不同品种油葵对盐胁迫响应研究*

崔云玲[1]　王生录[2]　陈炳东[3†]　杨思存[1]　吕晓东[1]

（1 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所，兰州　730070）

（2 甘肃省农业科学院啤酒原料研究所，兰州　730070）

（3 甘肃省科学技术协会，兰州　730000）

摘　要　通过盆栽试验，研究了盐胁迫对不同品种油葵出苗、生长、产量及植株Na^+和K^+吸收的影响，明确不同品种油葵对盐胁迫效应的差异。结果表明，随土壤盐浓度的升高，油葵的出苗率、株高、产量和生物量均有所下降，新葵杂6号受到的抑制作用更加明显；与全生育期的相比，各品种在出苗阶段的耐盐性远高于成苗至成熟期阶段，低盐胁迫对油葵的出苗和后期生长均有一定的促进作用。研究发现当盐胁迫对油葵苗期生长的相对抑制率超过40%时不能完成其生活史，超过50%时则不能生长至成熟期，在显蕾或花期枯死。随着盐胁迫程度的加剧植株中Na^+的含量成倍增加，K^+/Na^+显著降低，而K^+含量变化较小，适宜的盐浓度可促进植株对钾的吸收，但品种间存在较大的差异，在同一盐浓度下油葵植株中Na^+含量陇葵杂1号＜法A15＜新葵杂6号，而K^+含量与K^+/Na^+则刚好相反，各品种对盐胁迫的敏感性均为花期、显蕾期＞苗期＞成熟期；减少植株对Na+的吸收，维持K^+的稳定性，保持较高K^+/Na^+是品种耐盐的重要机制之一，三个油葵品种中，陇葵杂1号耐盐性最强，其次为法A15，新葵杂6号耐盐性较差。

关键词　盐胁迫；油葵；耐盐性；产量；离子吸收

中图分类号　S565.5　　**文献标识码**　A

油葵（*Helianthus annuus*）是油用型向日葵的俗称，是世界四大油料作物之一。具有耐干旱、耐瘠薄、早熟高产、适应性强等特点，是菊科双子叶植物中的耐盐作物，有盐碱地先锋作物之称。在盐碱地上种植油葵，不仅使盐碱地在利用中逐步得到改良，同时又有良好的经济效益和生态效益，是提高盐碱地生产力和农民收入水平的有效途径之一。

植物对盐碱胁迫的适应性不仅取决于其种性[1-2]而且也与其生育阶段相关，盐碱胁迫对种子萌发与生长阶段的影响有所不同，一般种子萌发阶段的抗逆能力较强，而成苗至花期往往成为盐碱环境限制物种分布的决定性阶段。土壤盐渍化对作物的生长和产量均有极大影响[3]。Na^+在植物组织中的积累能够影响膜的选择渗透性，进而改变离子的吸收[4]，这种离子吸收的不平衡可以引起营养缺乏或毒性[5]。国内外许多学者对盐胁迫下作物的生长、体内K^+和Na^+离子含量及分布、生理指标的变化等已进行了较多的研究[6-9]。但以往研究大多集中在人工模拟条件下短期胁迫对种子萌发、幼苗生长及酶活性和离子分布的响应研究[10-11]。而在自然形成盐碱土上作物对长期盐胁迫的响应研究鲜见报道。另一方面，也为了验证发芽或幼苗期的耐盐性是否能代表其全生育期；发芽或幼苗期耐盐性较高的品种，是否在其全生育期均能表现

* 公益性行业（农业）科研专项（200903001）、甘肃省跨世纪学术带头人和创新人才工程（YZ0066200004）项目资助

† 通讯作者，E-mail: ccc3381@126.com

作者简介：崔云玲（1972-），女，甘肃永靖人，副研究员，本科，主要从事植物营养与土壤肥料方面的研究工作。E-mail：tfscyl@163.com

收稿日期：2010-10-11；收到修改稿日期：2011-04-22

出较高的耐盐性。本研究选用耐盐碱作物油葵为材料，通过盆栽实验研究长期盐胁迫对其出苗率、生长、产量及植株中Na^+、K^+吸收的影响，明确在盐胁迫环境下不同品种油葵的响应，确定其适宜的耐盐浓度，为耐盐品种的筛选和盐碱地的高效利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与作物

供试土壤取自景泰县红跃村弃耕盐碱地，盐渍土类型为氯化物—硫酸盐盐土，其盐分组成和含量见表1。供试作物为油葵，品种为法A15（FA15）（甘肃省农业科学院选育）、陇葵杂1号（LK-1）（甘肃省农业科学院选育）和新葵杂6号（XK-6）（新疆农业科学院选育）。

1.2 试验设计

盐分梯度设为：1.2（对照）、4.5、5.5、6.5、7.5、8.5、9.5、10.5、11.5、12.5、13.5、14.5、15.5、17.5、19.5、21.5、23.5、25.5、27.5、29.5 g kg^{-1}。随机排列，每隔15 d调换一次顺序，重复4次。

