

盐胁迫下白蜡和小胡杨光合生理日变化的响应研究

刘平¹, 潘文利², 魏忠平², 王玉涛¹

(1. 沈阳农业大学 林学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 辽宁省林业科学研究院, 辽宁 沈阳 110032)

摘要:以小胡杨、白蜡盆栽苗木为试材,分析其在不同盐分浓度下的光合速率、蒸腾速率、气孔导度等光合生理特征的日变化动态。结果表明:在轻度盐浓度下,白蜡的光合速率、蒸腾速率、气孔导度日变化均呈单峰型,而小胡杨则呈双峰型,白蜡和小胡杨的光合速率最大值均出现在8:00~10:00之间,白蜡的最大值为 CO_2 9.4364 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,低于小胡杨的 CO_2 16.304 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,但二者的水分效率相接近;在中度盐浓度下,白蜡光合速率日变化由单峰型变为双峰型,小胡杨则仍为双峰型,白蜡光合速率最大值仍出现在8:00~10:00之间,而小胡杨则出现在14:00~16:00之间,白蜡的最大光合速率为 CO_2 5.6575 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比轻度盐胁迫的下降了40%,小胡杨为 CO_2 4.352 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比轻度盐胁迫的下降了73.3%,二者水分利用效率也基本接近。

关键词:盐胁迫;光合速率;蒸腾速率;水分利用效率

中图分类号:S 792.119 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)01-0075-04

土壤盐渍化是影响植物正常生长发育较普遍的逆境胁迫因子之一,是制约农林业生产的一个全球性问题。盐渍土壤的改良主要有工程措施、化学药剂和生物改良等方法。其中工程措施和化学药剂改良土壤不仅投资较高,而且会较大地改变原始的生活环境,并存在污染的隐患,同时实践证明效果也不甚理想。而选择适宜的植物种类和培育耐盐植物品种来适应盐渍环境并达到改善环境的方法更具有良好的应用前景。因而,植物对盐胁迫的响应机制,植物耐盐性的提高一直是植物学研究的热点问题。在盐碱地改良和利用中,林业建设无疑发挥着重要作用。目前,植物耐盐碱方面的研究多集中在农作物上^[1],在林木上的研究主要集中在胡杨、群众杨、I124杨、毛白杨、新疆杨、刺槐、银中杨及其一些耐盐的灌木等少数树种^[2-8]。研究主要涉及盐胁迫下树木的酶活性^[9]、渗透调节物质^[10]、抗氧化能力^[2-3]、组织离子^[11]等方面,但对不同盐分浓度下的光合生理日变化的研究还比较少^[7,12]。现选择在辽宁海防林建设中的主要造林树种白蜡和小胡杨进行不同盐分胁迫下光合生理日动态变化研究,从而揭示其在不同盐分浓度下的光合生理变化规律,找寻能稳定发挥最大光合速率的最佳盐分浓度范围,以期在海防林营造中适地适树的选择提供科学的依据。

第一作者简介:刘平(1979-),男,博士,讲师,研究方向为森林培育与林木生长模型。E-mail: lp_79@163.com。

基金项目:国家林业科技支撑计划资助项目(2009BADB2B0503)。

收稿日期:2011-10-08

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择辽宁海防林建设中最常用的造林树种白蜡(*Fraxinus chinensis*)、小胡杨(*Populus simonii* × *P. euphratica*)作为盆栽树种进行抗盐试验。于2010年5月8日从盘锦大洼县选择1 a生的小胡杨苗木,2 a生的白蜡苗木,每树种选择地径大小一致、苗高一致、健康生长的苗木各40株,并从大洼县选择当地的轻盐碱土作为栽植用土(土壤本底值见表1),将苗木定植于10 L的塑料桶中,摆放在辽宁省林业科学研究院苗圃内进行培养。

表1 盆栽轻盐碱土壤本底值

有机质 /g · kg ⁻¹	全盐量 /%	pH	碱解氮 /mg · kg ⁻¹	速效磷 /mg · kg ⁻¹	速效钾 /mg · kg ⁻¹
16.28	0.29	8.48	84.78	19.54	591.73

1.2 试验方法

苗木盆栽期间,为了保证苗木正常生长,培养期间定期浇水以保持土壤湿度,并每2周浇1次Hoagland营养液(每桶1 L)。从8月初开始进行浇盐处理,用Hoagland完全营养液为溶剂配置不同浓度的NaCl溶液。为了减轻盐分对幼苗的冲击伤害,每天按50 mmol/L递增,直到盐浓度达到预定的中度盐胁迫浓度200 mmol/L之后^[6],每3 d浇1次预定浓度的处理盐溶液,每次浇1 L。每天浇水量各处理均保持一致,浇水量视基质水分状况,始终保持基质湿润。达到预定浓度后开始取样测定各种生理指标。

