

· 研究报告 ·

NaCl对渗透胁迫下三角叶滨藜光合作用和水分状况的调节

柏新富, 卜庆梅, 谭永芹, 朱建军, 刘林德*

鲁东大学生命科学学院, 烟台 264025

摘要 以溶液培养的三角叶滨藜(*Atriplex triangularis*)为材料, 测定分析了在PEG诱导的渗透胁迫条件下, 适量的NaCl对其光合作用和水分吸收的影响, 以探讨环境溶液中NaCl对植物适应干旱的影响。结果表明, PEG诱导的渗透胁迫导致三角叶滨藜植株吸水困难、叶绿素含量降低、光合系统受损、生长受抑制、生物量减少; 而在PEG渗透胁迫的处理液中添加10–40 mmol·L⁻¹NaCl可以明显降低植株水势和叶片渗透势, 维持较高的细胞膨压, 减缓PEG渗透胁迫对光合系统的破坏作用, 保证相对较高的光合速率和生长速度, 从而有效增强了三角叶滨藜对渗透胁迫的适应能力。

关键词 三角叶滨藜, NaCl, 渗透胁迫, 光合作用, 水分吸收

柏新富, 卜庆梅, 谭永芹, 朱建军, 刘林德 (2012). NaCl对渗透胁迫下三角叶滨藜光合作用和水分状况的调节. 植物学报 47, 500–507.

植物细胞质酶类对Na⁺都非常敏感。高等植物一般利用质膜H⁺-ATP酶(质子泵)消耗ATP将H⁺泵到膜外, 产生H⁺电化学势梯度, 进一步驱动Na⁺/H⁺反向转运蛋白把Na⁺排到细胞外(Quintero et al., 2000; 马清等, 2011); 或利用液泡膜H⁺-ATP酶和液泡膜H⁺-PP酶产生的H⁺电化学势梯度驱动液泡膜Na⁺/H⁺反向转运蛋白将Na⁺区隔化入液泡以降低植物细胞的水势, 增强植物的吸水动力(李平华等, 2003)。已有实验证明, 在干旱和盐导致的渗透胁迫下, 植物积累Na⁺等无机离子进行渗透调节比在细胞质中积累有机渗透调节物质更为经济有效(吕慧颖等, 2003; 郁万文等, 2007; 陈成升等, 2009)。虽然高浓度Na⁺会对植物造成渗透胁迫、离子毒害及由此引发的其它伤害(罗庆云等, 2003; Parida and Das, 2005), 但也有一些研究证明低浓度Na⁺可以促进多种植物的生长(邹邦基, 1980; 王艳华等, 2005)。Slama等(2007)研究显示, Na⁺可以提高渗透胁迫下盐生植物的光合能力。但有关Na⁺对渗透胁迫下光合性能和水分吸收的调节研究报道甚少。本实验以溶液培养的三角叶滨藜(*Atriplex triangularis*)为材料, 探讨NaCl对PEG诱导的渗透胁迫下耐盐植物三角叶滨藜光合作用和水分吸收调节的影响, 以期阐明Na⁺改善植物对渗透胁迫的适应机制, 为指导干旱及半干旱地区耐盐植物的种植提供理

论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

三角叶滨藜(*Atriplex triangularis* Willd)取自室内人工光照下的水培苗。首先将三角叶滨藜种子播种到以蛭石为基质的塑料泡沫箱中育苗, 待小苗长出4片真叶时取出幼苗, 并小心冲洗根系吸附的蛭石, 然后移栽至含Hoaglands营养液的培养槽内进行溶液培养。培养条件为温度23–27°C, 空气相对湿度46%–50%, 光照强度500–550 μmol·m⁻²·s⁻¹, 每天光照13小时。整个培养过程中用充气泵向溶液连续充气, 以保证根系的供氧。培养2周后, 取大小且长势一致的三角叶滨藜植株作为实验材料。

1.2 处理方法

将材料分成6组(每组12株), 分别转移至下列处理液中: 处理A为Hoaglands营养液(CK1); 处理B为Hoaglands营养液+10%PEG6000; 处理C为Hoaglands营养液+10%PEG6000+10 mmol·L⁻¹NaCl; 处理D为Hoaglands营养液+10%PEG6000+20 mmol·L⁻¹NaCl; 处理E为Hoaglands营养液+10%PEG6000+

收稿日期: 2011-11-18; 接受日期: 2012-06-25

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(No.2009CB421303)

* 通讯作者。E-mail: liulinde@live.cn

40 mmol·L⁻¹NaCl; 处理F为Hoaglands营养液+20 mmol·L⁻¹NaCl(CK2)。在相同环境条件下进行胁迫处理。同时向溶液内通气以保证根系的氧气供应,并及时向处理液补充因植株蒸腾失去的水分以保持渗透势的稳定。分别于处理后0、2、4、6、8、10天测定各项生理指标。

