

盐胁迫对木本滨藜叶绿素合成及净光合速率的影响

王宇超, 王得祥*

(西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100)

摘要: 为了对盐碱地植被恢复及改造提供优良植物资源, 该文以三角滨藜、努塌滨藜、四翅滨藜为研究对象, 沙棘和白榆为对照, 进行 NaCl、Na₂SO₄ 胁迫处理, 并对对比分析不同盐分含量对其叶绿素含量、净光合速率及生长的影响。结果表明: 1) 不同盐分胁迫对 3 种木本滨藜叶绿素合成的影响均小于沙棘和白榆。2) 3 种木本滨藜净光合速率受胁迫影响程度明显小于沙棘和白榆, 在高浓度盐土的胁迫下, 保持较高净光合速率, 维持正常新陈代谢, 表现较强的抗逆性。3) 3 种木本滨藜在盐胁迫下, 株高和基径所受影程度明显小于沙棘和白榆。5 种植物株高和基径随盐分梯度变化规律与植物光合速率变化规律相一致。4) 利用隶属函数对 5 种植物抗盐能力进行综合评价得出, 抗 NaCl 盐分胁迫能力大小顺序为: 努塌滨藜 > 三角滨藜 > 四翅滨藜 > 沙棘 > 白榆; 抗 Na₂SO₄ 盐分胁迫能力大小顺序为: 四翅滨藜 > 三角滨藜 > 努塌滨藜 > 沙棘 > 白榆, 表明 3 种木本滨藜在植物光合作用及生长方面表现出极强抗盐能力, 有很强的推广应用价值, 是中国盐碱地利用的优质植物资源, 该文研究可为中国北方旱区盐碱地利用提供理论依据。

关键词: 盐分, 叶绿素, 光合作用, 生长量, 滨藜

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.10.024

中图分类号: S718.43

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-10-0151-08

王宇超, 王得祥. 盐胁迫对木本滨藜叶绿素合成及净光合速率的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 151-158.

Wang Yuchao, Wang Dexiang. Effects of salt stress on chlorophyll content and net photosynthetic rate of woody saltbush[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(10): 151-158. (in Chinese with English abstract)

0 引言

世界经济高速发展的同时也带来了环境破坏, 其中土壤盐渍化就是环境恶化后果之一。目前, 全球盐碱地面积已经发展到 9.54 亿 hm²[1]。土壤盐碱化和次生盐碱化问题, 已经成为世界灌溉农业可持续发展的资源制约因素。中国盐渍土面积之大, 分布之广是世界罕见, 盐渍土的面积 5.2 亿 hm², 其中盐土 2.4 亿 hm²。盐土中常见盐分有钠、钾、钙、镁的氯化物、硫酸盐、碳酸盐和碳酸氢盐等。其中, 氯化物和硫酸盐在北方旱区分布极其广泛, 是盐碱地主要盐害成分[2], 其盐害已经严重制约北方干旱区农业发展。如何利用和改善这些盐碱地, 已经引起人们高度重视。引进一些耐氯化物、硫酸盐、耐瘠薄的植物, 是北方旱区盐碱地改良和生态环境改善的一种很好的措施。因此, 选择适宜的植物种类, 并对其适应环境特征进行研究, 阐明植物适应逆境的生理生态学机制, 从而发掘新的抗盐性强的优良植物种质资源, 对于盐碱地植被恢复与重建具有重要理论和实践意义。

滨藜 (*Atriplex*) 是藜科滨藜属植物, 是干旱、半干旱地区的典型植物, 具有耐旱、耐盐等特性。中国原产滨藜大多为 1 a 生草本植物, 其中戟叶滨藜、西伯利亚滨藜等已作牧草利用。而木本滨藜研究还处于研究推广的初级阶段, 先后也有一些科研工作者展开一定工作[3-6], 并取得一定成功。以往研究中针对木本滨藜的抗盐性研究较少, 尤其是盐分对植物光合及生长影响研究尚属空白。光合作用是植物生存的能量和物质基础, 也是全球碳循环及其它物质循环的最重要环节, 在物质生产过程中的能量吸收、固定、分配与转化中起到重要作用[7]。光合反应载体叶绿体是植物对逆境胁迫最敏感的器官[8-9], 所以研究植物抗盐性, 首先清楚认识到植物在逆境环境下光合反应机制, 才能对植物抗盐性做出一个合理评价。

本文从美国引进努塌滨藜 (*Atriplex gardneri*)、三角滨藜 (*Atriplex tridentate*)、四翅滨藜 (*Atriplex canescens*), 并选取中国抗逆性较强的乡土树种沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 和白榆 (*Ulmus pumila*) 为对照植物, 进行盐分胁迫对植物光合及生长影响对比试验, 以期明确木本滨藜植物抗盐能力, 从而为选取抗逆性强的植物资源, 为中国北方旱区盐碱地利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试苗木为努塌滨藜、三角滨藜、四翅滨藜、沙棘、白榆 2 a 生实生苗 (青海育苗基地提供)。供试土壤为苗圃地表土过筛加沙, 土沙体积比为 3:1, 田间最大持水率

收稿日期: 2011-12-31 修订日期: 2012-04-17

基金项目: 林业公益性行业科研专项“干旱区城市森林质量评估及空间配置技术研究” (201104045)

作者简介: 王宇超 (1978-), 男, 陕西铜川人, 博士生, 主要从事森林生态以及生理生态研究。杨凌 西北农林科技大学林学院, 712100。

Email: wangyuchao2000@126.com

*通信作者: 王得祥 (1966-), 男, 青海乐都人, 教授, 博士生导师, 主要从事森林生态及森林健康可持续经营研究。杨凌 西北农林科技大学林学院, 712100。Email: wangdx66@126.com

为 22.8%，土壤含盐质量分数为 1.3 g/kg，各盐离子质量分数见表 1，试验地点为西北农林科技大学林学院教学苗圃。

表 1 土壤盐离子质量分数
Table 1 Soil salt ion mass fraction

盐离子	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
质量分数	0.3287	0.3044	0.0103	0.2115	0.2130	0.0599	0.2012	0.0045