1.3 项目测定

使用便携式光合测定分析系统 Licor-6400 测定白蜡、小胡杨的光合生理指标,包括光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度和水分利用效率等。在进行浇盐处理前,于 2010 年 8 月份选择 1~2 个天气晴朗的日子从早 6:00 至晚 18:00,每隔 2 h 固定选择生长健壮的叶片测定光合生理指标,重复 3~5 次。中度盐胁迫处理后的第 2 天,再次测定白蜡、小胡杨的光合生理日变化。

2 结果与分析

2.1 轻度盐胁迫下白蜡和小胡杨的光合生理日变化特征

由图 1~4 可知,白蜡在轻度盐胁迫条件下,光合速率、蒸腾速率、气孔导度日变化都呈单峰型趋势。光合速率最大值出现在 8:00~10:00 之间,最大值为 CO_2 $9.4364 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,之后光合速率开始下降,全天平均光合速率为 CO_2 $6.2158 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。蒸腾速率最大值出现在 10:00~12:00 之间,最大值为 H_2O $3.0605 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,之后蒸腾速率开始降低,全天平均蒸腾速率为 H_2O $2.0914 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,气孔导度的最大值出现的时间与蒸腾速率一致,最大值为 H_2O $0.1245 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由图 5~8 可知,小胡杨在轻度盐胁迫条件下,光合速率、蒸腾速率、气孔导度日变化都呈双峰型变化趋势。光合速率在 8:00~10:00 之间出现第 1 个峰值,最大值为 CO_2 $16.304 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,之后光合速率急剧下降,在 10:00~12:00 之间达到第 1 个峰谷,出现明显的午休现象,之后光合速率开始缓慢回升,在 14:00~16:00 之间出现第 2 个峰值,光合速率为 CO_2 $12.2315 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,之后光合速率开始急剧下降,全天平均光合速率为 CO_2 $9.9318 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。蒸腾速率在 8:00~10:00 之间出现第 1 个峰值,最大值为 H_2O $5.6116 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,之后蒸腾速率急剧下降,在 10:00~12:00 之间达到峰谷,蒸腾速率为 H_2O $1.6793 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,之后蒸腾速率逐步上升,在 14:00~16:00 之间出现第 2 个峰值,蒸腾速率为 H_2O $3.9257 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,全天平均蒸腾速率为 H_2O $3.4137 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。气孔导度的变化趋势同蒸腾速率一致,全天平均气孔导度为 H_2O $0.1575 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

对比白蜡与小胡杨在轻度盐胁迫情况下的光合速率等指标的日变化发现,白蜡与小胡杨的光合速率、蒸腾速率、气孔导度变化呈现的趋势不同,一个为单峰型,一个为双峰型,但 2 个树种光合、蒸腾等最大值出现的时间均在 8:00~10:00 之间。小胡杨日最大光合速率、蒸腾速率分别是白蜡的 1.72 和 1.83 倍,全天的平均光合速率、蒸腾速率分别是白蜡的 1.59 和 1.63 倍,而全天

的水分利用效率则为白蜡与小胡杨的相接近,分别为白蜡水分利用效率 CO_2 $2.97 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$,小胡杨水分利用效率 CO_2 $2.91 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ 。因而,在水分利用效率相近的情况下,小胡杨维持高光合生产效率的同时,需蒸腾更多的水分。在含盐量轻的盐碱地营林过程当中,随着林木耗水的增加,土壤有效利用的水分不断减少,盐分浓度不断升高,在外部降水消减盐分浓度之前,营造小胡杨林分比营造白蜡林分更容易出现使林木发生盐胁迫的现象,枯梢直至死亡。