1.3 生长速率和生物量测定

每组处理选择7个植株,在处理前测定整株鲜重和第1片真叶至顶端的高度,实验结束时(处理后第10天)再次测定各植株的整株鲜重和第1片真叶至顶端的高度,以2次测定的差值作为生物量(鲜重)增加值和株高增加值。然后将材料在70℃下烘干称重,根据含水量将鲜重生物量增加值换算为干重生物量增加值。生长速率以每天株高增加值计。

1.4 光合参数测定

利用便携式光合作用测定系统(TPS-1型, PP System, 英国)对不同处理下的三角叶滨藜光合参数进行测定(测定光强为780–800 μmol·m⁻²·s⁻¹, 开路测定)。该系统能同步获得活体叶片的净光合速率(P_n)、空气CO₂浓度(C_a)、细胞间隙CO₂浓度(C_i)等生理生态参数。气孔限制值(L_s)用Berry和Downtow (1982)所述方法计算,即 $L_s=1-C_i/C_a$ 。每处理均取上数第1个完全展开叶片为测定对象。各处理均重复测定7株植物的7个叶片。

1.5 叶绿素含量及荧光参数测定

叶绿素含量用丙酮、乙醇混合液浸提法测定(李得孝等, 2005)。重复测定5次。叶绿素荧光参数用便携式植物效率分析仪(Handy-PEA, Hansatech, 英国)测定,激发光强为3 000 μmol·m⁻²·s⁻¹, 暗适应时间为15分钟,记录时间1秒。荧光参数由Handy PEA软件直接从测定结果中导出。每种处理均取上数第2对完全展开叶片为测定对象,共测定10个叶片。

1.6 水势和渗透势的测定

植株水势在处理第10天用压力室法测定,重复7次。溶液渗透势(水势)和叶片渗透势用露点微伏压计(HR-33T, 美国)测定,重复5次。叶片渗透势测定以上数第2对完全展开叶片为测定对象,先将叶片在冰箱

(-18℃)中冷冻10小时以上,然后在室温下解冻并挤压出组织液进行测定。

1.7 叶片Na⁺、K⁺含量的测定

取70℃下烘干的叶片,参照王宝山和赵可夫(1995)的方法提取Na⁺、K⁺。溶液中Na⁺、K⁺含量用原子吸收分光光度计(GBC-932B型, 澳大利亚)测定。

1.8 数据分析

测定结果以平均数±标准差表示。用Origin7.0软件作图。用SPSS13.0软件的General Linear Model—Univariate进行方差分析和多重比较, Correlate进行相关分析。

2 结果与讨论

2.1 不同处理植株生长状况与生物量的比较

通过测定各处理的植株平均生长速率和生物量,发现在营养液中添加20 mmol·L⁻¹NaCl(CK2)可以使植株平均生长速率和生物量略高于CK1,但两者之间并无显著差异($P>0.05$);而PEG及PEG与不同浓度NaCl组合处理均不同程度地抑制植株生长,降低生物量的积累(图1),其中以处理B的抑制作用最为明显。方差分析和多重比较结果显示,植株生长速率在处理D与CK1(处理A)和CK2(处理F)之间差异不显著($P>0.05$),而处理B与CK1、CK2及处理C、D、E间都有显著差异($P<0.05$);各处理之间生物量的差异情况与此类似。说明在营养液中单加20 mmol·L⁻¹NaCl对植株生长无显著影响,而在PEG渗透胁迫处理液中添加10–40 mmol·L⁻¹NaCl则可明显缓解PEG渗透胁迫对植株生长的抑制作用,其中以20 mmol·L⁻¹NaCl效果最好。

2.2 NaCl对渗透胁迫下三角叶滨藜光合作用的影响

对不同处理叶片光合速率的测定结果(图2)表明,CK1(处理A)和CK2(处理F)在处理期间变化相对较为平稳,差异也不大。PEG渗透胁迫则能够显著降低三角叶滨藜叶片的光合速率,其中处理B在处理第4天光合速率开始大幅下降,至处理后第10天降至近0;而处理C、D、E的光合速率下降幅度明显小于处理B。进一步分析各处理的细胞间隙CO₂浓度和气孔限制