1.2 试验方法

将苗木栽植桶中（上口口径×下口径×高：30 cm×25 cm×40 cm），每桶装土 11kg。在苗圃大田环境生长 4 个月后，进行盐胁迫处理，土壤水分控制为最大田间持水量的 70%。试验设置 2 个类型盐份处理：NaCl 和 Na₂SO₄；4 个土壤含盐量：1.3 (CK)、4、8 和 12 g/kg，每个处理设置 5 个重复。盐溶入水分 3 次加入，每次分别加入浓度为 0.990%、2.453%、3.927% 的盐溶液 1 L，每次间隔 7 d，在处理结束 20d^[10]取样并测定光合速率、叶绿素含量以及生长量指标，每个指标测定重复 5 次。

1.3 指标测定

叶绿素测定—采用丙酮提取法^[11]。

光合速率测定—光合速率用美国生产的 Li-6400 光合仪同步测定，叶面积用 Photoshop 软件计算。

生长量测定，分别用卷尺、游标卡尺，量取植物株高、基径。其生长增量计算为

$$\text{株高增量} = \text{胁迫后株高} - \text{胁迫前株高} \quad (1)$$

$$\text{基径增量} = \text{胁迫后基径} - \text{胁迫前基径} \quad (2)$$

1.4 抗盐评价方法以及数据处理

抗盐评价利用模糊隶属法综合评价抗盐性^[12]，其计算标准

$$\hat{X}_{ij} = (X_{ij} - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min}) \quad (3)$$

式中， X_{ij} 为 i 品种 j 性状值； $X_{i\min}$ 为 j 性状中最小值； $X_{i\max}$ 为 j 性状中最大值； \hat{X}_{ij} 为 i 品种 j 性状的抗盐隶属值。

将品种所有性状的抗盐隶属值进行累加，求其平均数

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \hat{X}_{ij} \quad (4)$$

式中， \bar{X}_i 是 i 品种的抗盐隶属函数， n 是评价指标数量， \bar{X}_i 大则抗盐性强；另外，如某一指标与抗盐性为负相关，可用反隶属函数计算其抗盐隶属函数值。

1.5 数据统计分析

采用 Excel 2003 和 SAS V8 统计分析软件对数据进行作图和方差分析。

2 结果与分析

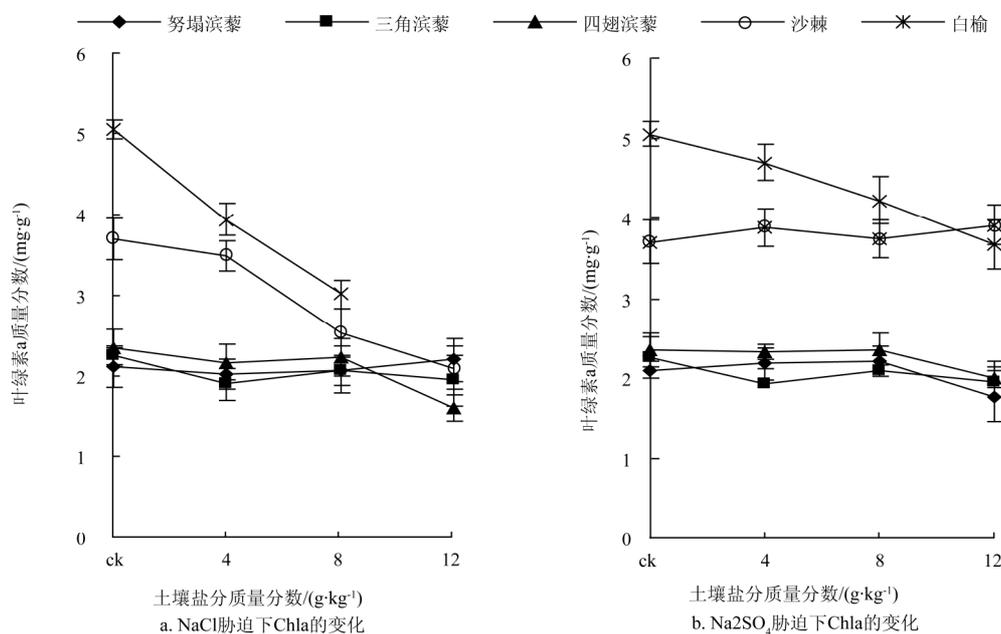
2.1 盐分胁迫对叶绿素含量的影响

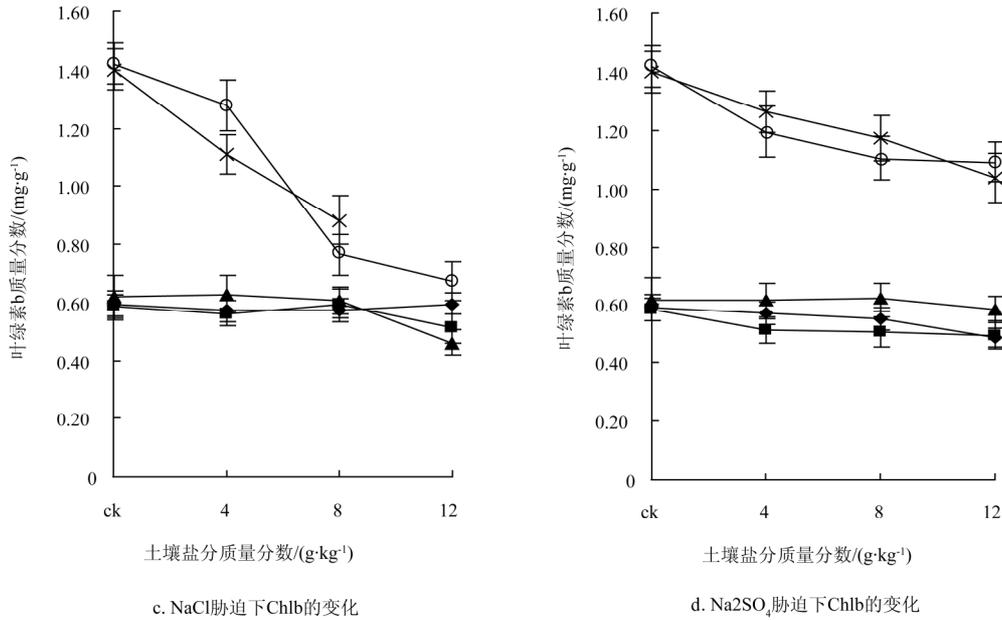
光是光合作用的能源，是植物生长的必要因素，类囊体膜是叶绿体光能吸收、传递和转换的结构基础，而色素是类囊体膜的重要组成，是光能的受体^[13]。盐胁迫下植物叶片叶绿素含量不仅直接关系植物的光同化过程，而且也是衡量植物耐盐性的重要生理指标之一。

