

盐碱胁迫对向日葵体内矿质营养的影响

刘 杰^{1,2}

(1. 潍坊科技学院, 山东 寿光 262700; 2. 东北师范大学 生命科学学院, 吉林 长春 130024)

摘 要:以向日葵品种“白葵杂 6 号”为试材, 将中性盐 NaCl 、 Na_2SO_4 和碱性盐 NaHCO_3 、 Na_2CO_3 按不同比例混合, 模拟出单纯盐胁迫和盐碱混合胁迫条件处理向日葵, 测定了向日葵幼苗生长及体内各矿质元素含量等指标; 在此基础上, 从根外矿质离子存在状态及体内矿质营养水平, 探讨盐、碱 2 种胁迫对向日葵矿质离子吸收的影响。结果表明: 盐、碱胁迫下向日葵体内矿质元素积累明显不同; 盐胁迫下氮、磷、硫、铁等元素的含量非但没下降反而有所升高; 而盐碱混合胁迫下, 几乎所有矿质营养元素的含量均明显降低; 碱胁迫的高 pH 导致根外环境中矿质离子的活度及游离度急剧降低甚至沉淀, 加之根吸收能力的降低, 是其表现出营养胁迫的根本原因; 碱胁迫对植物所造成的营养破坏效应既是碱胁迫的主要致害因素之一, 也是其基于盐胁迫的主要原因之一。

关键词:向日葵; 盐胁迫; 盐碱混合胁迫; 矿质营养

中图分类号:S 565.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)02-0001-05

土壤盐碱化是一个世界性的难题, 不仅限制农业生产, 而且更多的涉及全球生态系统的稳定性问题以及生物多样性的改变。我国盐碱化耕地及草原盐碱化日趋严重, 已经成为限制我国农业经济发展的重要因素^[1]。所以恢复及合理开发利用这些盐碱化土地资源是保证我国农业可持续发展的重要途径之一, 也对改善生态环境、推动区域经济及生态和谐发展具有重要意义^[1]。

目前人们对碱胁迫这一严重的环境问题越来越关注, 已有不少关于盐碱土^[2]、碱性盐胁迫^[3-11]以及中碱性盐混合胁迫^[12-14]的报道, 尽管这些报道证明了碱胁迫的客观存在, 而且还揭示了碱胁迫甚于盐胁迫的事实^[6], 但这些研究大都集中于盐、碱胁迫比较, 或植物在渗透调节及离子平衡方面的抗碱机制, 没有涉及碱胁迫对植物矿质营养的影响。

碱胁迫不仅直接影响到根的吸收功能, 而且碱胁迫的高 pH 还将导致土壤中某些矿质元素的溶解度下降甚至形成沉淀, 或使其离子活性和游离度下降, 根吸收能力及其周围矿质营养供应能力均下降, 很可能使植物营养亏缺或营养失衡。因而, 在碱胁迫对植物作用的诸因素中除了与盐胁迫相同的渗透、离子毒害等之外, 还应

该包括营养胁迫, 而后者可能就是盐、碱 2 种胁迫的主要区别之一。鉴于此, 有必要从营养胁迫角度对碱胁迫和盐胁迫加以对比研究。

该研究以抗碱性较强的油料作物向日葵为试材, 从生产实际出发, 根据中国东北地区盐碱地所含盐分特点来模拟典型的盐碱混合胁迫, 以探讨盐、碱胁迫对向日葵体内矿质营养的影响, 以期验证营养胁迫是碱胁迫的主要致害因素之一。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试向日葵“白葵杂 6 号”, 由吉林省向日葵研究所自选不育系“H-01A”为母本, “RHA-K”为父本杂交选育育成, 该品种具有中早熟、高产、高油, 高抗褐斑病、抗黑斑病, 高耐菌核病, 高抗螟虫, 生育前期较耐旱, 耐盐碱, 适应性强等特性, 是吉林省向日葵产区主推品种。该试验于 4~6 月在室外进行, 人工遮雨。

