没有差异,即使 60% 海水处理,其油葵籽产量与 40% 海水相比也没有显著下降。从两年的田间试验结果来看,即使雨水比较丰富,40% 海水补充灌溉仍比雨养种植油葵增产 10% 左右。因此在实际生产中,应根据降雨量、土壤性质及植物耐盐能力,确定合理的灌溉时间、灌溉定额,油葵苗期不宜用海水灌溉,因其生长期短,根据莱州降水情况及土壤发育安全状况,结合土壤水实测数据,补充灌溉两水可满足油葵生长需求,莱州地区海水补充灌溉的安全指标为 40% 海水。

海水灌溉下油葵株内的离子分布特征,也反映了油葵适应海水灌溉的调节机制。盐胁迫下植株对 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子选择性吸收和运输以及植株体内 Na^+/K^+ 值是衡量植物耐盐能力的重要指标(Maathuis & Amtmann, 1999),一些耐盐植物如野生大豆(*Glycine soja*),根系虽然吸收了较多的 Na^+ 、 Cl^- ,但是向地上部运输较少,而对 K^+ 的运输选择性较强(於丙军等,2003)。一般认为在无机盐中对植物危害最大的是钠盐(刘友良和汪良驹,1998),本试验中 Na^+ 在根中含量最高,茎部次之,叶和葵盘含量很低,这与一般的耐盐植物规律类似(王宝山等,1997),而 Cl^- 分布特征与 Na^+ 有明显的差异: Cl^- 在茎杆中含量最高,其机制尚不清楚。

叶片是光合作用的主要场所,海水胁迫下油葵叶片保持较高的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量,这有利于叶片细胞膜结构的稳定和叶绿体的光合功能,尤其 Mg^{2+} 对光合效率影响巨大,本试验中 20% 和 40% 海水处理油葵叶片 Ca^{2+} 显著高于其它处理,这与油葵最终经济产量变化趋势一致。 K^+ 、 Ca^{2+} 在受盐胁迫植物叶片中的渗透调节等过程中发挥重要作用(林栖凤和李冠一,2000; Li *et al.*, 2002),普遍认为它们具有增强液泡膜 $V-H^+-ATPase$ and $V-H^+-Ppase$ 活性,调节

细胞膜内外渗透势差,保护膜结构的完整性,抑制根部 Na^+ 吸收及向地上部运输等功能。

从 $S_{K,Na}$ 值来看,葵盘中 $S_{K,Na}$ 值是叶片的 5.62 ~ 11.6 倍,是茎杆的 17.0 ~ 58.9 倍, K^+ 向葵盘的高度选择性运输,促进光合产物向籽粒输送,提高油葵的经济产量。本试验中 20% 海水处理油葵籽粒产量最高则可能是这一原因。

参 考 文 献

- Ashraf M (1999). Interactive effect of salt (NaCl) and nitrogen form on growth, water relations and photosynthetic capacity of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Annals of Applied Biology*, 135, 509 – 513.
- Delgado IC, Sanchez AJ (1997). Influence of phosphorus on the growth and nutrient transport in sunflower plants in saline conditions. *Phyton (Buenos Aires)*, 61, 117 – 125.
- Flagella Z, Cantore V, Giuliani MM, Tarantino E, de Caro A (2002a). Crop salt tolerance: physiological, yield and quality aspects. *Recent Research Developments in Plant Biology*, 2, 155 – 158.
- Flagella Z, Rotunno T, Tarantino E, di Caterina R, de Caro A (2002b). Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European Journal of Agronomy*, 17, 221 – 230.
- Flower TJ, Yeo AR (1998). Ion relation of salt tolerance. In: Baker DD, Hall JL eds. *Solute Transport in Cell and Tissues*. John Wiley and Sons. Inc, New York, 392 – 416.
- Göksoy AT, Demir AO, Turan ZM, Dagüstü N (2004). Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research*, 87, 167 – 178.
- Legha PK, Gajendra G (1999). Influence of nitrogen and sulphur on growth, yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus*) grown in spring season. *Indian Journal of Agronomy*, 44, 409 – 412.
- Li PH, Chen M, Wang BS (2002). Effect of K^+ nutrition on growth and activity of leaf tonoplast $V-H^+-ATPase$ and $V-H^+-PPase$ of *Suaeda salsa* under NaCl stress. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 44, 433 – 440.
- Lin QF (林栖凤), Li GY (李冠一) (2000). Research progress in salt tolerance in plant. *Advances of Bioengineering* (生物工程进展), 20(2), 20 – 25. (in Chinese with English abstract)
- Liu YL (刘友良), Wang LJ (汪良驹) (1998). Responses salt stress in plants and its salt tolerance. In: Yu SW (余叔文), Tang ZC (汤章城) eds. *Plant Physiology and Molecular Biology* (植物生理与分子生物学). Science Press, Beijing, 752 – 769. (in Chinese)
- Liu ZP (刘兆普), Liu L (刘玲), Chen MD (陈铭达), Deng LQ (邓力群), Zhao GM (赵耕毛), Tang QZ (唐奇志), Xia TX (夏天翔) (2003). Study on the irrigation systems in agriculture

by seawater. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 18, 423 – 429. (in Chinese with English abstract)

Maathuis FJM, Amtmann A (1999). K^+ nutrition and Na^+ toxicity: the basis of cellular K^+/Na^+ ratio. *Annals of Botany*, 84, 123 – 133.

Razi H, Assad MT (1999). Comparison of selection criteria in normal and limited irrigation in sunflower. *Euphytica*, 105, 83 – 90.

Tang QZ (唐奇志), Liu ZP (刘兆普) (2004). Effect of seawater on growth and leaves oxidative metabolism of sunflower seedlings. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 21, 650 – 655. (in Chinese with English abstract)

Wang BS (王宝山), Zhao KF (赵可夫) (1995). Comparison of extractive methods of Na and K in wheat leaves. *Plant Physiology Communication* (植物生理学通讯), 31, 50 – 52. (in Chinese)

Wang BS (王宝山), Zhao KF (赵可夫), Zou Q (邹奇) (1997). Advances in mechanism of crop salt tolerance and strategies for raising crop salt tolerance. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 14 (Suppl.), 25 – 30. (in Chinese with English abstract)

Yu BJ (於丙军), Luo QY (罗庆云), Liu YL (刘友良) (2003). Re-transportation of ions in *Glycine soja* and *Glycine max* seedling under NaCl stress. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology* (植物生理与分子生物学报), 29, 39 – 44. (in Chinese with English abstract)

Zhao GM (赵耕毛), Liu ZP (刘兆普), Chen MD (陈铭达) (2003). Study on salinity situation of seashore saline soil under seawater irrigation. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 36, 676 – 680. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 李银心 责任编辑: 刘丽娟