2.1.1 盐胁迫对 Chla、Chlb 的影响

Chla 和 Chlb 是构成植物叶绿素的主要组成部分，其含量以及分工直接影响到植物光合作用和能量转化^[13]。

如图 1a、b 所示，3 种滨藜在 NaCl 盐土胁迫下 Chla 和 Chlb 减幅明显小于沙棘和白榆。努塌滨藜在 NaCl 胁迫下 Chla 和 Chlb 几乎没有显著性改变，说明色素合成遭受破坏程度较小，能够正常合成叶绿素。四翅滨藜在 4 和 8 g/kg NaCl 的盐胁迫下 Chla 和 Chlb 均没有显著性变化，而在 12 g/kg 盐胁迫下 Chla 和 Chlb 分别比对照下降 31.25% ($p < 0.01$)、25.83% ($p < 0.01$)，说明在 12 g/kg NaCl 盐胁迫下叶绿素合成受到破坏，其光能捕获和传递以及光能的转换都不同程度受到影响。沙棘和白榆的 Chla 和 Chlb 随着 NaCl 胁迫加剧呈显著性下降，其减幅明显超过 3 种木本滨藜。





注：图 a、b 中白榆在 12g/kg 盐土胁迫下死亡，故 Chla、Chlb 没有数值。

图 1 NaCl、Na₂SO₄胁迫下 5 种植物叶绿素 Chla、Chlb 的变化
Fig.1 Variation of Chla and Chlb of five plants under NaCl and Na₂SO₄ stress

如图 1c、d 所示，3 种滨藜在 Na₂SO₄ 的盐土胁迫下 Chla 和 Chlb 减幅较小，尤其在 4 和 8 g/kg 的盐胁迫下 Chla 和 Chlb 含量相对对照几乎没有变化，色素合成未受到影响。在 12 g/kg 盐土胁迫下，3 种滨藜 Chla 和 Chlb 含量不同程度受到影响，说明叶绿素合成受到一定影响，其中四翅滨藜和努塌滨藜在 Na₂SO₄ 12 g/kg 的盐胁迫下 Chla 比对照分别降低 14.59% ($p < 0.05$)、15.75% ($p < 0.05$)。努塌滨藜和三角滨藜在 12 g/kg 的盐胁迫下 Chlb 下降 17.82% ($p < 0.01$)、15.58% ($p < 0.05$)。沙棘在 Na₂SO₄ 胁迫下 Chla 基本没有变化，其光能的转换能力没有受到影响，Chlb 比对照降低 23.12% ($p < 0.01$)，光能吸收和传递受到明显减弱。白榆在胁迫下 Chla、Chlb 均有大幅度降低，叶绿素合成受到影响。

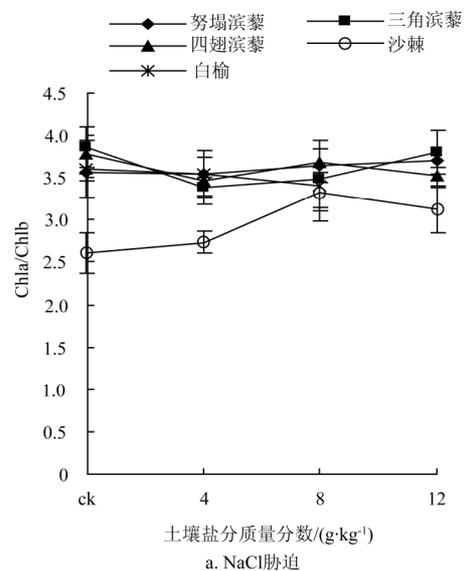
通过对比图 1 发现，NaCl 对植物叶绿素的含量影响明显大于 Na₂SO₄ 的影响。3 种木本滨藜叶绿素受到的影响明显小于沙棘和白榆。沙棘和白榆叶绿素含量下降幅度较大，尤其白榆在 12 g/kg 的 NaCl 胁迫下，已经死亡，这说明沙棘和白榆在叶绿素合成方面受阻，叶绿素含量下降剧烈，叶绿体超微结构及精细结构的形成受到影响，其结构发生变异，植物自身代谢受到影响^[14]。3 种木本滨藜在 4 和 8 g/kg 盐分胁迫下，表现出较强抗逆性，叶绿素含量均没有受到明显影响。

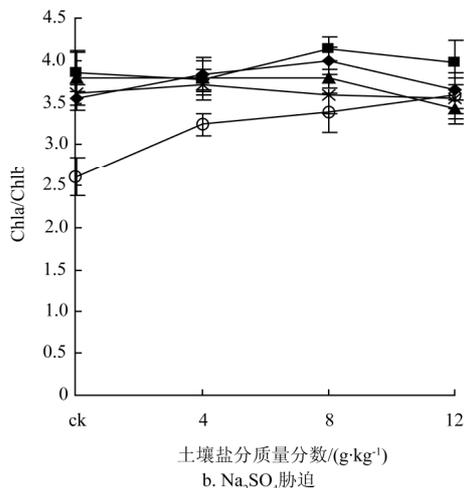
2.1.2 盐胁迫对叶绿素 a/b 的影响

Chla/Chlb 是反映植物叶片光能活性的直接指标，它与植物光合速率有直接关系^[15]

图 2a 所示努塌滨藜、三角滨藜、四翅滨藜在 NaCl 胁迫下 Chla/Chlb 变化不大，NaCl 对植物光能活性没有显著影响。沙棘在 NaCl 胁迫下 Chla/Chlb 还有大幅提高，尤其在 8g/kgNaCl 盐分胁迫下比对照增加 27.58% ($p < 0.01$)，说明沙棘光能活性得到提高。虽然前面分析沙棘在盐胁迫下 Chla、Chlb 有不同程度的减低，植物光合色素