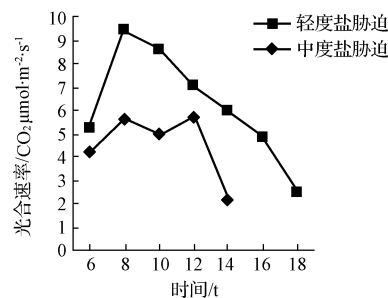


图 1 白蜡盐胁迫下光合速率日变化曲线

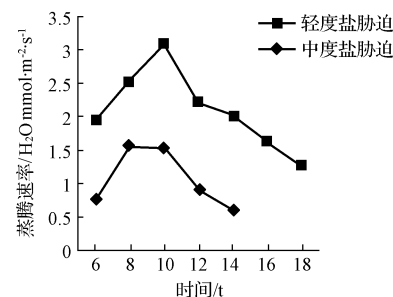


图 2 白蜡盐胁迫下蒸腾速率日变化曲线

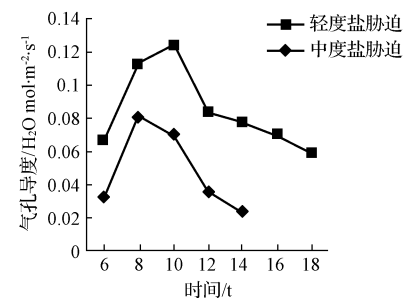


图 3 白蜡盐胁迫下气孔导度日变化曲线

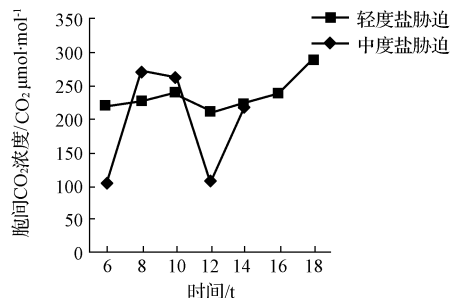


图 4 白蜡盐胁迫下胞间 CO_2 浓度日变化曲线

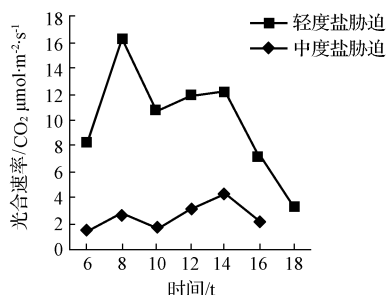


图5 小胡杨盐胁迫下光合速率日变化曲线

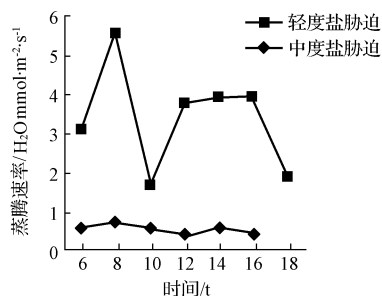


图6 小胡杨盐胁迫下蒸腾速率日变化曲线

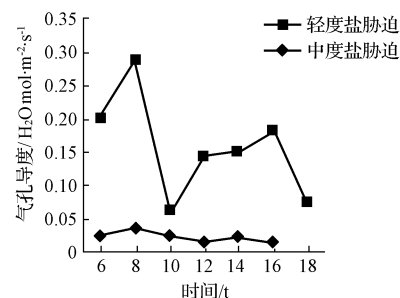
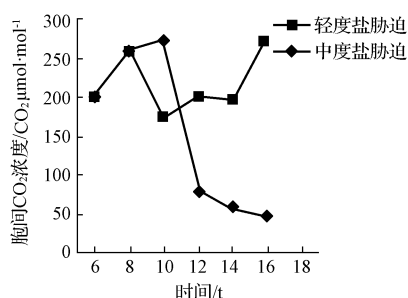


图7 小胡杨盐胁迫下气孔导度日变化曲线

图8 小胡杨盐胁迫下胞间CO₂浓度日变化曲线

2.2 中度盐胁迫下白蜡和小胡杨的光合生理日变化特征

由图1~4可知,白蜡在中度盐胁迫下,光合速率日变化会在10:00~12:00之间出现午休现象,最大值出现在8:00~10:00之间,为 CO_2 $5.6575 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比轻度盐胁迫下的光合速率值下降了40%,全天的光合速率平均值为 CO_2 $4.5079 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比轻度盐胁迫的光合速率值下降了27.5%。这主要是由于此时白蜡已经受到盐分浓度的影响,叶片的光合作用场所叶绿体已经受到影响,改变了其正常的光合作用规律,至于如何影响到光合作用系统,使叶绿体中的那些物体受到