本试验采用盆栽方法中的土培法进行，所用盆钵为底部密闭，高23 cm、内径18 cm的白瓷盆，每盆装风干土5.5 kg。施肥量每kg土按N 150 mg、P_2O_5 100 mg、K_2O 100 mg施入，相当于每盆施尿素1.467 g（基肥0.880 g，追肥0.587 g），重过磷酸钙0.978 g，硫酸钾0.833 g。2002年6月21日进行播种，挑选大小均匀、籽粒饱满的种子，每盆播种10粒，播种后每天观察记录出苗情况。以子叶完全出土定为出苗，记录出苗时间及出苗数。根据出苗数和播种种子数计算出苗率。对于盐浓度≤9.5g kg^{-1}的处理出苗后两片真叶时定苗至5株，第一次浇水后定苗至3株。油葵生长期间的土壤水分用重量法控制，即盆重+土壤重+加水量（15%干土重），将该重设为定值，从出苗后一周开始进行水分控制，保持土壤含水量为田间持水量的70%，根据土壤水分状况每天或隔天称重（电子天平感量为1 g）补充水分至定值。苗期忽略油葵的生长量，每天保持恒重，出苗20 d以后根据油葵生长量在各个生育时期做相应调整。

表1 供试土壤基本性状

Table 1 Soil properties of the experimental field

盐渍化程度 Salinization	离子组成 Ion composition (cmol kg^{-1})							含盐量 Salt content (g kg^{-1})	pH
	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^++Na^+		
重度盐渍土 Severe soil salinization	1.97	0	191.55	271.43	1.67	60.65	243.48	29.5	8.8
无盐渍化土 No soil salinization	3.93	0	3.10	12.24	12.5	4.10	3.04	1.21	8.2

1.3 测定方法

相对出苗率（%）：从播种后第3天开始，每天早晨8:00和下午18:00各统计一次出苗数，直至再无幼苗出土为止，因种子本身活力会带来误差，故需计算相对出苗率，用相对出苗率

来表示其萌发期的耐盐性。相对出苗率（%）=盐渍土出苗率/对照出苗率×100。

耐盐适宜浓度、半致死盐浓度和致死盐浓度的确定：耐盐适宜浓度（g kg^{-1}）是相对出苗率达对照出苗率75%以上时相对应的盐浓度；耐盐半致死浓度（g kg^{-1}）是出苗率达对照出苗率50%时相对应的盐浓度；耐盐极限浓度（g kg^{-1}）是出苗率达对照出苗率10%时相对应的盐浓度。

油葵生长的苗期、显蕾期、开花期和成熟期测定株高，收获时计产，分析植株K^+、Na^+含量。生长抑制率=（对照的生长速度－盐处理的生长速度）×100/对照的生长速度。土壤全盐量、pH及盐分组成和植株K^+、Na^+含量的测定方法均参照文献[12]。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对油葵出苗率的影响及耐盐浓度的确定

种子耐盐性是耐盐碱植物筛选与早期鉴定的主要依据之一。种子能否在盐胁迫下萌发成苗，是植物在盐碱条件下生长发育的前提[13]。在盐分胁迫下种子萌芽会受到抑制，但由于物种耐盐特性不同其受抑制程度差异较大。植物种子萌发和出苗是其完成生活史的前提条件，研究种子的出苗率更能反映生产实际。

2.1.1 盐胁迫对油葵出苗率的影响　　三个油葵品种的出苗率均与盐胁迫呈极显著负相关（表2），随盐胁迫程度的增强，各品种的相对出苗率均逐渐下降（图1），下降程度因品种而异；不同胁迫条件下，法A15和陇葵杂1号出苗率均大于新葵杂6号；在盐浓度＜9.5 g kg^{-1}时陇葵杂1号的出苗率高于法A15，超过该浓度则反之，其中法A15出苗率在1.2～21 g kg^{-1}胁迫浓度下下降不显著，陇葵杂1号出苗率在1.2～14 g kg^{-1}胁迫浓度下下降不显著，新葵杂6号在9.5 g kg^{-1}时显著下降，说明新葵杂6号较法A15和陇葵杂1号对盐胁迫更为敏感。

此外，低盐胁迫（盐浓度<6.5 g kg^{-1}）油葵出苗时间较对照提早1～1.5 d，当超过该浓度出苗时间随着盐胁迫强度的增强而推迟，说明低盐浓度对油葵种子的萌发有一定的促进作用，但超过一定限度即产生抑制作用。这与王桂芹等[14]对向日葵不同品种耐盐碱性的研究结果一致，而与刘杰等[15]对向日葵种子萌发的研究结果相反。从品种看陇葵杂1号于播种后第4天开始出苗，新葵杂6号于第6天开始出苗，法A15于第7天开始出苗，这与品种特性有关，出苗整齐度：法A15>陇葵杂1号>新葵杂6号。