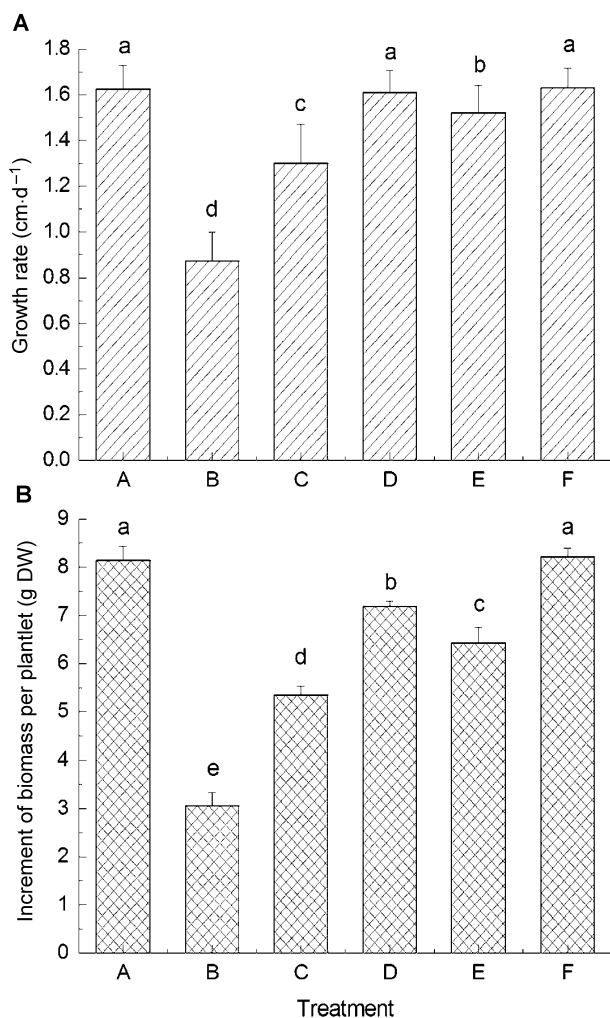


图1 三角叶滨藜各处理植株处理后10天平均生长速率(A)和生物量增加值(B)

A: Hoaglands营养液(CK1); B: Hoaglands营养液+10%PEG-6000; C: Hoaglands营养液+10%PEG6000+10 mmol·L⁻¹NaCl; D: Hoaglands营养液+10%PEG6000+20 mmol·L⁻¹NaCl; E: Hoaglands营养液+10%PEG6000+40 mmol·L⁻¹NaCl; F: Hoaglands营养液+20 mmol·L⁻¹NaCl(CK2)。数据柱上方标记的字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

Figure 1 Growth rate (A) and biomass increment (B) of saltbush plantlet in 10 days after treatment

A: Hoaglands nutrient solution (CK1); B: Hoaglands nutrient solution+10%PEG6000; C: Hoaglands nutrient solution+10%PEG6000+10 mmol·L⁻¹NaCl; D: Hoaglands nutrient solution+10%PEG6000+20 mmol·L⁻¹NaCl; E: Hoaglands nutrient solution+10%PEG6000+40 mmol·L⁻¹NaCl; F: Hoaglands nutrient solution+20 mmol·L⁻¹NaCl (CK2). Significant differences ($P<0.05$) were denoted with different letters.

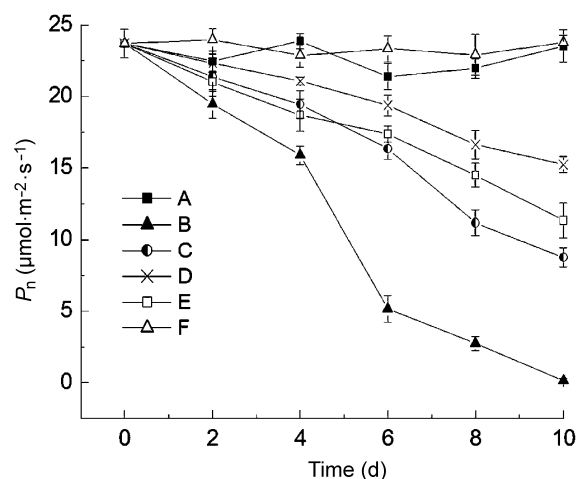


图2 三角叶滨藜叶片净光合速率(P_n)随处理时间的变化
A-F同图1。

Figure 2 Variations in net photosynthesis (P_n) in arrowleaf saltbush upon treatment time
A-F see Figure 1.