干扰仍待进一步进行研究。中度盐胁迫后,白蜡的蒸腾速率最大值出现在8:00~10:00之间,为 H_2O $1.5481 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比轻度盐胁迫的蒸腾速率下降了49.4%,全天的蒸腾速率平均值为 H_2O $1.0672 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比轻度盐胁迫时下降了48.9%。气孔导度的变化趋势同蒸腾速率的变化趋势一致,也出现了明显的降低。由图5~8可知,小胡杨在中度盐胁迫下,光合速率日变化依旧呈双峰型变化,2个峰值仍然出现在8:00~10:00和14:00~16:00之间,但是最大光合速率却出现在第2个峰值,为 CO_2 $4.352 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,相比轻度胁迫呈延后现象,比轻度盐胁迫下的光合速率值下降了73.3%之多,全天的光合速率平均值为 CO_2 $2.5544 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比轻度胁迫时下降了74.3%。在中度胁迫后,小胡杨光合速率最大值的延后出现,表明小胡杨更适应弱光的环境,光照强度太大会抑制其进行光合作用。蒸腾速率也仍然呈双峰型变化趋势,最大值仍出现在8:00~10:00之间,为 H_2O $0.7478 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比轻度胁迫时下降了86.7%,但午休时间出现延后现象,发生在12:00~14:00之间,全天的平均蒸腾速率为 H_2O $0.5535 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比轻度胁迫时下降了83.8%。

对比白蜡和小胡杨在受到中度盐胁迫下的光合生理日变化趋势可以发现,白蜡在中度盐胁迫时,光合速率日变化由单峰型变化为双峰型,表明白蜡的光合作用系统已经受到盐分的影响,而小胡杨则在中度盐胁迫时,仍与轻度胁迫时的变化趋势一致为双峰型,只是出现最大值延后现象,这反映出小胡杨光合作用系统对盐分浓度提升的一种保护机制。中度盐胁迫后,不论从光合速率最大值、蒸腾速率最大值,还是全天平均光合速率、全天平均蒸腾速率比轻度胁迫时下降的百分比来看,小胡杨降低的比例73.3%~86.7%远远大于白蜡降低的比例27.5%~49.4%。然而,在白蜡和小胡杨受中度盐胁迫时,白蜡的日最大光合速率、蒸腾速率反而分别是小胡杨的1.3和2.07倍,全天的平均光合速率、蒸腾速率分别是小胡杨的1.76和1.93倍。因此,相比而言,白蜡在中度盐胁迫时,光合生理等指标反而能维持在更高的水平,更能适应盐胁迫的影响。对白蜡和小胡杨在盐胁迫时的水分利用效率进行分析发现,白蜡全天平均水分利用效率为 CO_2 $4.2240 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$,小胡杨全天平均水分利用效率为 CO_2 $4.6466 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$,二者水分利用效率基本接近。因而,通过上述的分析比较,在中度盐浓度的造林地中,营造白蜡林分要比营造小胡杨林分相对要更可靠一些。

2.3 白蜡和小胡杨光合生理耐盐性评价

通过对白蜡和小胡杨光合生理特征在轻度和中度盐胁迫下的日变化趋势分析发现,在轻度盐分胁迫下,虽然小胡杨的光合速率、蒸腾速率都要比白蜡的高

1.8 倍左右,但是其水分利用效率基本相接近,在中度盐胁迫下,小胡杨的光合速率、蒸腾速率下降的速率要远远高于白蜡的,白蜡反而在受到盐分胁迫时,其光合速率、蒸腾速率要高于白蜡 2 倍左右。因而,单纯从白蜡和小胡杨的光合生理特性来看,白蜡无论在轻盐碱地,还是中度盐碱地,表现都要比小胡杨强。因此,建议在辽宁海防林建设中,应根据造林地的盐分浓度进行分类,在轻盐碱含量的造林地中,可以优先选择小胡杨。而在盐分浓度较高的造林地,应考虑把白蜡作为优先选择的主要造林树种。

3 结论

该文对辽宁海防林建设中常用的 2 个造林树种小胡杨和白蜡在盐胁迫下的光合生理日变化动态进行分析,研究发现在轻度盐胁迫下,白蜡的光合速率、蒸腾速率、气孔导度日变化都呈单峰型趋势,而小胡杨则呈双峰型变化趋势。小胡杨日最大光合速率、蒸腾速率分别是白蜡的 1.72 和 1.83 倍,全天的平均光合速率、蒸腾速率分别是白蜡的 1.59 和 1.63 倍,而全天的水分利用效率则为白蜡与小胡杨的相接近,分别为白蜡水分利用效率 $\text{CO}_2 2.97 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$,小胡杨水分利用效率 $\text{CO}_2 2.91 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ 。在中度盐胁迫情况下,白蜡的光合速率日变化由单峰型变化为双峰型,而小胡杨则仍为双峰型。白蜡的日最大光合速率、蒸腾速率分别是小胡杨的 1.3 和 2.07 倍,全天的平均光合速率、蒸腾速率分别是小胡杨的 1.76 和 1.93 倍。白蜡全天平均水分利用效率为 $\text{CO}_2 4.2240 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$,小胡杨全