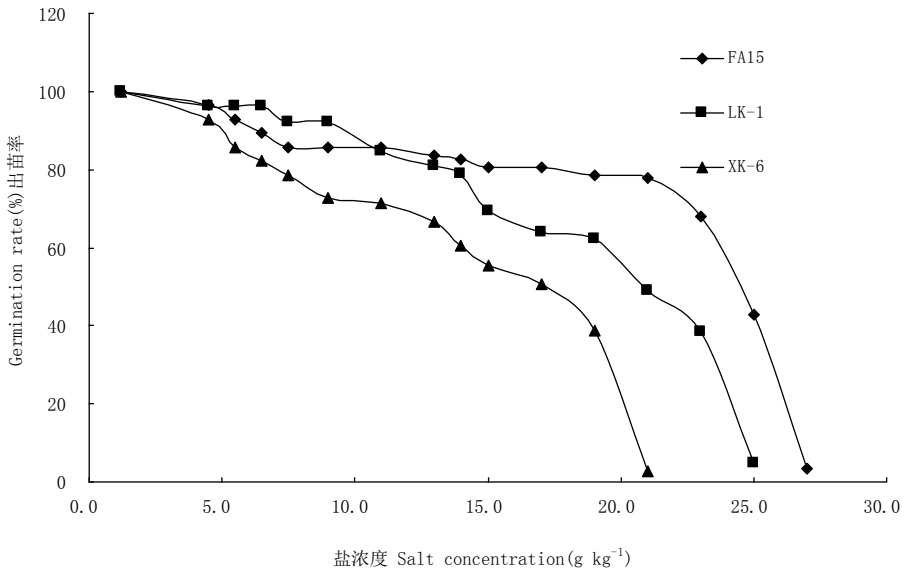


图1 盐胁迫对油葵种子出苗率的影响

Fig.1 Effects of salt stress on germination rate of oil sunflower

2.1.2 盐胁迫条件下油葵出苗耐盐浓度确定　　盐浓度（*X*）与出苗率（*Y*）进行多项式分析表明（表2）：相对出苗率与土壤盐浓度呈极显著负相关关系（r_{FA15}=-0.900 4、r_{LK-1}=-0.983 6、r_{XK-6}=-0.970 0），用回归方程求得法A15、陇葵杂1号和新葵杂6号种子出苗的耐盐适宜浓度、耐盐半致死浓度和最大耐盐极限浓度，在本试验条件下三个油葵品种出苗的耐盐能力为：法A15>陇葵杂1号>新葵杂6号。

表2 不同品种油葵种子出苗率与土壤盐浓度的相关分析及其耐盐临界值

Table 2 Correlation analysis of germination rate of different oil sunflower varieties and salt concentration, and critical values of salt concentration

品种 Variety	回归方程 Regression equation	*r*	盐浓度Salt concentration (g kg^{-1})		
			耐盐适宜浓度 Tolerable salt concentration	耐盐半致死浓度 Half-lethal salt concentration	耐盐极限浓度 Limit salt concentration
FA15	Y=-0.168 9X^2+2.407 5X+85.499	-0.900 4**	＜17.76	23.28	29.44
LK-1	Y=-0.175 3X^2+1.217 1X+95.289	-0.983 6**	＜14.78	19.92	25.80
XK-6	Y=-0.168 4X^2-0.222 9X+94.843	-0.970 0**	＜10.21	15.67	21.79

注：*Y*表示种子相对出苗率，*X*表示土壤盐浓度；*和**分别代表相关系数在5%和1%显著水平 Note: *Y* indicates relative germination rate of seed, *X* indicates soil salt concentration. * and ** represent the correlation coefficient is significant at 5% and 1% level, respectively

2.2 盐胁迫对油葵生长的影响

盐分对植物个体形态发育具有显著的影响，主要表现为抑制植物组织和器官的生长。而生长抑制是植物对盐渍响应最敏感的过程。

定苗控水后主要表现：从盐浓度为 7.5 g kg^{-1} 开始有盐分表积，盐浓度为 9.0 g kg^{-1} 时有盐霜出现，当盐浓度超过 11 g kg^{-1} 时控水 5 d 后则全株枯死，即不能成苗。幼苗的盐害症状表现

为低盐浓度胁迫下植株表现为叶色变淡，随着胁迫浓度的增加和胁迫时间的延长，叶片变黄变干，且茎秆弯曲或植株萎蔫，叶色斑状淡黄或干枯，这种表现一般是从下部老叶开始，逐渐向上延伸，严重者心叶发黄并向外卷曲，呈油浸状枯死。

如表 3 所示，在盐胁迫下，随盐分浓度的升高，油葵的株高降低；随着盐胁迫时间的延长，这种抑制作用将更加显著，且三个品种间存在着一定的差异，盐胁迫对盐敏感品种的生长的影响显著大于耐盐品种，对油葵生长的抑制作用表现为新葵杂 6 号>法国 A15>陇葵杂 1 号。