1.2 试验方法

1.2.1 盐碱胁迫条件设计 根据中国东北地区天然盐碱地所含盐分的种类及其碱胁迫与盐胁迫混合存在的特点, 该试验设计了单纯盐胁迫处理组和盐碱混合胁迫处理组, 分别标记为 S、MSA。每处理组内设 50、100 mmol/L 2 个处理浓度。2 个处理组均以 0 mmol/L 为对照。其中 S 组只含有中性盐。MSA 组既含有中性盐也含有碱性盐。根据向日葵的耐碱性, 设定 2 种碱性盐 NaHCO_3 和 Na_2CO_3 , 其摩尔比为 9:1。为保证在总盐浓度相同时总离子浓度也相同, 将 2 种中性

作者简介:刘杰(1984-), 女, 博士, 讲师, 现主要从事植物逆境生理生态的教学与科研工作。E-mail:liujie655@163.com

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31072078); 潍坊科技学院博士基金资助项目(W13K012); 山东半岛蓝色经济工程研究院科研计划资助项目(sdlgy2013y014)。

收稿日期:2013-10-25

盐 NaCl 和 Na_2SO_4 的摩尔比也设定为 9:1。MSA 组在含有 45 mmol/L 碱性盐的基础上再用中性盐补充到设计的总浓度。各处理的具体盐分组成及浓度见表 1。

1.2.2 胁迫处理方法 将直径 24 cm 的塑料花盆等量盛装充分洗净的细砂,在播种之前先以含有相应胁迫盐的完全营养液对盆中的砂子进行透灌,以模拟天然盐碱

化条件。挑选饱满均匀一致的种子,等距播种,每穴 2 粒种子,每盆共 6 个穴。最后等苗出齐后每孔保留 1 株幼苗。每处理播种 3 盆,3 次重复。播种后每隔 2 d 于 17:00~18:00 时以含有相应胁迫盐的完全营养液(每盆 1 000 mL)分数次透灌各处理组。对照(0 mmol/L)以等量完全营养液浇灌。其余时间用蒸馏水补充所失水分。

表 1 各处理组盐分(NaHCO_3 、 Na_2CO_3 、NaCl 和 Na_2SO_4)含量及 pH

Table 1 The concentrations of various salts (NaHCO_3 , Na_2CO_3 , NaCl and Na_2SO_4) and pH in treatments

处理 Treatment	NaHCO_3 /mmol · L ⁻¹	Na_2CO_3 /mmol · L ⁻¹	NaCl /mmol · L ⁻¹	Na_2SO_4 /mmol · L ⁻¹	Total salinity /mmol · L ⁻¹	pH
对照 Control(CK)	0	0	0	0	0	6.76
盐胁迫 Salt stress(S1)	0	0	45	5	50	6.79
盐胁迫 Salt stress(S2)	0	0	90	10	100	6.78
盐碱混合胁迫 Salt-alkaline mix stress(MSA1)	40.5	4.5	4.5	0.5	50	8.21
盐碱混合胁迫 Salt-alkaline mixed stress(MSA2)	40.5	4.5	50.5	5.5	100	8.23

1.3 项目测定

1.3.1 幼苗生理指标测定 苗出齐 13 d 后,小心取出每盆所有植株,用自来水洗净根部沙子,再用去离子水冲洗全株 3 次,并用吸水纸吸去植株表面附着的水分。然后于 105℃烘箱杀青 15 min,80℃烘箱烘至恒重,称其干重。矿质元素含量测定:向日葵叶片干样消化后待测,其中钠(Na)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)元素含量用原子吸收光谱仪(TAS-990,Purkinje General,Beijing)测定;磷(P)元素含量用钼蓝比色法测定;氯(Cl)元素含量用离子色谱法分析测定(美国戴安公司生产 DX-300 离子色谱系统,AS4A-SC 色谱柱,CDM-II 电导检测器,以 1.7 mmol/L Na_2CO_3 、1.8 mmol/L NaHCO_3 的混合溶液为流动相);氮(N)元素含量用凯氏定氮法测定;硫(S)元素含量参照《植物生物化学分析方法》来测定^[15]。