值的变化,表明处理B在处理4天内细胞间隙CO₂浓度下降、气孔限制值升高,之后细胞间隙CO₂浓度逐渐升高、气孔限制值则逐渐下降;而处理C、D、E的细胞间隙CO₂浓度和气孔限制值仅有小幅下降和升高(图3)。依据高辉远等(1993)和许大全(1997)的观点,可以认为处理B处理后4天内光合速率下降的原因是气孔因素,即气孔关闭或部分关闭导致的CO₂供应不足;4天后光合速率下降的主要原因则是非气孔因素,即光合机构受损导致的叶肉细胞光合活性降低;而处理C、D、E在测定期限内,光合速率下降的原因主要是气孔因素,并没有引起光合机构的明显受损。实验表明,在PEG渗透胁迫处理液中添加10–40 mmol·L⁻¹NaCl可明显缓解PEG渗透胁迫对三角叶滨藜光合作用的影响。

2.3 NaCl对渗透胁迫下三角叶滨藜叶片光合系统的影响

为了进一步探明NaCl对渗透胁迫下三角叶滨藜光合作用的调节作用,分别测定了各处理的叶绿素荧光参数和叶绿素含量的变化。结果显示:处理B导致初始荧光(F_0)的明显升高和光系统II最大光化学效率(F_v/F_m)

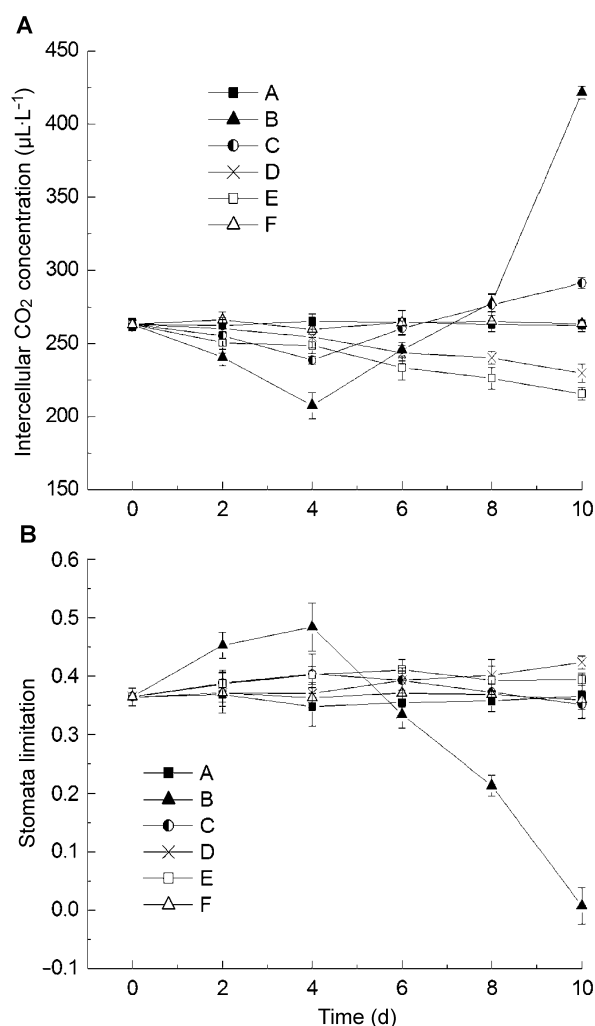


图3 三角叶滨藜叶片细胞间隙CO₂浓度(A)和气孔限制值(B)随处理时间的变化

A-F同图1。

Figure 3 Variations in intercellular CO₂ concentration (A) and stomata limitations (B) in arrowleaf saltbush upon treatment time

A-F see Figure 1.

