西北林学院学报 2019,34(6):43-48
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2019.06.07

盐胁迫下嫁接对梅花光合生理特性和叶绿素荧光参数的影响

赵　靓,杨佳鑫,禹世豪,何立飞,王　静,李　悦,李海燕,肖　可,李庆卫*

(花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室,国家花卉工程技术研究中心,城乡生态环境实验室,
林木花卉遗传育种教育部重点实验室,园林学院,北京林业大学,北京 100083)

摘　要:研究盐胁迫对梅花光合作用的影响对土地盐渍化地区的梅花种植具有重要意义。选取5个不同水平的盐浓度,以'丰后'梅的自根苗和嫁接苗为材料,研究对其光合生理特性和叶绿素荧光参数的影响。结果表明,随着盐浓度的增加,自根苗和嫁接苗的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、可变荧光(F_v)、潜在光化学效率(F_v/F_0)、PSⅡ最大光化学量子产量(F_v/F_m)、PSⅡ有效光化学量子产量(F_v'/F_m')、PSⅡ实际光化学量子产量($Y(Ⅱ)$)、表观光合电子传递效率(ETR)和光化学猝灭系数(qP)呈现下降趋势,叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)和非光化学淬灭系数(NPQ)呈现上升趋势且自根苗弱于嫁接苗。在0.3%盐处理下自根苗和嫁接苗的光合能力没有受到较大影响,而0.6%～0.9%盐处理下嫁接对提高植物光合能力具有显著作用,在1.2%～1.5%盐处理下不具有显著作用。自根苗在各浓度处理下受到非气孔限制,嫁接苗在0.3%处理下受到的是气孔限制,在0.6%～1.5%处理下受到非气孔限制。

关键词:梅花;盐胁迫;嫁接;光合生理特性;叶绿素荧光参数

中图分类号:S718.43　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1001-7461(2019)06-0043-06

Effects of Grafting on the Photosynthetic Physiological Characteristic and Chlorophyll Fluorescence Parameters of *Prunus mume* under Salt Stress

ZHAO Liang, YANG Jia-xin, YU Shi-hao, HE Li-fei, WANG Jing, LI Yue, LI Hai-yan, XIAO Ke, LI Qing-wei*

(*Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation&Molecular Breeding, National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Key Laboratory of Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants of Ministry of Education, School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: It is of great significance to study the effects of salt stress on photosynthetic of *Prunus mume* in the cultivation and popularization in salinization soil. Five different levels of soil salt content were set up to study the effects of on photosynthetic physiological characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of the own-rooted seedlings of *P. mume* cultivar 'Fenghou' and grafted seedlings. The results showed that with the increase of salt content, physiological indices such as P_n, G_s, T_r, F_v, F_v/F_0, F_v/F_m, F_v'/F_m', $Y(Ⅱ)$, ETR, and qP showed downward trends. C_i and NPQ showed an upward trend. And self-rooted seedlings were weaker than grafted seedlings. The photosynthetic capacity of own-rooted and grafted seedlings was not significantly affected under 0.3% salt treatment, but grafting seedlings had significant effect on improving photosynthetic capacity of plants under 0.6%－0.9% salt contents, and had no significant effect under 1.2%－1.5% salt contents. The own-rooted seedlings were restricted by non-stomatal under different concentrations and the grafted seedlings were restricted by stomatal under 0.3% treatment, by non-

收稿日期:2019-01-04　**修回日期**:2019-05-29
基金项目:科学研究与研究生培养共建科研项目-北京实验室-北京城乡节约型绿地营建技术与功能型植物材料高效繁育(2016GJ-03)。
作者简介:赵　靓,女,硕士在读,研究方向:园林植物种质资源与育种。E-mail:574394902@qq.com
* **通信作者**:李庆卫,男,教授,研究方向:园林植物种质资源与育种。E-mail:lqw6809@bjfu.edu.com

stomatal under 0.6%－1.5% treatments.

Key words: *Prunus mume*; salt stress; grafting; photosynthetic physiological characteristics; chlorophyll fluorescence parameter

土壤盐渍化是指易溶性盐分在土壤表层积累的现象,会导致土壤板结与肥力下降,使土壤不利于植物吸收养分,阻碍植物生长。梅花(*Prunus mume*)是蔷薇科李属观赏植物,随着中国盐渍地面积的不断扩大及土地盐渍化程度的加剧[1],梅花的耐盐性研究成为其繁殖推广过程中的重要研究课题。

光合作用是植物生长发育过程中获取物质和能量的主要来源,当植物受到盐胁迫时,叶片净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)等生理指标发生变化[3]。光合作用过程中,吸光天线系统吸收光能将其汇集到反应中心,叶绿素荧光在此过程中既可以散射光能保护植物本身,同时还可作为探测叶片光合功能的探针[3]。植物的光合生理特性和叶绿素荧光参数可以在光合仪和叶绿素荧光仪的辅助下迅速而便捷的反映出植物处在不同盐浓度环境下所产生的生理变化[2],因此在众多植物的耐盐性研究中得到了广泛的应用。