合成受阻，但其光合活性并没有降低，通过提高植物光合效率维持正常的新陈代谢，这也是一种提高抗逆性的表现。白榆在 4 和 8 g/kg NaCl 的盐胁迫下 Chla/Chlb 下降幅度较小，但是在 12 g/kg 的盐胁迫下死亡，说明其抗盐能力已经达到极端，NaCl 盐含量已经超过其能忍受范围。图 2b 显示努塌滨藜在 Na₂SO₄ 胁迫下 Chla/Chlb 先升高再降低，在 8 g/kg 的盐土胁迫下达到最大值，比对照增加 12.27% ($p < 0.05$)。三角滨藜变化和努塌滨藜变化趋势相近，在 8 g/kg 的盐土胁迫下达到最大值，比对照增加 7.27%。这 2 种滨藜不仅 Chla 和 Chlb 总量没有明显减少，还通过提高光能活性，提高了光能利用效率，表现出极高抗逆性。四翅滨藜光能活性几乎没有显著性变化。沙棘随着胁迫加剧其 Chla/Chlb 逐步增加，与对照极显著差异 ($p < 0.01$)，这与 NaCl 胁迫下反应机理相一致。白榆的 Chla/Chlb 变化不大，说明 Na₂SO₄ 对其伤害远小于 NaCl。



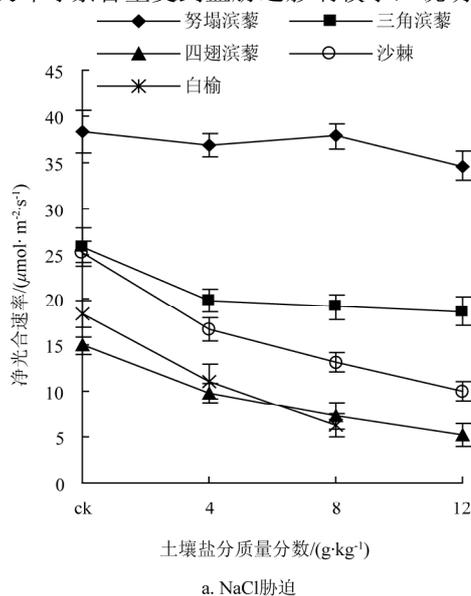


注：图 a 中白榆在 12 g/kg 盐土胁迫下死亡，故 Chla/Chlb 没有数值。
 图 2 NaCl、Na₂SO₄胁迫下 5 种植物叶绿素 a/b 的变化
 Fig. 2 Variation of Chla/Chlb of five plants under NaCl and Na₂SO₄ stress

2.2 盐胁迫对植物净光合速率的影响

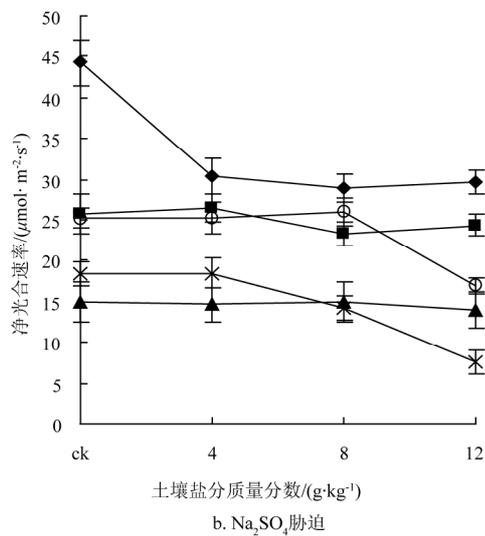
净光合速率是光合系统功能的直接体现，也是植株光合系统正常与否的指标^[16]，造成植物光合能力下降的原因主要是光合器官损伤、酶活力下降和抑制物质增多等^[17-18]，也可能是根系受盐胁迫产生的化学信号（如 ABA）引起气孔关闭^[19]而使光合速率下降。

从图 3a 可以看出，在 4 g/kg NaCl 盐胁迫下 3 种滨藜的净光合速率 *Pn* 均有大幅减少，随着盐胁迫加剧 *Pn* 减幅相对沙棘和白榆要平缓。结合前面分析结果，3 种滨藜光能活性以及叶绿素含量受到盐胁迫影响较小，说明盐



分对叶绿体结构没有构成实质性伤害。植物光合速率明显下降，可能是根系受到盐胁迫产生的化学信号引起气孔关闭使光合速率下降，也就是说这时光合速率降低主要可能是因为气孔限制因素起作用，随着胁迫加剧，植物体为了适应逆境，体内可以产生一些渗透调节物质（如脯氨酸）来维持植物体内水势，从而保持一定气孔开度，所以光合速率没有进一步降低^[20-21]。沙棘和白榆随着 NaCl 盐分浓度增加，*Pn* 急剧降低，其减幅明显大于 3 种滨藜植物，尤其白榆在 NaCl 8 g/kg 盐胁迫下已经死亡，无法完成植株基本新陈代谢。

从图 3b 可以看出，三角滨藜、四翅滨藜随着 Na₂SO₄ 盐分浓度增加，*Pn* 减少幅度明显小于沙棘和白榆。努塌滨藜在 4 g/kg Na₂SO₄ 盐土胁迫下 *Pn* 有明显下降，随着盐分胁迫加剧 *Pn* 基本维持不变，这与 NaCl 胁迫下有着相似变化规律，其机理与前面分析相似。沙棘和白榆的 *Pn* 随着盐胁迫加剧急剧下降，其减幅明显大于滨藜植物。白榆 *Pn* 下降幅度大于沙棘 *Pn* 下降幅度，这个结果也进一步验证了前面所分析的叶绿素变化规律。沙棘在 Na₂SO₄ 胁迫下，Chla/Chlb 随着胁迫增加逐步增大，光能活性增加，但是它的叶绿素含量有较大幅度降低，吸收光能的能力降低。叶绿素降低的原因可能是叶绿素合成受阻或促进了叶绿素酶活性^[18]，也可能是 Chla 下降较慢，而 Chlb 下降较快，产生了不合理的 Chla/Chlb 值，使光能转化和能量提供能力受到抑制，从而不能维持光合作用的高效运转^[5]。白榆在 Na₂SO₄ 盐土胁迫下 *Pn* 急剧下降，结合叶绿素含量变化规律，发现造成光合速率降低主要成因可能是胁迫使叶绿素的合成受阻，这与汪贵斌研究相一致^[22]。



注：图 a 中白榆在 12 g/kg 盐土胁迫下死亡，故 *Pn* 没有数值，净光合速率以 CO₂ 计。

图 3 NaCl、Na₂SO₄胁迫下 5 种植物净光合速率的变化
 Fig. 3 Variation of net photosynthetic rate of five plants under NaCl and Na₂SO₄ stress