表 3 盐胁迫对油葵不同生育期株高的影响

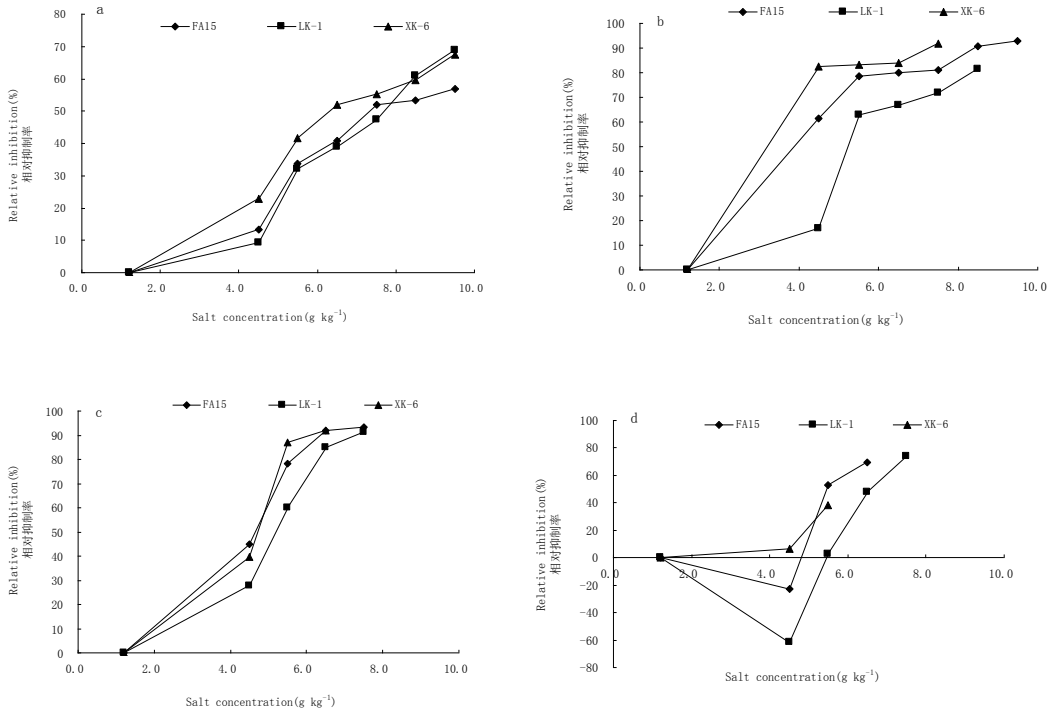
Table 3 Effects of salt stress on plant height at different growth stages of oil sunflower

品种 Variety	盐浓度 Salt concentration (g kg^{-1})	株高 Plant height (cm)			
		苗期 Seedling	显蕾期 Budding	开花期 Flowering	成熟期 Maturing
FA15	1.2	29.70±1.64aA	36.42±2.93aA	65.39±1.63aA	75.40±1.06aA
	4.5	25.70±0.73bB	28.47±1.27bB	48.44±1.97bB	58.70±0.90bB
	5.5	19.71±1.12cC	21.25±0.27cC	29.08±0.75cC	33.00±0.78cC
	6.5	17.61±0.92dC	19.06±0.08cdCD	21.92±0.48dD	24.67±1.18dD
	7.5	14.23±0.09eD	15.59±0.29deCD	18.00±0.33eD	—
	8.5	13.83±0.37eD	13.50±0.08eD	—	—
	9.5	12.80±0.16efD	13.31±0.72eD	—	—
LK-1	1.2	37.20±2.29aA	43.87±2.13aA	76.67±1.57aA	87.33±1.03aA
	4.5	33.80±2.11bA	39.73±2.24bB	69.33±2.87bA	86.56±1.23aA
	5.5	25.28±1.71cB	27.93±2.21cC	44.28±4.10cB	54.67±1.19bB
	6.5	19.29±1.15dC	21.67±0.24dD	27.89±2.02dC	33.43±1.31cC
	7.5	18.63±0.58dC	20.64±0.70dDE	24.24±0.99deC	27.00±0.36cC
	8.5	13.31±0.67eCD	14.43±0.46eE	22.00±0.16eC	—
	9.5	11.60±0.29fD	—	—	—
XK-6	1.2	35.10±1.84aA	43.57±1.78aA	76.61±1.09aA	91.22±1.43aA
	4.5	27.07±1.48bB	28.67±1.81bB	53.61±2.02bB	67.31±1.35bB
	5.5	21.25±0.81cC	23.53±0.12cC	28.77±11.02cC	37.75±0.59cC
	6.5	20.25±1.35cCD	21.71±0.71cC	25.00±1.47cC	—
	7.5	15.70±0.92dDE	16.43±0.31dC	—	—
	8.5	14.89±0.23dEF	—	—	—
	9.5	11.42±0.89eF	—	—	—

注：数据后不同字母表示处理间差异达5%和1%显著水平，下同。 Note: Values followed by different letters mean significant in difference among treatments at 5% and 1% level. The same below.