1.3.2 处理液中各离子活度、游离度及存在状态的分析 用软件 GEOCHEM-PC 2.0 分析处理液中各矿质元素的离子活度(IA)、游离度(FC)及存在状态。对比盐、碱胁迫对植物矿质营养元素存在状态的影响。

1.4 数据分析

数据处理及方差等统计学分析均用统计学软件 SPSS 14.0 完成。试验所有数据均以 3 次重复的平均值及其标准误差(±SE)表示,检验水平为 5%。各处理平均值用多重比较(LSD)检测统计学差异。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫对向日葵整株干重的影响

由图 1 可知,向日葵整株干重随着盐度的增加逐渐减小,并且混合盐碱胁迫下降幅远远大于单纯的盐胁迫。

2.2 盐碱胁迫对矿质元素含量的影响

从图 2 可以看出,在单纯盐胁迫下,氮、磷、硫和铁 4 种元素的含量均高于对照,然而盐碱混合胁迫下其含量

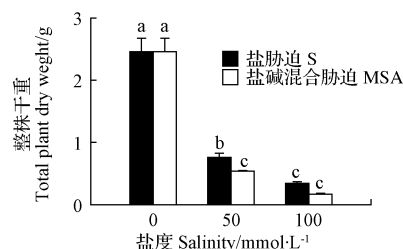


图 1 盐碱混合胁迫对向日葵整株干重的影响

Fig.1 Effects of salt (S) stress and salt-alkaline mixed (MSA) stress on total plant dry weight of *Helianthus annuus* L.

却明显低于对照并且随碱度的增加而降低(图 2A、B、C、G)。盐、碱胁迫对向日葵钾含量的影响较为特殊,适度的盐碱混合胁迫(100 mmol/L 以下)或盐胁迫(50 mmol/L 以下)对向日葵的钾吸收似乎具有刺激作用(图 2D)。盐碱胁迫对钙、镁、锰、铜含量的影响相似,都表现出 50 mmol/L 盐胁迫下或多或少地高于对照,而 100 mmol/L 盐胁迫下或多或少地低于对照;盐碱混合胁迫下均呈下降趋势,除镁之外降低程度均达显著水平(图 2E、F、H、J)。随着胁迫强度的增加钠、氯元素含量增加,并且盐碱混合胁迫增加幅度明显大于盐胁迫(图 2K、L)。盐、碱胁迫对锌元素的含量没表现出明显影响(图 2I)。

2.3 盐、碱胁迫对营养液中矿质元素存在状态的影响

为进一步分析胁迫盐特别是碱性盐对矿质营养的影响,用 GEOCHEM 软件对该试验所用的处理液中各种离子的游离度及活度进行了分析。结果显示胁迫盐浓度的增加可以改变包括胁迫盐本身离子在内的所有离子的游离度及活度,但是由于不同离子的化学性质不同,所受到的影响程度差异很大。由表 2 可知, Na^+ 、 K^+ 和 NO_3^- 所受到的影响很小,而其它离子的游离度和活度则都发生了不同程度的改变。