通过分析发现，NaCl 胁迫对 5 种植物净光合速率的影响程度大于 Na₂SO₄ 胁迫。3 种木本滨藜植物净光合速率在 2 种盐分胁迫下变化幅度明显小于沙棘和白榆，滨藜植物在高浓度盐土下还能保持较高净光合速率，维持

正常新陈代谢，表现强的抗逆性。

2.3 盐胁迫对植物生长的影响

逆境环境对植物生长的影响，是衡量植物抗逆性的最直接指标，也是最全面指标，因为植物生长量是各个因子

影响的综合表达^[23]。盐胁迫会造成植物发育迟缓, 抑制植物组织和器官的生长和分化, 使植物的发育进程提前。

由表 2 可知, 3 种木本滨藜在 4 和 8 g/kg 盐土胁迫下, 植物株高、基径受影响较小, 在 12g/kg 盐土胁迫下, 滨藜植物生长量受到较大影响。四翅滨藜在 NaCl 12 g/kg 盐胁迫下株高和基径分别比对照降低 63.13% ($p < 0.01$)、54.35% ($p < 0.01$); 在 12g/kg Na₂SO₄ 胁迫下, 株高比对照降低 38.43% ($p < 0.01$), 基径生长没有减少。三角滨藜在 NaCl 12 g/kg 盐土胁迫下株高、基径分别降低 44.44% ($p < 0.01$)、38.57% ($p < 0.01$); 在 Na₂SO₄ 胁迫下 12 g/kg 盐土胁迫下株高、基径分别降低 36.66% ($p < 0.01$)、34.28% ($p < 0.01$)。努塌滨藜在 NaCl 12 g/kg 盐土胁迫下株高、基径分别降低 27.14% ($p < 0.05$)、42.81% ($p < 0.01$); 在 Na₂SO₄12g/kg 胁迫下株高、基径分别降低

31.42% ($p < 0.01$)、51.07% ($p < 0.01$)。白榆在 NaCl 的胁迫下株高和基径生长受到的影响最大, 白榆 8g/kg 盐土胁迫下已经停止生长, 12 g/kg 盐土胁迫下已经死亡; 在 Na₂SO₄ 胁迫下也是降幅最大, 在 12 g/kg 盐土胁迫株高、基径比对照分别降低 86.79% ($p < 0.01$)、91.72% ($p < 0.01$)。沙棘株高、基径受盐胁迫影响也比较明显, 在 NaCl 12 g/kg 盐土胁迫下株高、基径分别比对照降低 87.20% ($p < 0.01$)、85.66% ($p < 0.01$); 在 Na₂SO₄ 胁迫下沙棘生长受影响相对 NaCl 胁迫要小, 其株高、基径比对照降低 81.48% ($p < 0.01$)、77.57% ($p < 0.01$)。

通过以上分析得出, NaCl 对植物株高、基径影响明显高于 Na₂SO₄ 的影响, 沙棘和白榆生长量受影响明显大于 3 种滨藜。3 种木本滨藜植物株高和基径随盐分梯度变化规律与植物光合速率变化规律相一致。

表 2 NaCl、Na₂SO₄ 胁迫对 5 种植物株高、基径的影响

Table 2 Variation of plant height and ground diameter of five plants under NaCl and Na₂SO₄ stress

含盐量/(g·kg ⁻¹)	测试植物	NaCl 胁迫		Na ₂ SO ₄ 胁迫	
		株高增量/cm	基径增量/cm	株高增量/cm	基径增量/cm
1.3	努塌滨藜	7.00±0.06Aa	0.0327±0.0002 Aa	7.00±0.06Aa	0.0327±0.0002 Aa
	三角滨藜	9.00±0.04 Aa	0.0700±0.0067 Aa	9.00±0.04 Aa	0.0700±0.0067 Aa
	四翅滨藜	8.30±0.17 Aa	0.0333±0.0028 Aa	8.30±0.17 Aa	0.0333±0.0028 Aa
	沙棘	33.60 ±0.28Aa	0.2510±0.019 0Aa	33.60 ±0.28Aa	0.2510±0.0190Aa
	白榆	15.90 ±1.10Aa	0.0967 ±0.0076Aa	15.90 ±1.10Aa	0.0967 ±0.0076Aa
4	努塌滨藜	5.60±0.42 Ab	0.0293± 0.0015Aa	7.30±0.23 Aa	0.0341±0.0023 Aa
	三角滨藜	6.17± 0.38Ab	0.0700± 0.0045Aa	8.07±0.78 Aa	0.0763±0.0127 Aa
	四翅滨藜	5.30±0.29 Ab	0.0243±0.0031 Ab	5.93±0.12Bb	0.0493±0.0057 Aa
	沙棘	6.55±0.76Bb	0.0930± 0.0150Bb	11.77±1.10 Bb	0.1010±0.0023Bb
	白榆	0.66±0.05Bb	0.0120± 0.0065Bb	9.27±0.56 Bb	0.0667±0.0018Ab
8	努塌滨藜	5.45± 0.23Ab	0.0190±0.0043 Bb	6.78±0.67 Aa	0.0350±0.0026 Aa
	三角滨藜	6.85±0.37 Ab	0.0607±0.0078 Aa	6.08±0.23Ab	0.0658±0.0012 Aa
	四翅滨藜	4.41±0.08 Ac	0.0193±0.0086 Ab	6.31±0.67Bb	0.0492±0.0672 Aa
	沙棘	5.80± 0.07Bc	0.0583±0.0124Bc	8.56±1.02Cc	0.0756±0.0178Bc
	白榆	0Cc	0 Cc	3.43±0.89Cc	0.0386±0.0028Bc
12	努塌滨藜	5.10 ±0.07Ac	0.0187±0.0034 Bb	4.80±0.23Bb	0.0160±0.0034Bb
	三角滨藜	5.00± 0.10Bc	0.0430±0.0023Bb	5.50±0.24Bc	0.0460±0.0210Bb
	四翅滨藜	3.06±0.06Bd	0.0152±0.0012Bc	5.11±0.43Bc	0.0411±0.0012Ab
	沙棘	4.30±0.08Cd	0.0360±0.0011Cd	6.52±0.10Cd	0.0563±0.0014Bd
	白榆	/	/	2.10±0.76Dd	0.0080±0.0034Cd

注: 表中数据为平均值±标准误差, 不相同小写字母表示不同处理之间显著水平 $P \leq 0.05$, 不相同大写字母表示不同处理之间极显著水平 $P \leq 0.01$; 1.3 g/kg 含盐量为 CK。