盐胁迫对三个油葵品种相对生长抑制率的影响各不相同，且在不同的生长阶段表现各异（图 2a～图 2d），随着盐胁迫强度的加剧，对油葵生长的抑制作用明显增加。对盐敏感品种的抑制作用总是强于耐盐品种。由图 2a 可看出当盐胁迫对油葵苗期生长的相对抑制率超过 40%时不能完成其生活史，超过 50%时则不能生长至成熟期，植株在显蕾或花期枯死，三个品种均表现出相同的趋势。在同一盐浓度下的相对抑制率表现为随着盐胁迫时间的延长呈先增加后降低的趋势。同一品种不同生育时期对盐胁迫的敏感性：花期、蕾期>苗期>成熟期，在花期以后低盐胁迫对油葵的生长反而有一定的促进作用，这与油葵出苗时的表现相一致。盐胁

迫对油葵生长的相对抑制作用：新葵杂 6 号>法国 A15>陇葵杂 1 号。由此可见，三个油葵品种中，法 A15 在显蕾期前比较耐盐，而陇葵杂 1 号在显蕾期后比较耐盐，新葵杂 6 号为盐敏感品种。



a：苗期 Seedling；b：显蕾期 Budding；c：开花期 Flowering；d：成熟期 Maturing

图 2 盐胁迫对油葵不同生育期相对抑制率的影响

Fig. 2 Effect of salt stress on relative inhibition of oil sunflower at different growth stages

2.3 盐胁迫对油葵籽粒及生物产量的影响

盐胁迫往往造成作物生长受阻，生物量、产量降低，严重影响作物的经济效应。盐胁迫对作物生长的伤害是衡量作物耐盐性强弱的重要尺度[16]。由表 4 可看出，随着盐胁迫强度的加剧，油葵的生长受到严重抑制，籽粒及生物产量呈明显下降趋势，盐胁迫对籽粒产量的影响显著大于生物产量，且各品种之间存在明显的差异，对耐盐性强的品种的影响小于盐敏感品种。法 A15 在盐浓度≤6.5 g kg^{-1} 时可获得生物产量，盐浓度≤4.5 g kg^{-1} 时可完成其生活史；陇葵杂 1 号盐浓度≤7.5 g kg^{-1} 时可获得生物产量，盐浓度≤5.5 g kg^{-1} 时可完成其生活史；新葵杂 6 号盐浓度≤5.5 g kg^{-1} 时可获得生物产量，盐浓度≤4.5 g kg^{-1} 时可完成其生活史。在相同的盐浓度下对生物及籽粒产量的影响：新葵杂 6 号>法 A15>陇葵杂 1 号。油葵可完成其生活史和获得生物量的耐盐性为陇葵杂 1 号>法 A15>新葵杂 6 号，超过其限度则生长受阻，在蕾期或花期枯死。三个油葵品种中，陇葵杂 1 号的耐盐性最强，法 A15 次之，新葵杂 6 号较差。

表 4 盐胁迫对油葵籽粒及生物产量的影响

Table 4 Effect of salt stress on grain yield and biomass of oil sunflower

品种 Variety	盐浓度 Salt concentration (g kg^{-1})	产量 Yield (g pot^{-1})		较对照减产 Decreased (%)	
		生物 Biomass	籽粒 Grain	生物 Biomass	籽粒 Grain
FA15	1.2	46.13±0.39A	17.73±0.17A	—	—
	4.5	21.23±2.04B	6.40±0.96B	54.0	63.9
	5.5	6.50±0.24C	—	85.9	—
	6.5	4.80±0.41C	—	89.6	—
LK-1	1.2	57.47±2.03A	18.93±0.68A	—	—
	4.5	40.40±5.06B	11.13±1.31B	29.7	41.2
	5.5	13.07±1.11C	2.20±0.14C	77.2	88.4
	6.5	4.12±0.06D	—	92.8	—
	7.5	3.70±0.10D	—	93.6	—
XK-6	1.2	58.00±3.01A	18.57±1.14A	—	—
	4.5	20.27±3.09B	4.19±1.07B	65.0	77.4
	5.5	5.70±0.37C	—	90.2	—
	6.5	—	—	—	—

2.4 盐胁迫对油葵植株 K^+、Na^+含量及 K^+/Na^+比的影响

抗性品种在盐胁迫下通常能保持较低浓度的钠含量，维持钾浓度平衡[17]。

三个油葵品种植株中 Na^+的含量（图 3a）在胁迫下均随盐浓度的增加较对照成倍增加（$p<0.05$）。其中法 A15 增加了 5.8 倍～12.6 倍，陇葵杂 1 号增加了 2.2 倍～33.6 倍，新葵杂 6 号增加了 4.2 倍～9.3 倍；在同一盐浓度下植株的 Na^+含量：新葵杂 6 号>法 A15>陇葵杂 1 号，说明耐盐品种可通过自身的调解阻止 Na^+的吸收，从而减轻其危害。

图 3b 结果显示：油葵植株中 K^+的含量随盐浓度的增加呈先增加后减小的趋势（图 3b），不同胁迫水平之间当盐浓度≤5.5 g kg^{-1} 时差异不显著（$p>0.05$），＞5.5 g kg^{-1} 时差异显著（$p<0.05$），表明适宜的盐胁迫可促进油葵对钾的吸收，但超过其限度则产生抑制作用，在同一盐浓度下植株的 K^+含量表现与 Na^+相反。