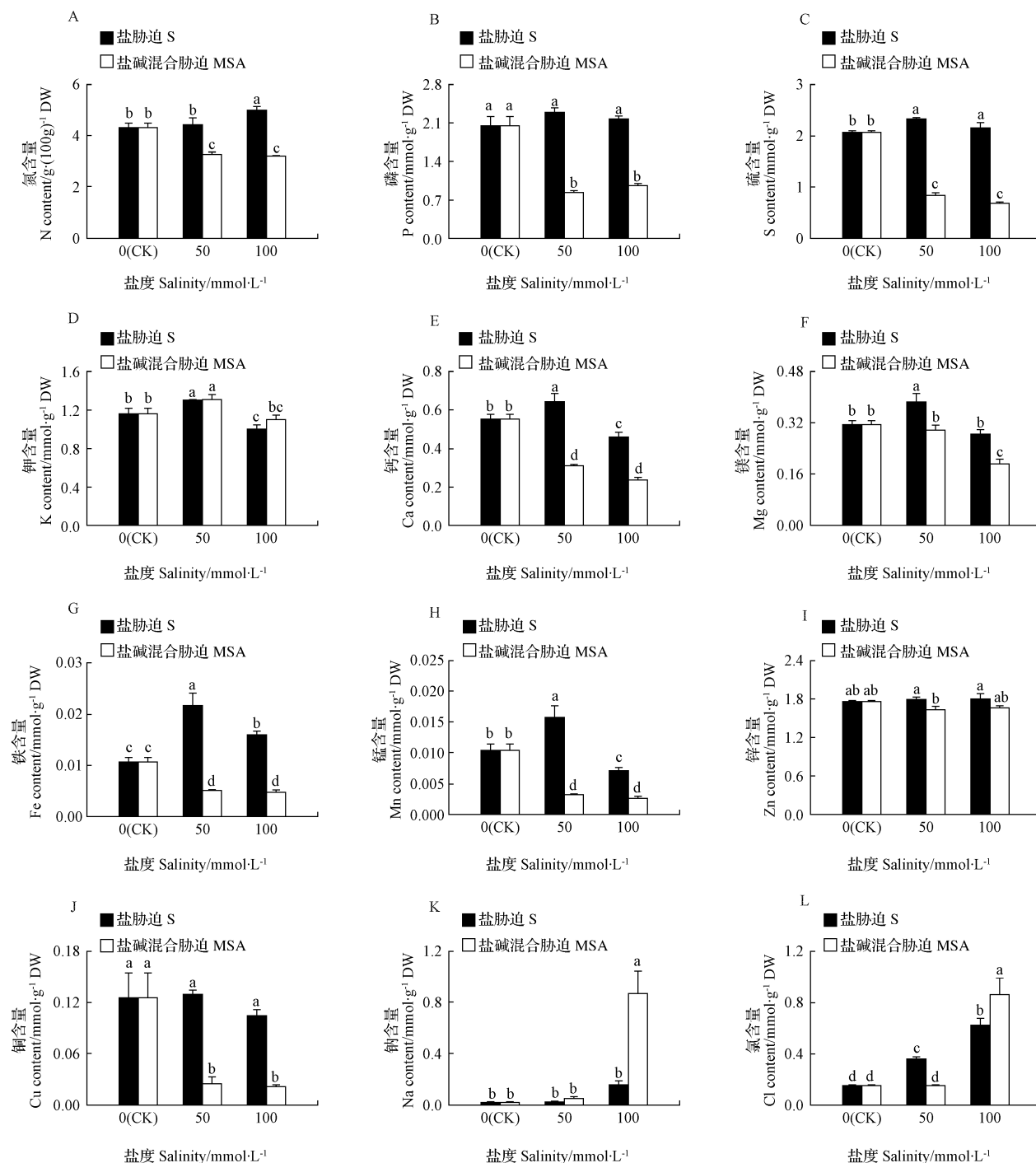


图2 盐碱胁迫对向日葵叶片矿质元素含量的影响

Fig. 2 Effects of salt (S) stress and salt-alkaline mixed (MSA) stress on mineral element contents in sunflower leaves

通过对不同胁迫处理之间的比较,可以明显看出,在盐胁迫条件下,由于溶液的 pH 没有明显改变,各种矿质离子的活度和游离度的降低主要是胁迫盐离子与其相互作用的结果,这种作用主要取决于浓度,所以在该试验条件下作用的结果有限。由表 2~4 可知,在盐

碱混合胁迫条件下,由于有 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 的存在以及溶液 pH 的升高,而使得磷酸根和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 等金属元素的溶解度急剧降低甚至形成沉淀,结果导致其离子的游离度和活度急剧下降。