2.4 植物抗盐性评价

本试验研究中采用隶属函数法, 利用测定的各项指标, 对 5 种植物种进行叶绿素、光合作用及生长的影响进行综合分析评判。考虑物种之间生理特性差异, 本文在求取隶属函数值时均采用差值进行运算, 在植物生长量运算中, 考虑到不同物种之间生长速度有明显差异, 采用生长量减少百分比为基础数据进行运算。根据公式 (1) ~ (4) 所述公式, 求出 5 种植物的各指标在不同盐分胁迫下的隶属值, 然后把每一指标下的各时段隶属值累加求平均值, 最后再累加指定树种各指标的抗旱隶属值, 求其平均值, 具体计算结果见表 3。

通过分析各个指标隶属函数值发现, 3 种木本滨藜植

物在不同盐分胁迫下, 除了 Chla/Chlb 以外, 其他 5 个指标的隶属函数值基本都大于沙棘和白榆, 说明盐胁迫对沙棘和白榆影响程度大于滨藜植物。从 Chla/Chlb 对应的隶属函数值可以看出, 沙棘和白榆基本大于滨藜植物, 说明沙棘和白榆叶绿素的光能活性要高于滨藜植物。通过进一步分析发现, 5 种植物各个指标受盐分胁迫程度不同。滨藜植物的 Chla、Chlb 影响较小, 叶绿素合成系统没有遭受到严重损害, 能够维持正常代谢。沙棘和白榆随着盐胁迫的加剧, Chla/Chlb 对应隶属函数值变化较小, 但株高、基径的生长量对应的隶属函数值有大幅度减少, 说明盐胁迫对其生长量已经造成巨大影响。而本文为了较全面得到植物抗盐能力, 对比各物种的抗盐隶属值的

总平均值, 其平均值越大, 其抗盐性越强。通过表 3 可以得出, 5 种植物的抗 NaCl 盐胁迫能力大小顺序为: 努塌滨藜>三角滨藜>四翅滨藜>沙棘>白榆; 抗 Na₂SO₄ 盐分胁迫能力大小顺序为: 四翅滨藜>三角滨藜>努塌滨藜>沙棘>白榆。

3 讨论

NaCl 和 Na₂SO₄ 是中国西部盐土地主要盐分, 对这 2 种盐土改良是中国西部盐土地改造的重要方面。沙棘和白榆是中国一个典型的乡土树种, 在中国西北广泛栽植, 具有较强的抗逆性^[24-25], 本文通过试验得出, 努塌滨藜、三角滨藜和四翅滨藜较沙棘和白榆具有更强的抗

盐性。根据土壤含盐量划分标准, 可以将盐碱土分为: 盐土, 重度盐化土, 中度盐化土, 轻度盐化土和非盐化土, 它们对应的含盐量分别为 ≥ 10 、 $4\sim 10$ 、 $2\sim 4$ 、 $1\sim 2$ 和 < 1 g/kg^[26], 通过前面分析得到, 3 种滨藜完全可以在北方旱区重度盐化土以及盐土中生长, 是值得在盐土地栽植推广的优良品种。但是植物的抗盐能力体现在多个方面, 例如通过调节细胞渗透物质、生成系统保护酶等进行减少盐分对植物伤害, 从而达到抗盐能力^[21], 本研究只是从植物体叶绿素、光合作用以及生长方面进行抗盐能力探讨, 要全面对本滨藜植物抗盐进行评价, 还需要对植物细胞膜过氧化物以及系统保护酶等方面做进一步研究。

表 3 5 种植物的隶属函数值
Table 3 Subordinate function values of five species

评价指标	努塌滨藜			三角滨藜			四翅滨藜			沙棘			白榆			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	
NaCl	Chla	0.96	0.98	0.97	0.91	0.94	0.92	0.95	0.96	0.84	0.94	0.76	0.67	0.77	0.59	0.00
	Chlb	0.98	0.98	0.97	0.98	1.00	0.94	1.00	0.98	0.88	0.89	0.53	0.46	0.79	0.63	0.00
	Chla/Chlb	0.83	0.85	0.87	0.72	0.75	0.82	0.76	0.81	0.77	0.86	1.00	0.95	0.82	0.79	0.00
	净光合速率	0.94	1.00	0.82	0.70	0.66	0.63	0.74	0.60	0.48	0.55	0.36	0.18	0.62	0.35	0.00
	株高增量	1.00	0.97	0.91	0.86	0.95	0.69	0.80	0.66	0.46	0.24	0.22	0.16	0.05	0.00	0.00
	基径增量	1.00	0.65	0.65	1.00	0.97	0.19	0.81	0.65	0.51	0.41	0.26	0.16	0.14	0.00	0.00
	隶属函数均值	0.91			0.81			0.76			0.53			0.31		
抗盐能力排序	1			2			3			4			5			
Na ₂ SO ₄	Chla	0.92	0.93	0.66	0.66	0.76	0.68	0.86	0.88	0.65	0.98	0.89	1.00	0.64	0.35	0.00
	Chlb	0.92	0.88	0.70	0.79	0.77	0.74	0.97	1.00	0.89	0.38	0.13	0.10	0.62	0.37	0.00
	Chla/Chlb	0.48	0.60	0.34	0.20	0.48	0.35	0.27	0.27	0.00	0.75	0.85	1.00	0.35	0.27	0.23
	净光合速率	0.25	0.12	0.19	0.99	0.72	0.81	0.90	0.93	0.84	0.93	1.00	0.22	0.94	0.57	0.00
	株高增量	1.00	0.76	0.61	0.84	0.60	0.53	0.55	0.56	0.53	0.24	0.13	0.07	0.50	0.09	0.00
	基径增量	0.69	0.71	0.29	0.72	0.61	0.41	1.00	1.00	0.89	0.23	0.16	0.10	0.43	0.23	0.00
	隶属函数均值	0.613888			0.648097			0.721628			0.508796			0.310101		
抗盐能力排序	3			2			1			4			5			