三个油葵品种对照处理的 K^+/Na^+均最高（图 3c），其中 A15 为 18.2，陇葵杂 1 号为 33.6，新葵杂 6 号为 11.0，可见耐盐品种显著高于盐敏感品种。随着盐胁迫强度的增加，K^+/Na^+大幅度降低（$p<0.05$），但当达到一定程度后其比值趋于稳定。同一盐浓度下植株的 K^+/Na^+表现与 K^+是一致的。这说明减少对 Na^+的吸收，将 K^+维持在较稳定的范围，保持较高的 K^+/Na^+，是耐盐品种适应高盐环境的重要机制之一。

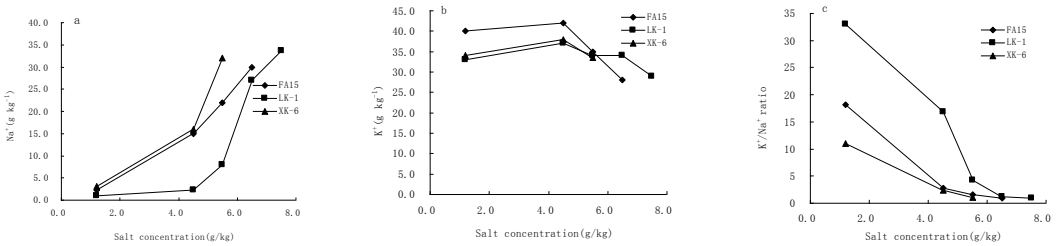


图 3 盐胁迫对油葵 Na^+、K^+含量和 Na^+/K^+比的影响

Fig. 3 Effect of salt stress on Na^+ and K^+ contents and K^+/Na^+ ratio in shoot of oil sunflower

3 结论与讨论

盐胁迫对种子萌发的研究已有许多报道[18-20]，种子耐盐性因种类和品种的不同而存在一定的差异。盐胁迫对盐生植物和非盐生植物而言，均造成种子出苗率下降、出苗时间推迟和延长[11]。郑青松等[10]研究表明，油葵在萌发出苗阶段表现较强的耐盐性。王桂芹等[14]研究表明，低浓度的盐分对杂交油葵种子萌发具有明显的促进作用，相反淡水对其种子萌发则具有一定的抑制作用。本实验结果表明，三个油葵品种均可在较高的盐胁迫强度下出苗，但超过一定限度则出苗率显著降低，三个油葵品种出苗期的耐盐能力：法A15>陇葵杂1号>新葵杂6号。低盐胁迫可促进油葵出苗且对其生长不造成显著影响，较高盐浓度胁迫虽然对其出苗率影响不明显，但对其成苗和生长均将受到不同程度的抑制，过高的盐浓度胁迫导致种子坏死，幼苗死亡和幼根腐烂。这与卢静君等[21]对进口草种、王征宏等[22]对紫花苜蓿的研究结果相一致。

生长抑制、生物量降低是盐胁迫下植物最敏感的生理响应[23]。本研究表明油葵不同品种在幼苗生长期的耐盐性存在明显差异，这与前人在其他植物上的耐盐性研究结果一致[24-25]。除出苗率外，苗期、显蕾期、开花期也是植物对盐胁迫最敏感的时期[26]。因此，苗期、显蕾期和开花期的耐盐性可以在很大程度上反映出该品种的耐盐性。对三个品种油葵全生育期生长的研究表明，随着盐胁迫强度的增加和胁迫时间的延长，盐胁迫对油葵的生长发育均产生了不同程度的抑制作用，盐胁迫对盐敏感品种的生长的影响显著大于耐盐品种。本研究还发现当盐胁迫对油葵苗期生长的相对抑制率超过40%时不能完成其生活史，超过50%时则不能生长至成熟期，在显蕾或花期枯死。同一品种在不同生育时期对盐胁迫的敏感性：花期、蕾期>苗期>成熟期。

植物具有K^+、Na^+吸收选择性，K^+/Na^+大小是评价不同植物耐盐性的重要标准[27-28]。盐碱化土壤上的作物往往受到Na^+毒害和K^+亏缺的双重伤害，耐盐作物则通过选择性吸收K^+，提高K^+/Na^+比来提高作物的耐盐性[29]。耐盐植物品种的K^+/Na^+比高于盐敏感的植物或品种。本实验结果为随着盐胁迫强度的加剧三个油葵品种植株中Na^+的含量较对照成倍增加，但在同一盐浓度下植株Na^+含量仍然较盐敏感品种低，而植株中K^+的含量与K^+/Na^+表现则相反，适宜的盐胁迫可促进油葵对钾的吸收，但超过其限度则产生抑制作用，对盐敏感品种的抑制作用高于耐盐品种。

综上所述，油葵本身对盐胁迫具有一定的适应能力，与全生育期相比，三个品种在出苗

阶段的耐盐性远高于成苗至成熟期，低盐胁迫对油葵的出苗和后期生长均有一定的促进作用。盐胁迫对油葵的最直接的响应是生长受抑制，且随着胁迫强度的增加和时间的延长这种作用表现的更加明显，三个油葵品种对盐胁迫的敏感性均为花期、显蕾期＞苗期＞成熟期。减少植株对Na^+的吸收，维持K^+的稳定性，保持较高K^+/Na^+是品种耐盐的重要机制之一，三个油葵品种中，陇葵杂1号耐盐性最强，其次为法A15，新葵杂6号耐盐性较差。