表 2 盐、碱胁迫对处理液中大量元素离子活度和游离度的影响

Table 2 Effects of salt stress and salt-alkaline mixed stress on the ionic activities and free concentrations of macronutrients in nutrient solutions

处理 Treatment	浓度 Concentration	Ca ²⁺ / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$		Mg ²⁺ / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$		K ⁺ / $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$		SO ₄ ²⁻ / $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$		NO ₃ ⁻ / $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	
		IA	FC	IA	FC	IA	FC	IA	FC	IA	FC
Control	0	3 718.0	8 504.0	1 973	4 512	11.25	13.84	1.466	3.353	24.39	29.99
S1	50	2 948.0	8 197.0	1 549	4 306	10.57	13.65	2.529	7.033	23.22	29.99
S2	100	2 580.0	7 962.0	1 348	4 162	10.19	13.51	3.406	10.51	22.63	29.99
MSA1	50	375.6	969.7	1 490	3 848	10.89	13.80	1.703	4.397	23.66	29.99
MSA2	100	400.9	1 187.0	1 280	3 792	10.39	13.63	2.732	8.092	22.86	29.99

注:IA,离子活度;FC,自由度。数据由软件 GEOCHEM 计算得出。下同。

Note:IA means ion activity;FC means degrees of freedom. The data calculated by GEOCHEM software. The same below.

表 3 盐、碱胁迫对处理液中 PO₄³⁻、HPO₄²⁻、H₂PO₄⁻ 活度的影响Table 3 Effects of salt stress and salt-alkaline mixed stress on the activities of PO₄³⁻, HPO₄²⁻, H₂PO₄⁻ in nutrient solutions

处理 Treatment	浓度 Concentration	IA			Total IA / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
		PO ₄ ³⁻ / $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$	HPO ₄ ²⁻ / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	H ₂ PO ₄ ⁻ / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	
Control	0	7.749×10^{-4}	17.7	2 860	2 877.7
S1	50	9.032×10^{-4}	18.6	2 770	2 788.6
S2	100	9.615×10^{-4}	19.4	2 730	2 749.4
MSA1	50	0.4878	122	218	340
MSA2	100	0.4435	112	201	313

表 4 盐、碱胁迫对微量元素离子活度和游离度的影响

Table 4 Effects of salt stress and salt-alkaline mixed stress on the ionic activity and free concentrations of microelements in nutrient solutions

处理 Treatment	浓度 Concentration	Fe ²⁺ / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$		Mn ²⁺ / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$		Cu ²⁺ / $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$		Zn ²⁺ / $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$		B(OH) ₄ ⁻ / $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$		MoO ₄ ²⁻ / $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$	
		IA	FC	IA	FC	IA	FC	IA	FC	IA	FC	IA	FC
Control	0	3.029	6.926	2.231	5.102	2.314×10^{-3}	5.292×10^{-3}	1.1150	2.551	5.849	7.192	438.2	1 002
S1	50	2.521	7.010	1.753	4.874	1.890×10^{-3}	5.255×10^{-3}	0.9110	2.533	6.389	8.250	367.8	1 023
S2	100	2.272	7.012	1.523	4.700	1.684×10^{-3}	5.197×10^{-3}	0.8115	2.505	6.782	8.989	334.7	1 033
MSA1	50	1.615	4.168	1.035	2.673	1.020×10^{-3}	2.633×10^{-3}	0.4920	1.270	520.9	660.3	430.1	1 111
MSA2	100	1.723	5.105	1.012	2.999	1.071×10^{-3}	3.172×10^{-3}	0.5165	1.530	529.2	694.3	374.9	1 111