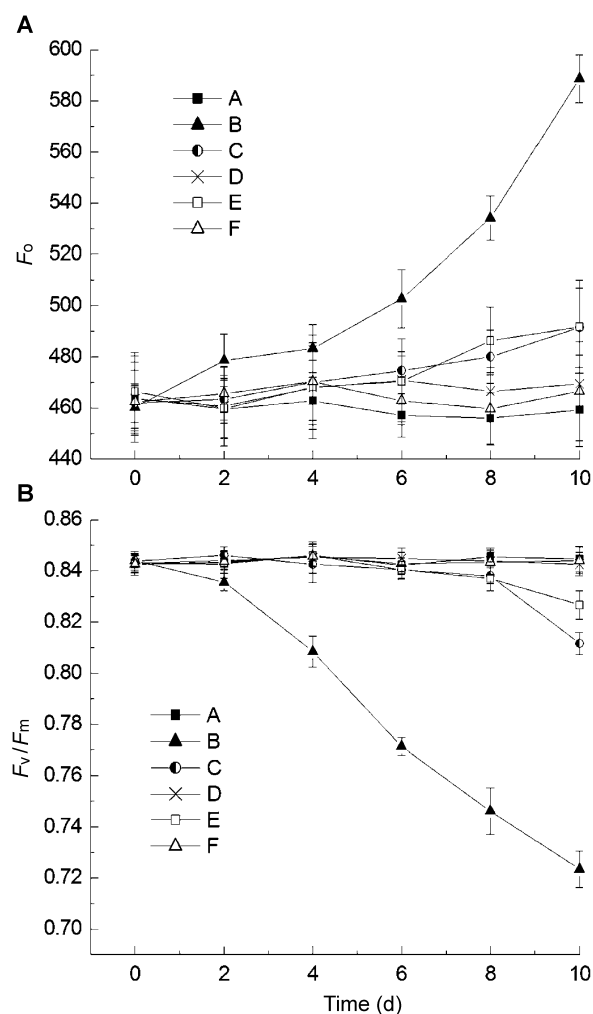


图4 三角叶滨藜叶绿素荧光参数F₀(A)和F_v/F_m(B)随处理时间的变化

A-F同图1。

Figure 4 Variations in chlorophyll fluorescent parameters F₀ (A) and F_v/F_m (B) in arrowleaf saltbush upon treatment time

A-F see Figure 1.

F_m)的显著降低;而处理C和E只是在后期出现F₀的小幅上升和F_v/F_m的小幅下降;处理D和CK1(处理A)、CK2(处理F)的F₀和F_v/F_m没有发生明显变化(图4)。F₀升高和F_v/F_m降低表示光合机构受损伤、光能转化效率下降(张守仁, 1999)。实验结果说明, PEG渗透胁迫下三角叶滨藜叶片的光合机构受到了明显的破坏, 而添加10–40 mmol·L⁻¹NaCl则能缓解渗透胁迫对光合

系统的伤害。各处理叶绿素含量的变化则显示, 处理C、D、E和处理B在处理4天内叶绿素含量高于CK1、CK2(可能与渗透胁迫导致的叶片含水量降低有关), 但处理B在4天后叶绿素含量出现快速降低, 而处理C、D、E没有出现叶绿素含量降低的现象(图5)。因此, 可以认为在PEG渗透胁迫处理液中添加10–40 mmol·L⁻¹NaCl能够缓解渗透胁迫对叶绿素的破坏作用。

表1 NaCl对三角叶滨藜水分状况的调节

Table 1 The regulation of NaCl on the water status in arrowleaf saltbush

Treatment	Water potential of root bathing solution (MPa)	Water potential of leaves (MPa)	Osmotic potential of leaves (MPa)	Cell turgor (MPa)	Relative water content in leaves (%)
A	-0.05	-0.63±0.05 a	-1.05±0.04 a	0.42±0.04 ab	91.17±1.50 a
B	-0.19	-0.93±0.04 b	-1.15±0.03 b	0.22±0.02 e	68.93±4.45 d
C	-0.24	-1.07±0.02 bc	-1.41±0.06 c	0.34±0.05 d	76.53±3.39 c
D	-0.28	-1.13±0.05 c	-1.52±0.03 c	0.39±0.03 bc	83.40±4.27 b
E	-0.35	-1.26±0.03 d	-1.62±0.04 d	0.36±0.02 cd	80.43±2.65 bc
F	-0.14	-0.70±0.04 a	-1.16±0.03 ab	0.46±0.03 a	90.56±2.33 a

数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。A–F同图1。

Significant differences ($P<0.05$) were denoted with different letters. A–F see Figure 1.

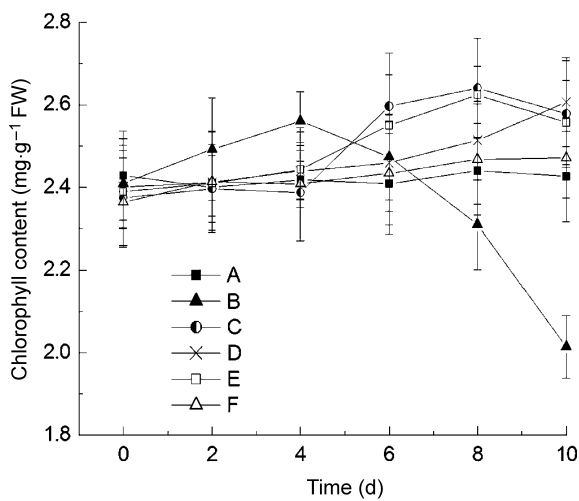


图5 三角叶滨藜叶绿素含量随处理时间的变化
A–F同图1。

Figure 5 Variations in chlorophyll content in arrowleaf saltbush upon treatment time
A–F see Figure 1.