天平均水分利用效率为 $\text{CO}_2 4.6466 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$,二者水分利用效率基本接近。因而,通过对白蜡和小胡杨在不同盐分浓度胁迫下的光合生理特性的日变化动态研究,可以根据造林地的盐分浓度含量,科学地选择造林树种,最有效地发挥造林树种的生产潜力,达到适地适树,从而提升盐碱地造林的成活、成林和稳定性。

参考文献

- [1] 陈文利,徐朗莱,沈文魁,等.盐胁迫下两品种大麦叶片 H_2O_2 累积及其清除酶活性的变化[J].南京农业大学学报,1998,22(2):97-100.
- [2] 朱会娟,王瑞刚,陈少良,等. NaCl 胁迫下胡杨和群众杨抗氧化能力及耐盐性[J].生态学报,2007,27(10):4113-4121.
- [3] 王瑞刚,陈少良,刘力源,等.盐胁迫下 3 种杨树的抗氧化能力与耐盐性研究[J].北京林业大学学报,2005,27(3):46-52.
- [4] 王青宁.六种沙地灌木的抗盐生理研究[M].杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [5] 曹帮华.刺槐抗旱抗盐特性研究[D].北京:北京林业大学,2005.
- [6] 陶晶.东北主要杨树抗盐机理及抗性品种选育的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2002.
- [7] 杨敏生,李艳华,梁海永,等.白杨派杂种无性系及其亲本光合和生长对盐胁迫的反应[J].林业科学,2006,42(4):19-26.
- [8] 熊亮.江苏沿海重盐碱土区土壤盐分动态与耐盐植物筛选研究[M].南京:南京林业大学,2008.
- [9] 孟康敏,杨秀清,潘文利,等.辽宁滨海盐碱地土壤改良及造林技术研究[J].林业科学,1997,33(1):25-33.
- [10] 马焕成,陈少良,王沙生.脱落酸与胡杨抗盐性的关系[J].西南林学院学报,1998,18(3):8-14.
- [11] 陈少良,李金克,尹伟伦,等.盐胁迫条件下杨树组织及细胞中钾、钙、镁的变化[J].北京林业大学学报,2002,24(56):84-88.
- [12] 马焕成,王沙生,蒋湘宁.盐胁迫下胡杨的光合和生长响应[J].西南林学院学报,1998,18(1):33-41.

Effect of Salt Stress on Photosynthetic Diurnal Variation of *Fraxinus chinensis* and *Populus simonii* × *P. euphrati* Seedlings

LIU Ping¹, PAN Wen-li², WEI Zhong-ping², WANG Yu-tao¹

(1. College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866; 2. Liaoning Provincial Research Institute of Forestry Science, Shenyang, Liaoning 110032)

Abstract: The *Fraxinus chinensis* and *Populus simonii* × *P. euphrati* seedlings were used as experimental material to study the effect of salt stress on the photosynthetic diurnal variation. The results showed that the photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance diurnal variation of *Fraxinus chinensis* showed a single peak type, while *Populus simonii* × *P. euphrati* was double peak type under mild salt stress. The maximum value of photosynthetic rate of *Fraxinus chinensis* and *Populus simonii* × *P. euphrati* Seedlings all appeared at 8:00~10:00, the maximum value were $\text{CO}_2 9.4364 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and $\text{CO}_2 16.304 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively, but the water use efficiency were close. In moderate salt stress, the photosynthetic rate diurnal variation of *Fraxinus chinensis* was double peak type, while *Populus simonii* × *P. euphrati* was single peak type. The maximum value of photosynthetic rate of *Fraxinus chinensis* seedlings appeared at 8:00~10:00, while *Populus simonii* × *P. euphrati* seedlings appeared at 14:00~16:00. The maximum photosynthetic rate of *Fraxinus chinensis* was $\text{CO}_2 5.6575 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ decreased 40% than that of mild salt stress, the maximum photosynthetic rate of *Populus simonii* × *P. euphrati* seedlings was $\text{CO}_2 4.352 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ decreased 73.3% than that of mild salt stress, but the water use efficiency also were close.

Key words: salt stress; photosynthetic rate; transpiration rate; water use efficiency