2.4 盐碱胁迫下向日葵矿质元素含量与盐度、pH 之间的相关性

盐、碱 2 种胁迫对矿质离子活度和游离度影响的不同是决定二者对植物营养亏缺明显差异的根本原因。

表 5 盐、碱胁迫下向日葵体内矿质元素含量与盐度、pH 之间的相关性分析

Table 5 Correlations among mineral elements of sunflower, salinity and pH

	N	P	S	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	Cl
盐度 Salinity	-0.056	-0.241	-0.315	-0.470	-0.518 *	-0.537 *	-0.064	-0.450	-0.414	-0.094	0.608 *	0.830 **
pH	-0.892 **	-0.971 **	-0.987 **	0.159	0.891 **	-0.630 *	-0.821 **	-0.801 **	-0.908 **	-0.714 **	0.566 *	0.226

注: * 表示显著相关, ** 表示极显著相关。

Note: * means significant correlations, ** means very significant correlations.

3 结论与讨论

盐、碱对向日葵最显著的影响就是抑制生长。该试验结果表明,盐碱混合胁迫对向日葵的伤害远远大于相同浓度下的盐胁迫,这一点在先前的研究中也得到证实^[8-11]。

从该试验结果还可以看出盐、碱胁迫对向日葵体内矿质元素的积累明显不同。盐胁迫下氮、磷、硫、铁等元素的含量非但没下降反而有所升高;但是在盐碱混合胁迫下,几乎所有矿质营养元素的含量均明显降低。

植物对矿质元素的吸收与根外矿质离子的游离度及活度密切相关,所以根外各种矿质离子的游离度及活

度才是评价其矿质营养供应水平的有力指标。早在 1986 年 Cramer 等^[16]就报道了 NaCl 对营养液中离子活度的影响。由于离子之间的相互作用,溶液中高浓度的胁迫盐离子通常会造成相对低浓度的矿质营养离子的游离度及活度下降,进而影响到植物的矿质营养。在有碱性盐存在的情况下,由于溶液 pH 的升高,将会导致磷酸根及钙、镁等金属离子形成不溶性盐而大量沉淀,结果造成严重的营养破坏^[17]。此外,碱胁迫对根系本身的影响,如抑制根活力、破坏根细胞质膜的跨膜电位、降低吸收能力^[18-19]等,也是导致植物体内矿质元素含量下降的原因之一。

可见碱胁迫对环境营养能力的破坏是十分严重的,碱胁迫所致的矿质营养亏缺是抑制植物生长的一个重要原因,这是不同于盐胁迫的作用结果之一,因此,营养胁迫应该是研究碱胁迫时必须考虑的胁迫作用因素之一。另外,从营养胁迫角度来研究,不仅可以反映出盐碱2种胁迫作用的差异,也有利于解释植物在生长、光合等方面对盐、碱2种胁迫所做出的生理响应的不同。