参考文献

[1] Katerji N, van Hoorn J W, Hamdy A, et al. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. Agric Water Manag, 2000, 43: 99-109

[2] Katerji N, van Hoorn J W, Hamdy A, et al. Salt tolerance of crops according to three classification methods and examination of some hypothesis about salt tolerance. Agric Water Manag, 2001, 47: 1-8

[3] Yang J S, Zhao Q G, Zhu S Q, et al. Features of salt-affected soils and salinization hazard in East Asia and its neighboring regions. Pedosphere, 1995, 5(1): 21-34

[4] Khan M S A, Hamid A, Salahuddin A B M, et al. Effect of NaCl on growth, photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice (*Oryza sativa* L). J Agron Crop Sci, 1997, 179: 149-161

[5] Zou B J, Mo R C. Distribution of soil zinc, iron, copper and manganese fractions and its relationship with plant availability. Pedosphere, 1995, 5(1): 35-44

[6] Gorham J. Salt tolerance in the triticeae: Ion distribution in rye and triticale. Journal of Experimental Botany, 1990, 41: 609-614

[7] 陈德明，俞仁培．作物相对耐盐性的研究Ⅰ.大麦和小麦不同生育期的耐盐性．土壤学报，1995，32(4): 414-422. Chen D M, Yu R P. Studies on relative salt tolerance of crops Ⅰ. Salt tolerance of barley and wheat at different growth stages (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1995, 32(4): 414-422

[8] Hussain N, Ali A, Sarwar G, et al. Mechanism of salt tolerance in rice. Pedosphere, 2003, 13(3): 233-238

[9] Yan X K, Chang K W, Xu H L. Effects of paper mill sludge on potassium, sodium, calcium and magnesium concentrations in different soy-bean cultivars. Pedosphere, 2005, 15(1): 84-94

[10]郑青松，陈刚，刘玲，等．盐胁迫对油葵种子萌发和幼苗生长及离子吸收、分布的效应．中国油料作物学报，2005, 27(1):60-64. Zheng Q S, Chen G, Liu L, et al. Effects of salt stress on emergence, growth, ionic absorption and distribution of oil sunflower seedlings (In Chinese). Chinese Journal of Oil Crop Science, 2005, 27(1):60-64

[11]Shinozaki K, Dennis E S. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Current Opinion in Plant Biology, 2003, 6(5):441-445

[12]鲁如坤．土壤农业化学分析方法．北京：中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. Analytical methods for soil and agricultural chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000

[13]孙国荣，陈月艳，关旸，等．盐碱胁迫下星星草种子萌发过程中有机物、呼吸作用及其几种酶活性的变化．植物研究, 1999, 19(4):445-451. Sun G R, Chen Y Y, Guan Y, et al. Changes of organic matters, respiration and several enzyme activities of *Puccinellia tenuiflora* seeds under alkaline salt stress (In Chinese). Bulletin of Botanical Research, 1999, 19(4):445-451

[14]王桂芹，段亚军．向日葵不同品种耐盐碱性与解剖结构比较研究．昭乌达蒙族师专学报，2002，23(6): 343-346. Wang G Q, Duan Y J. A comparative study on saline-alkali tolerance and anatomical structure of different sunflower cultivars (In Chinese). Journal of Zhaowuda Mongolian Teachers College, 2002, 23(6): 343-346

[15]刘杰，张美丽，张义，等．人工模拟盐、碱环境对向日葵种子萌发及幼苗生长的影响．作物学报，2008, 34(10): 1 818-1 825. Liu J, Zhang M L, Zhang Y, et al. Effects of simulated salt and alkali conditions on seed germination and seedling growth of sunflower (In Chinese). Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(10): 1 818-1 825

[16]刘春卿，杨劲松，陈德明，等．不同耐盐性作物对盐胁迫的响应研究．土壤学报，2005，42(6)：993-998．Liu C Q, Yang J S, Chen D M, et al. Response to salt stress of crops different in salt tolerance (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(6): 993-998

[17]Bowler C, Slooten L, Vandenbranden S, et al. Manganese superoxide dismutase can reduce cellular damage mediated by oxygen radicals in transgenic plants. The EMBO Journal, 1991, 10: 1 723-1 732

[18]武俊英，刘景辉，翟利剑，等．不同品种燕麦种子萌发和幼苗生长的耐盐性．生态学杂志，2009，28(10)：1 960-1 965．Wu J Y, Liu J H, Zhai L J, et al. Salt-tolerance of seed germination and seeding growth of different oat varieties (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(10):1 960-1 965

[19]穆俊丽，李建科，杨静慧，等．不同油葵品种种子萌发期的耐盐性研究．北方园艺，2009(5):26-30．Mu J L, Li J K, Yang J H, et al. Salt tolerance of *Helianthu*s varieties at germination stage (In Chinese). Northern Horticulture, 2009(5):26-30