注: T₁: 4 g/kg 盐胁迫; T₂: 8 g/kg 盐胁迫; T₃: 12 g/kg 盐胁迫。

4 结论

1) 在 NaCl 和 Na₂SO₄ 盐胁迫下, 3 种木本滨藜叶绿素合成受到的影响要小于沙棘和白榆。在 4 和 8 g/kg 盐胁迫下, 3 种木本滨藜叶绿素合成, 几乎没有受到影响, 表现出较强抗盐性。在 12 g/kg 胁迫不同盐对各个植物叶绿素合成及活性有着不同程度有影响, 四翅滨藜对 Na₂SO₄ 表现出强的适应性, 叶绿素含量以及活性影响较小, 努塌滨藜对 NaCl 表现出强的抗逆性, 三角滨藜介于两者之间。

2) 3 种木本滨藜净光合速率受到盐胁迫影响程度明显小于沙棘和白榆。在高浓度盐的胁迫下, 3 种木本滨藜保持较高净光合速率, 维持正常新陈代谢, 表现较强的抗逆性。

3) 在 NaCl 和 Na₂SO₄ 盐胁迫下, 3 种木本滨藜的株高和基径所受影程度明显小于沙棘和白榆。5 种植物株高和基径随盐分梯度变化规律与植物光合速率变化规律相一致。

4) 利用隶属函数对 5 种植物抗盐能力进行评价得出: 5 种植物的抗 NaCl 盐分胁迫能力大小顺序为: 努塌滨藜

>三角滨藜>四翅滨藜>沙棘>白榆; 抗 Na₂SO₄ 盐分胁迫能力大小顺序为: 四翅滨藜>三角滨藜>努塌滨藜>沙棘>白榆。

综上: 本文供试的 3 种木本滨藜表现出较强抗逆性, 能够在高浓度盐土下维持较高光合速率。所以 3 种木本滨藜可以作为盐碱地植被恢复和改造的优良植物资源。

[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): 154-158. Li Bin, Wang Zhichun, Sun Zhigao, et al. Resources and sustainable resource exploitation of salinized land in China[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(2): 154-158. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张建锋, 宋玉民, 邢尚军, 等. 盐碱地改良利用与造林技术[J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(6): 124-129. Zhang Jianfeng, Song Yumin, Xing Shangjun, et al. Saline soil amelioration and forestation techniques[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2002, 30(6): 124-129. (in Chinese with English abstract)

- [3] 朱海丽, 胡夏嵩, 毛小青, 等. 护坡植物根系力学特性与其解剖结构关系[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 40-46. Zhu Haili, Hu Xiasong, Mao Xiaoqing, et al. Relationship between mechanical characteristics and anatomical structures of slope protection plant root[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(5): 40-46. (in Chinese with English abstract)
- [4] 王宇超, 王得祥, 彭少兵, 等. 盐胁迫对木本滨藜植物细胞膜透性及生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(4): 225-229. Wang Yuchao, Wang Dexiang, Peng Shaobing, et al. Effects of salt stress on cell membrane permeability and physiological property in woody saltbush[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(4): 225-229. (in Chinese with English abstract)
- [5] 王宇超, 王得祥, 彭少兵, 等. 干旱胁迫对木本滨藜生理特性的影响[J]. 林业科学, 2010, 46(1): 61-67. Wang Yuchao, Wang Dexiang, Peng Shaobing, et al. The effects of drought stress on physiological characteristics of woody saltbush[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(1): 61-67. (in Chinese with English abstract)
- [6] 李吉跃, 周平, 招礼军. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1380-1386. Li Jiyue, Zhou Ping, Zhao Lijun. Influence of drought stress on transpiring water-consumption of seedlings[J]. Acta ecologica Sinica, 2002, 22(9): 1380-1386. (in Chinese with English abstract)
- [7] 李银坤, 武雪萍, 吴会军, 等. 水氮条件对温室黄瓜光合日变化及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊 1): 122-128. Li Yinsheng, Wu Xueping, Wu Huijun, et al. Effects of water and nitrogen conditions on the diurnal variation of photosynthesis and yield of cucumber in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(suppl.1): 122-128. (in Chinese with English abstract)
- [8] Munne Bosch S, Alegre L. The xanthophylls cycle is induced by light irrespective of water status in field-grown lavender (*Lavandula stoechas*) plants[J]. Physiologia Plant, 2000, 108(2): 147-151.
- [9] Jiang C D, Gao H Y, Zou Q. Characteristics of photosynthetic apparatus in mn-starved maize leaves[J]. Photosynthetica, 2002, 40(2): 209-213.
- [10] 毛桂莲, 许兴. NaCl 胁迫对枸杞叶绿素荧光特性和活性氧代谢的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 118-121. Mao GuiLian, Xu Xing. Effect of NaCl stress on fluorescence characteristics and active oxygen metabolism in leaves of *Lycium barbarum* seedlings[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(5): 118-121. (in Chinese with English abstract)
- [11] 汤章城, 魏家绵, 陈因, 等. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科技出版社, 2004.
- [12] 辛国荣, 董美玲, 宋淑明. 牧草抗旱性研究 2 水分胁迫下 8 种燕麦品种的抗旱性综合评价[J]. 草业科学, 1996, 13(6): 30-34. Xin Guorong, Dong Meiling, Song Shuming. A study on herbage drought-resistance II comprehensive evaluation of 8 oats varieties underwater stress[J]. Pratacultural Science, 1996, 13(6): 30-34. (in Chinese with English abstract)
- [13] 刘洪展, 郑凤荣, 孙修勤. 驯化处理对海水胁迫下玉米幼苗生长特性的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 193-197. Liu Hongzhan, Zheng Fengrong, Sun Xiuqin. Effects of acclimation on the growth characteristics of maize seedlings during seawater stresses[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(8): 193-197. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张景云, 吴凤芝. 盐胁迫对黄瓜不同耐盐品种叶绿素含量和叶绿体超微结构的影响[J]. 中国蔬菜, 2009, (10): 13-16. Zhang Jingyun, Wu Fengzhi. Effects of salt stress on chlorophyll II content and chloroplast ultra-structure of different salt-tolerant cucumber varieties[J]. China Vegetables, 2009, (10): 13-16. (in Chinese with English abstract)
- [15] 肖志华, 张义贤, 张喜文, 等. 外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(3): 889-897. Xiao Zhihua, Zhang Yixian, Zhang Xiwen, et al. Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes[J]. Acta ecologica Sinica, 2012, 32(3): 889-897. (in Chinese with English abstract)
- [16] 周建, 杨立峰, 郝峰鸽, 等. 低温胁迫对广玉兰幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(1): 136-142. Zhou Jian, Yang Lifeng, Hao Feng, et al. Photosynthesis and chlorophyll II -fluorescence of *Magnolia grandiflora* seedlings under low temperature stress[J]. Acta Botanica Boreal-ccidental Sinica, 2009, 29(1): 136-142. (in Chinese with English abstract)
- [17] 崔兴国. 盐胁迫对车轴草叶绿素含量及光合特性的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2011, (4): 78-79. Cui Xingguo. Effects of salt stress on the chlorophyll II content and photosynthetic properties of *Trifolium repnes* Linn[J]. Heilongjiang Agricultural science, 2011, (4): 78-79. (in Chinese with English abstract)
- [18] 金雅琴, 李冬林, 丁雨龙. 盐胁迫对乌柏幼苗光合特性及叶绿素含量的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(1): 29-33. Jin Yaqing, Li Donglin, Ding Yulong. Effects of salt stress on photosynthetic characteristics and chlorophyll content of *Sapium sebiferum* seedlings[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2011, 35(1): 29-33. (in Chinese with English abstract)