2.4 NaCl对渗透胁迫下三角叶滨藜水分状况的影响

对本实验各处理植株与环境溶液水分关系的测定结果显示(表1), CK1(处理A)和CK2(处理F)均能维持较高的叶片相对含水量、叶片水势和细胞膨压; 处理B则表现叶片水势和渗透势的明显降低, 叶片相对含水量和细胞膨压也随之降低; 而处理C、D、E的叶片水势虽然明显低于处理B, 但由于其具有更低的渗透势, 从而不同程度地增加了细胞膨压和叶片相对含水量, 其中又以处理D(添加20 mmol·L⁻¹NaCl)效果最优, 最有利于维持细胞水分状态和正常的生理活动。

为了明确叶片渗透势降低是否与Na⁺的吸收有关, 实验测定了叶片Na⁺、K⁺含量并分析了它们与叶片渗透势的关系(图6)。如图6所示, 各处理K⁺含量无明显差异, Na⁺含量却由于溶液中NaCl的添加而显著增加, 叶片Na⁺含量随根际环境溶液NaCl浓度的增加呈升高的趋势; 只是CK2(处理F)与处理D具有相同的根际NaCl浓度, 但其叶片Na⁺含量却显著低于处理D, 这可能与CK2(处理F)没有受到渗透胁迫有关。通过进一步分析叶片Na⁺、K⁺含量与叶片组织渗透势的关系, 发现叶片渗透势的降低与Na⁺含量呈显著相关(相关系数 $r>r_{0.05}$), 而与K⁺含量无相关性。这说明环境中存在NaCl时, 三角叶滨藜能够通过吸收Na⁺等无机离子并将其积累在体内(可能是区域化在液泡内)以降低渗透势, 从而增强了渗透调节能力和吸水、保水能力, 使组织能够维持相对较高的含水量和细胞膨压。

2.5 讨论

在渗透胁迫条件下, 植物吸水困难、细胞供水不足, 进而影响植物代谢和生长发育的各个方面。植物适应渗透胁迫的重要方式之一是渗透调节, 即在渗透胁迫条件下通过代谢活动增加细胞内溶质浓度, 降低其渗透势和水势, 保持从外界介质中继续吸水, 维持细胞膨压(Turner, 1975; Chen and Jiang, 2010)。细胞膨压的维持能够减少叶片叶绿素的破坏、保持细胞生长、气孔开放和光合作用等代谢活动的正常进行(Morgan, 1984; 李岩等, 1998)。研究显示, Na⁺可以改善渗透胁迫下盐生植物的渗透势, 增加组织的含水量(Slama et al., 2007); 且植物积累Na⁺等无机离子进行渗透调节比在细胞质中积累有机渗透调节物质更为经济有效(郁万文等, 2007; 陈成升等, 2009)。本

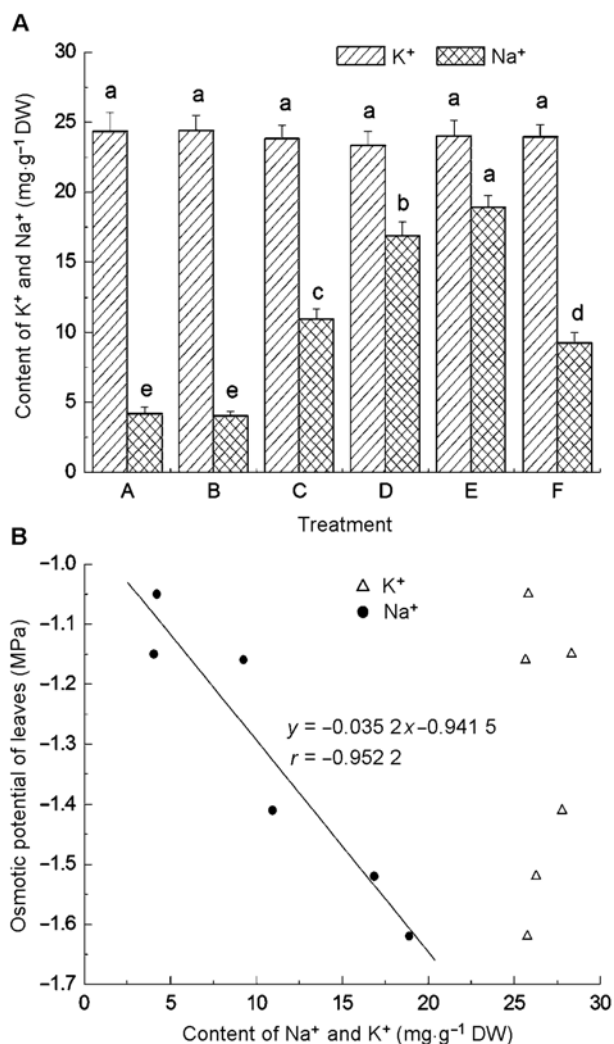


图6 三角叶滨藜叶片Na⁺、K⁺含量(A)及其与叶片渗透势的关系(B)

数据柱上方不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。A–F同图1。

Figure 6 Variations in Na⁺ and K⁺ content (A) and its relationships to osmotic potential (B) in leaves of arrowleaf salt-bush

Significant differences ($P < 0.05$) were denoted with different letters. A–F see Figure 1.