参考文献

- [1] 李彬,王志春,孙志高.等.中国盐碱地资源与可持续利用研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):152-158.
- [2] Hartung W, Leport L, Ratcliffe R G, et al. Absciscic acid concentration, root pH and anatomy do not explain growth differences of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and lupin (*Lupinus angustifolius* L.) on acid and alkaline soils[J]. Plant Soil, 2002, 240: 191-199.
- [3] Campbell S A, Nishio J N. Iron deficiency studies of sugar beet using an improved sodium bicarbonate-buffered hydroponics growth system[J]. J Plant Nutr, 2000, 23: 741-757.
- [4] ElSamad H M A, Shaddad M A K. Comparative effect of sodium carbonate, sodium sulphate, and sodium chloride on the growth and related metabolic activities of pea plants[J]. J Plant Nutr, 1996, 19: 717-728.
- [5] 石德成,殷立娟. Na_2CO_3 胁迫下羊草苗的胁迫反应极数数学分析[J]. 植物学报, 1992, 34(5): 386-393.
- [6] 石德成,殷丽娟. 盐(NaCl)与碱(Na_2CO_3)对星星草胁迫作用的差异[J]. 植物学报, 1993, 35: 144-149.
- [7] Shi D C, Yin S J, Yang G H, et al. Citric acid accumulation in an alkali-tolerant plant *Puccinellia tenuiflora* under alkaline stress[J]. Acta Bot Sin, 2002, 44: 537-540.
- [8] Yang C W, Chong J N, Kim C M, et al. Osmotic adjustment and ion balance traits of an alkali resistant halophyte *Kochia sieversiana* during adaptation to salt and alkali conditions[J]. Plant Soil, 2007, 294: 263-276.
- [9] Yang C W, Wang P, Li C Y, et al. Comparison of effects of salt and alkali stresses on the growth and photosynthesis of wheat[J]. Photosynthetica, 2008, 46(1): 107-114.
- [10] Yang C W, Shi D C, Wang D L. Comparative effects of salt and alkali stresses on growth, osmotic adjustment and ionic balance of an alkali-resistant halophyte *Suaeda glauca* (Bge.) [J]. Plant Growth Regul, 2008, 56: 179-190.
- [11] 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[J]. 作物学报, 2008, 34(10): 1818-1825.
- [12] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant Cell Environ, 2002, 25: 239-250.
- [13] Moghaieb R E A, Saneoka H, Fujita. Effect of salinity on osmotic adjustment, glycinebetaine accumulation and the betaine aldehyde dehydrogenase gene expression in two halophytic plants, *Salicornia europaea* and *Suaeda maritime* [J]. Plant Sci, 2004, 166: 1345-1349.
- [14] Khan M A, Ungar I A, Showalter A M. The effect of salinity on the growth, water status, and ion content of a leaf succulent perennial halophyte, *Suaeda fruticosa* (L.) Forssk [J]. J. Arid Environ, 2000, 45: 73-84.
- [15] 波钦诺克(苏). 植物生物化学分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 46-48.
- [16] Cramer G R, Laüchli A E, Pstein E. Effects of NaCl and CaCl_2 on ion activities in complex nutrient solutions and root growth of cotton[J]. Plant Physiol, 1986, 81(3): 792-797.
- [17] Yang C W, Zhang M L, Liu J, et al. Effects of buffer capacity on growth, photosynthesis, and solute accumulation of a glycophyte (wheat) and a halophyte (*Chloris virgata*) [J]. Photosynthetica, 2009, 47(1): 55-60.
- [18] Shi D C, Sheng Y M. Effect of various salt-alkaline mixed stress conditions on sunflower seedlings and analysis of their stress factors[J]. Environ Exp Bot, 2005, 54(1): 8-21.
- [19] Shi D C, Wang D L. Effects of various salt-alkaline mixed stresses on *Aneurolepidium chinense* (Trin.) Kitag [J]. Plant Soil, 2005, 271(1-2): 15-26.

Effects of Simulated Salt and Alkali Conditions on the Mineral Nutrition of *Helianthus annuus* L.

LIU Jie^{1,2}

(1. Weifang University of Science and Technology, Shouguang, Shandong 262700; 2. School of Life Science, Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130024)

Abstract: Taking 'Baikuiza No. 6' *Helianthus annuus* L. as material, under salt stress and salt-alkaline mixed stress, which were established by mixing NaCl , Na_2SO_4 , NaHCO_3 and Na_2CO_3 at various proportions. Several indices of seedlings stressed-including growth and mineral elements contents were determined. On the base, by analyzing the status of mineral ions outside the roots and the level of mineral nutrition of plant body, an investigation into the different effects of ion absorption about salt stress and alkali stress were carried out. The results showed that there were significant difference on mineral nutrition content between salt stress and salt-alkaline mixed stress. The contents of N, P, S and Fe did not decrease, but increased under salt stress; while contents of almost all mineral nutrients declined under salt-alkaline mixed stress. High pH caused ionic activity and free concentrations of some mineral elements to decline sharply and even to precipitate coupled with the reduction of the absorption capacity of roots, which was the fundamental reason that alkali stress showed nutrient stress. Nutritional damage of alkali stress was not only one of the main baneful factors, but also one of the main reasons why it was more severe than salt stress.

Key words: *Helianthus annuus* L.; salt stress; salt-alkaline mixed stress; mineral nutrition