[20]赵丽萍，石东里，刘俊华．大穗结缕草幼苗耐盐生理机制及耐盐能力研究．西北植物学报，2009，29(7)：1 421-1 425．Zhao L P, Shi D L, Liu J H. Salt tolerance and its physiology mechanisms of *Zoysia macrostachya* seedlings (In Chinese). Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2009, 29(7): 1 421-1 425

[21]卢静军，李强，多立安．盐胁迫对金牌美达丽和猎狗种子萌发的影响．植物研究，2002，22(3)：328-332．Lu J J, Li Q, Duo L A. Effect of salt stress on seed germination of *Lolium perennel* L and *Festuca elata keng* (In Chinese). Bulletin of Botanical Research, 2002, 22(3): 328-332

[22]王征宏，杨起，张亚冰．盐胁迫下紫花苜蓿种子的萌发特性．河南科技大学学报：自然科学版，2006，27(1)：67-69．Wang Z H, Yang Q, Zhang Y B. Germination characteristics of seeds under salt stress in *Medicago sativa* L (In Chinese). Journal of Henan University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2006, 27(1): 67-69

[23]吴成龙，周春霖，尹金来，等．NaCI胁迫对菊芋幼苗生长及其离子吸收运输的影响．西北植物学报，2006，26(11)：2 289-2 296．Wu C L, Zhou C L, Yin J L, et al. NaCl stress on the growth, ion uptake and transport of *Helianthus tuberosus* L seedlings (In Chinese). Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2006, 26(11): 2 289-2 296

[24]安守芹，于卓，孔丽娟，等．花棒等四种豆科植物种子萌发及苗期耐盐性的研究．中国草地，1995(6)：29-32．An S Q, Yu Z, Kong L J, et al. A study on seed germination and seedling salt-tolerance of four Legume species (In Chinese). Chinese Journal of Grassland, 1995(6): 29-32

[25]李磊，赵檀方，胡延吉．大麦苗期耐盐性鉴定指标的研究．莱阳农学院学报，1998，15(4)：253-257．Li L, Zhao T F, Hu Y J. Studies on identity indicators of salt tolerance at seedling stage in barley (In Chinese). Journal of Laiyang Agricultural College, 1998, 15(4):253-257

[26]阮松林，薛庆中．盐胁迫条件下杂交水稻种子发芽特性和幼苗耐盐生理基础．中国水稻科学，2002，16(3)：281-284．Ruan S L, Xue Q Z. Germination characteristics of seeds under salt stress and physiological basis of salt-tolerance of seedlings in hybrid rice (In Chinese). Chinese Journal Rice Science, 2002, 16(3): 281-284

[27]Mahmood K. Effects of salinity, external K^+/Na^+ ratio and soil moisture on growth and ion content of *Sesbania rostrata*. Biologia Plantarum, l998, 41:297-302

[28]Ashraf M. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora, 2004, 199:361-376

[29]Catalan L, Balzarini Z, Talesnik E, et a1. Effects of salinity on germination and seedling growth of Prosopisflexosa (D C). For Ecol Manage, 1994, 63:347-357

Responses of Different Varieties of Oil Sunflower to Salt Stress

Cui Yunling[1] Wang Shenglu[2] Chen Bindong[3†] Yang Sicun[1] Lü Xiaodong[1]

(1 *Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou* 730070, *China*)

(2 *Institute of Beer Raw Materials, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou* 730070, *China*)

(3 *Gansu Association for Science and Technology, Lanzhou* 730000, *China*)

Abstract A pot experiment was conducted to study effects of salt stress on emergence, growth, yield and absorption of Na^+ and K^+ of oil sunflower in order to clarify differences in response to salt stress between different varieties of oil sunflower. Results show that increased soil salt concentration decreased emergence rate, plant height, yield and biomass of oil sunflower, regardless of varieties, and the inhibitory effects were more apparent with Variety XK-6 than with Varieties LK-1 and FA15. Oil sunflower was much more tolerant to salt stress at the germination stage than at any later stages, and lower salt stress was somewhat beneficial to emergence and growth of oil sunflower. It was found that when the relative inhibition rate of salt stress reached over 40% at the seedling stage, the plant could not complete its life cycle, and when over 50%, it could not survive the budding or flowering stage. Na^+ content in oil sunflower plants increased multiplied with increasing soil salt concentration, but K^+ content did not change much, thus lowering K^+/Na^+ ratio drastically. So, proper salt concentration may promote K^+ absorption by oil sunflower, but big differences exist between the varieties. The oil sunflower plants under the same salt stree followed an order of LK-1 < FA15 < XK-6 in Na^+ content, and a reverse order in K^+ content and K^+/Na^+ ratio. In terms of sensitivity of the plant at different stages to salt stress, a decreasing order of flowering stage and budding stage > emergence stage > maturity stage was worked out. Therefore, it seems to be a major mechanism of oil sunflower tolerating salt to reduce Na^+ absorption, keep K^+ stability and maintain higher K^+/Na^+ ratio in plants. The three varieties show a decreasing order of LK-1 > FA15 > XK-6 in salt tolerance.

Key words Salt stress; Oil sunflower; Salt tolerance; Yield; Ion uptake