实验结果表明,在PEG渗透胁迫的处理液中添加10–40 mmol·L⁻¹NaCl后,虽然导致环境溶液水势的进一步降低,但由于植株体内Na⁺积累显著增加,使组织渗透势明显降低,从而有效增强了植株吸水力,使叶片能够维持较高的相对含水量和细胞膨压,进而有利于植株的代谢和保持正常生长。另外,本实验中处理F(CK2)的根际溶液中也含有20 mmol·L⁻¹NaCl,

但其叶片Na⁺含量仅为9.25 mg·g⁻¹DW,远低于具有相同根际NaCl浓度的处理D(其叶片Na⁺含量为16.87 mg·g⁻¹DW)。究其原因,我们认为可能是由于处理D的植株遭受了渗透胁迫,植株为了抵抗胁迫而大量吸收积累Na⁺,以增强其渗透调节能力;而CK2的植株由于没有受渗透胁迫,所以对Na⁺的吸收只是正常的积累。这也从另一方面证明,在存在NaCl的环境条件下,盐生植物可以通过积累Na⁺来抵抗渗透(干旱)胁迫。

光合作用是植物生长最基本的生理过程,且对环境变化极为敏感。干旱是限制光合作用、影响植物生产力的最重要因子之一(Tezara et al., 1999; 朱成刚等, 2011)。叶绿素荧光分析技术是叶片光合功能监测快速且无损伤的天然探针,叶绿素荧光的变化可以用于监测胁迫对光合系统的影响(Schreiber et al., 1994)。F₀升高和F_v/F_m降低是光合机构受损伤、光能转化效率下降的指标,其变化程度可以用来鉴别植物抵抗或忍耐干旱的能力(Schreiber et al., 1994; 陈贻竹等, 1995)。本实验结果显示,PEG渗透胁迫下三角叶滨藜叶片的F₀升高、F_v/F_m降低,说明其光合机构受到了明显的损伤;而在PEG渗透胁迫的处理液中添加10–40 mmol·L⁻¹NaCl则可使F₀和F_v/F_m的变化明显趋缓。对限制光合作用的气孔和非气孔因素的测定分析结果也表明,PEG渗透胁迫处理后光合速率下降的原因前4天是气孔因素导致的CO₂供应不足,随后则是非气孔因素(光合系统受损)导致的叶肉细胞光合活性降低(叶绿素含量降低、光合机构受损等);而在PEG渗透胁迫的处理液中添加10–40 mmol·L⁻¹NaCl,在实验测定期间并未出现非气孔因素导致的光合速率下降。这说明溶液中添加NaCl缓解了PEG渗透胁迫对光合系统的伤害,有利于维持渗透胁迫下植物光合系统的正常运转。

综合分析表明,在渗透胁迫条件下,根际环境中存在适宜浓度的NaCl可以使三角叶滨藜以快速、高效的方式吸收并积累Na⁺等无机离子来参与渗透调节,从而有效地维持了细胞膨压,缓解了渗透胁迫对三角叶滨藜生长及光合系统的影响。但是,在环境溶液中加入NaCl会形成进一步的水分胁迫,过量的NaCl势必对植物产生不利影响。因此,利用NaCl缓解渗透胁迫对植物的影响必须控制NaCl在一定浓度范围内,且其适宜浓度范围也因植物种类、环境温度、湿度、