- [19] 赵福庚, 孙诚, 刘友良. 不同浓度 NaCl 对 14C-Glu 向大麦幼苗质膜、液泡膜和类囊体膜蛋白掺入的影响及 ABA 的调节作用[J]. 南京农业大学学报, 2000, 23(2): 5—8. Zhao Fugeng, Sun Cheng, Liu Youliang. Effects of salinity stress on incorporation of 14C-Glu into plasma membrane, tonoplast and thylakoid membrane proteins and ABA regulation in barley seedlings[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2000, 23(2): 5—8. (in Chinese with English abstract)
- [20] 刘建新, 胡浩斌, 王鑫. 一氧化氮参与盐胁迫下黑麦草幼苗脯氨酸积累的调控[J]. 草地学报, 2010, 18(6): 786—791. Liu Jianxin, Hu Haobin, Wang Xin. Effect of nitric oxide on proline accumulation in ryegrass seedlings subjected to salt stress[J]. Pratacultural Science, 2010, 18(6): 786—791. (in Chinese with English abstract)
- [21] 高雁, 娄恺, 李春. 盐分胁迫下棉花幼苗对外源甜菜碱的生理响应[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊 1): 244—248. Gao Yan, Lou Kai, Li Chun. Effect of exogenous glycine betaine on the physiological responses of cotton seedlings under salt stress[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(suppl.1): 244—248. (in Chinese with English abstract)
- [22] 汪贵斌, 曹福亮. 盐分和水分胁迫对落羽杉幼苗的生长量及营养元素含量的影响[J]. 林业科学, 2004, 40(6): 56—62. Wang Guibing, Cao Fuliang. Effect of salt stress on growth and uptake of nutrient of *Taxodium distichum* under varying soil water content[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(6): 56—62. (in Chinese with English abstract)
- [23] 翁锦周, 林江波, 林加耕. 盐胁迫对桉树幼苗的生长及叶绿素含量的影响[J]. 热带作物学报, 2007, 28(4): 15—20. Wong Jinzhou, Lin Jiangbo, Lin Jiageng. Effect of salt stress on the growth and the content of chlorophyll in deedling leaves of eucalyptus[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2007, 28(4): 15—20. (in Chinese with English abstract)
- [24] 赵二劳, 梁泽, 张海容, 等. 沙棘叶对亚硝酸盐清除能力的研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(3): 81—82. Zhao Erlao, Liang Ze, Zhang Hairong, et al. Study on the nitrite scavenging ability with seabuckthorn leaf extract[J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(3): 81—82. (in Chinese with English abstract)
- [25] 侯军铭, 梁海永, 王颖, 等. 不同盐碱区白榆、白蜡、紫穗槐、柽柳体内离子分布特征[J]. 中国农学通报, 2009, 25(9): 277—281. Hou Junming, Liang Haiyong, Wang Ying, et al. Ion distributing characteristic of *Ulmus pumila*, *Fraxinus velutina*, *Amorpha fruticosa* and *Tamarix chinensis* in different saline and alkali area[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(9): 277—281. (in Chinese with English abstract)
- [26] 张源沛, 胡克林, 李保国, 等. 银川平原土壤盐分及盐渍土的空间分布格局[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 19—24. Zhang Yuanpei, Hu Kelin, Li Baoguo, et al. Spatial distribution pattern of soil salinity and saline soil in Yinchuan plain of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(7): 19—24. (in Chinese with English abstract)

Effects of salt stress on chlorophyll content and net photosynthetic rate of woody saltbush

Wang Yuchao, Wang Dexiang*

(College of Forestry, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: To provide an excellent plant resource for vegetation restoration in saline land region, *Atriplex tridentate*, *Atriplex gardneri* and *Atriplex canescens* were taken as study objects and *Hippophae rhamnoides* and *Ulmus pumila* as a control group, the effects of the varying saline soil on chlorophyll content, net photosynthetic rate and the growth of three woody saltbushes were analyzed under different concentration stress of NaCl and Na₂SO₄. The results showed that: 1) the effect of different salt stress treatments on chlorophyll content in *Atriplex tridentate*, *Atriplex gardneri* and *Atriplex canescens* was less than that in *Hippophae rhamnoides* and *Ulmus pumila*; 2) the net photosynthetic ratio of three woody saltbushes was less than the control group as well. Under the high salt concentration stress treatment, three woody saltbushes in treatment group showed high stress resistance ability with higher net photosynthetic rate and normal metabolism; 3) the height and basal diameter of three woody saltbushes in treatment group was less than the control group. The change of plant height and basal diameter of 5 species on salinity gradient was similar to the change on plant photosynthetic rate under salt-stressed; 4) The salt-resistant ability of 5 species was assessed by the membership function method. The salt-resistant ability of NaCl was ranked as *Atriplex gardneri* > *Atriplex tridentate* > *Atriplex canescens* > *Hippophae rhamnoides* > *Ulmus pumila*, and the salt-resistant ability of Na₂SO₄ as *Atriplex canescens* > *Atriplex tridentate* > *Atriplex gardneri* > *Hippophae rhamnoides* > *Ulmus pumila*. Three woody saltbushes had high salt-resistant ability in photosynthetic and growth and were suitable to be planted in saline region. This paper provides theoretical basis for the use of saline land in arid area in the north of China.

Key words: salts, chlorophyll, photosynthetic, growth, saltbush