光照等条件的不同而变化。

参考文献

- 陈成升, 谢志霞, 刘小京 (2009). 旱盐互作对冬小麦幼苗生长及其抗逆生理特性的影响. *应用生态学报* **20**, 811–816.
- 陈贻竹, 李晓萍, 夏丽, 郭俊彦 (1995). 叶绿素荧光技术在植物环境胁迫研究中的应用. *热带亚热带植物学报* **3**(4), 79–86.
- 高辉远, 邹琦, 程炳嵩 (1993). 大豆光合日变化过程中气孔限制和非气孔限制的研究. *西北植物学报* **13**, 96–102.
- 李得孝, 郭月霞, 员海燕, 张敏, 龚小艳, 穆芳 (2005). 玉米叶绿素含量测定方法研究. *中国农学通报* **21**(6), 153–155.
- 李平华, 张慧, 王宝山 (2003). 盐胁迫下植物细胞离子稳态重建机制. *西北植物学报* **23**, 1810–1817.
- 李岩, 李德全, 潘海春, 束怀瑞 (1998). 土壤干旱胁迫下苹果叶片膨压维持对光合速率及生长的影响. *果树科学* **15**, 289–292.
- 吕慧颖, 李银心, 孔凡江, 杨庆凯 (2003). 植物 Na^+/H^+ 逆向转运蛋白研究进展. *植物学通报* **20**, 363–369.
- 罗庆云, 於丙军, 刘友良 (2003). NaCl 胁迫下 Cl^- 和 Na^+ 对大豆幼苗胁迫作用的比较. *中国农业科学* **36**, 1390–1394.
- 马清, 包爱科, 伍国强, 王锁民 (2011). 质膜 Na^+/H^+ 逆向转运蛋白与植物耐盐性. *植物学报* **46**, 206–215.
- 王宝山, 赵可夫 (1995). 小麦叶片中 Na 、 K 提取方法的比较. *植物生理学通讯* **31**, 50–52.
- 王艳华, 王爱云, 柏新富 (2005). 盐胁迫对三角滨藜种子萌发和幼苗生长的影响. *烟台师范学院学报(自然科学版)* **21**, 290–292.
- 许大全 (1997). 光合作用气孔限制分析中的一些问题. *植物生理学通讯* **33**, 241–244.
- 郁万文, 曹帮华, 曹福亮 (2007). 干旱、盐胁迫对刺槐生长及离子吸收分配的影响. *南京林业大学学报(自然科学版)* **31**(3), 68–72.
- 张守仁 (1999). 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论. *植物学通报* **16**, 444–448.
- 朱成刚, 陈亚宁, 李卫红, 付爱红, 杨玉海 (2011). 干旱胁迫对胡杨PSII光化学效率和激能耗散的影响. *植物学报* **46**, 413–424.
- 邹邦基 (1980). 钠的植物营养与生态生理. *植物生理学通讯* (5), 5–11.
- Berry JA, Downton WJS (1982). Environmental regulation of photosynthesis. In: Govind J, ed. *Photosynthesis* (Vol.II). New York: Academic Press. pp. 263–343.
- Chen H, Jiang JG (2010). Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environ Rev* **18**, 309–319.
- Morgan JM (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annu Rev Plant Physiol* **35**, 299–319.
- Parida AK, Das AB (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotox Environ Safe* **60**, 324–349.
- Quintero FJ, Blatt MR, Parda JM (2000). Functional conservation between yeast and plant endosomal Na^+/H^+ antiporters. *FEBS Lett* **471**, 224–228.
- Schreiber U, Bilger W, Neubauer C (1994). Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis. *Ecol Stud Anal Synth* **100**, 49–70.
- Slama I, Ghnaya T, Messedi D, Hessini K, Labidi N, Savoure A, Abdelly C (2007). Effect of sodium chloride on the response of the halophyte species *Sesuvium portulacastrum* grown in mannitol-induced water stress. *J Plant Res* **120**, 291–299.
- Tezara W, Mitchell VJ, Driscoll SD, Lawlor DW (1999). Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature* **401**, 914–917.
- Turner NC (1975). Concurrent comparisons of stomatal behavior, water status, and evaporation of maize in soil at high or low water potential. *Plant Physiol* **55**, 932–936.

Effect of NaCl on Photosynthesis and Water Status in Arrowleaf Saltbush Under Osmotic Stress

Xinfu Bai, Qingmei Bu, Yongqin Tan, Jianjun Zhu, Linde Liu^{*}

College of Life Sciences, Ludong University, Yantai 264025, China

Abstract We investigated the effect of moderate NaCl on photosynthesis and water absorption in arrowleaf saltbush (*Atriplex triangularis*) under PEG-induced osmotic stress to understand the effect of NaCl on plant adaptation to drought stress. PEG-induced osmotic stress led to reduced water absorption and chlorophyll content, injured photosystem and growth and reduced biomass. The addition of NaCl at 10–40 mmol·L⁻¹ could reduce water potential and osmotic potential, maintain a high turgor, alleviate the destructive effect of osmotic stress to the photosystem, ensure a relatively high rate of photosynthesis and plant growth, and thus increase the adaptability of the plant to osmotic stress.

Key words *Atriplex triangularis*, NaCl, osmotic stress, photosynthesis, water absorption

Bai XF, Bu QM, Tan YQ, Zhu JJ, Liu LD (2012). Effect of NaCl on photosynthesis and water status in arrowleaf saltbush under osmotic stress. *Chin Bull Bot* **47**, 500–507.

^{*} Author for correspondence. E-mail: liulinde@live.cn