试验以'丰后'梅的自根苗和嫁接苗为材料,研究在不同土壤盐浓度下,嫁接对其光合生理特性与叶绿素荧光参数的影响,探讨盐胁迫下梅花的光合生理响应,为在盐渍化土地中科学种植梅花提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及其处理

供试材料为 1 年生'丰后'梅自根苗(*P. mume* 'Fenghou',杏梅系梅花)和以山杏为砧木的嫁接苗,2017 年 3 月份将长势良好并相对一致的苗木栽植于培养基中,基质成分体积比为草炭土∶珍珠岩∶洗净河沙=2∶1∶1,各材料的基质质量为 7.5 kg。

2017 年 6 月上旬,先将盆土控水 7 d。试验设置土壤含盐量的水平为 0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%,并以蒸馏水(0)为对照,每个水平设 5 个重复。盐分的添加分 5 d 完成,每天加入 22.5 g(0.3%)的盐量,第 5 天记为处理的第 1 天,处理后进行常规管理,土壤持水量在 60%～80%,处理 15 d 后进行各项指标的测定。采用随机取样的方法,取样部位为植株中上部,取样后立即测定。各指标测定均设 3 个重复。

1.2 试验方法

1.2.1 光合生理特性的测定 试验使用便携式光合仪 LI-6400XT 测定植物的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r),测定时间为 9:00－11:00,测定光强为 1 000 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,$CO_2$ 浓度为 380 $\mu mol \cdot mol^{-1}$,温度为(31±1)℃。选取植物的上部功能叶,并做标记,之后每次测定使用相同叶片。每个处理重复 3 次。

1.2.2 叶绿素荧光参数的测定 试验使用便携式调制叶绿素荧光仪 PAM-2500 进行测定,测定时间为 9:00－11:00,测定条件同 1.2.1。选取植物的上部功能叶,并做标记,之后每次测定使用相同叶片。测定前暗适应 30 min 后,进行初始荧光 F_0 的测定,打开饱和脉冲测定最大荧光 F_m,关闭饱和脉冲打开光化光测定稳定荧光 F_s,再打开相同的饱和脉冲测定光下最大荧光 F_m',关闭光化光打开远红光测定光下初始荧光 F_0'。根据所测数据计算得到可变荧光($F_v=F_m-F_0$)、潜在光化学效率(F_v/F_0)、PSⅡ最大光化学量子产量(F_v/F_m)、PSⅡ有效光化学量子产量(F_v'/F_m')、PSⅡ实际光化学量子产量(Y(Ⅱ))、表观光合电子传递效率(ETR)、光化学猝灭系数(qP)、非光化学淬灭系数(NPQ)。每个处理重复 3 次。

1.3 试验数据处理及分析

数据使用 Excel2012、SPSS22.0 进行统计分析和作图。

2 结果与分析

2.1 不同盐浓度胁迫对梅花叶片光合生理特性的影响

2.1.1 净光合速率(P_n) 根据试验结果看出,随着盐浓度的升高,自根苗的 P_n 值呈现出明显的下降趋势(图 1)。在 1.5%高浓度下,比 CK 下降了 87.00%;相比之下,嫁接苗在 0.3%～0.9%中低浓度下变化较小,在 0.3%～0.6%时呈现出小幅度上升,在 1.2%高盐浓度时 P_n 呈现出大幅度下降,低于 0.9%盐浓度 78.90%。在 0.3%～0.9%中低浓度时,嫁接苗的 P_n 值显著高于自根苗($P>0.05$,下同);当盐浓度达到 1.2%时,嫁接苗和自根苗的 P_n 值之间不再存在显著性差异。

2.1.2 气孔导度(G_s)和叶片胞间 CO_2 浓度(C_i) 通过试验研究发现,自根苗和嫁接苗的 G_s 均呈现出下降趋势(图 1)。与 CK 相比,在 0.3%盐浓度时,嫁接苗的下降幅度达到 66.50%,而自根苗的下降幅度仅为 43.55%。在 0.3%～0.9%中低盐浓度

时,嫁接苗的 G_s 均显著高于自根苗,在 1.2%盐浓度时,自根苗的 G_s 高于嫁接苗但未达到显著性差异,在 1.5%盐浓度时,自根苗的 G_s 持续下降而嫁接苗出现小幅度回升,显著高于自根苗的 G_s。同时,与 CK 相比,自根苗的 C_i 值在 0.3%时小幅度上升,在 0.6%时下降,在 0.9%浓度时大幅度上升了 46.79%,在 1.2%时下降后在 1.5%再次小幅度回升。嫁接苗的 C_i 值在 0.3%时比 CK 下降了 30.54%,之后呈现出上升趋势并高于 CK。嫁接苗的 C_i 值在各浓度下均显著高于自根苗。在盐浓度大于 0.9%处理下自根苗在 G_s 下降情况下,C_i 出现显著升高现象,嫁接苗在 0.6%处理下即出现该现象。

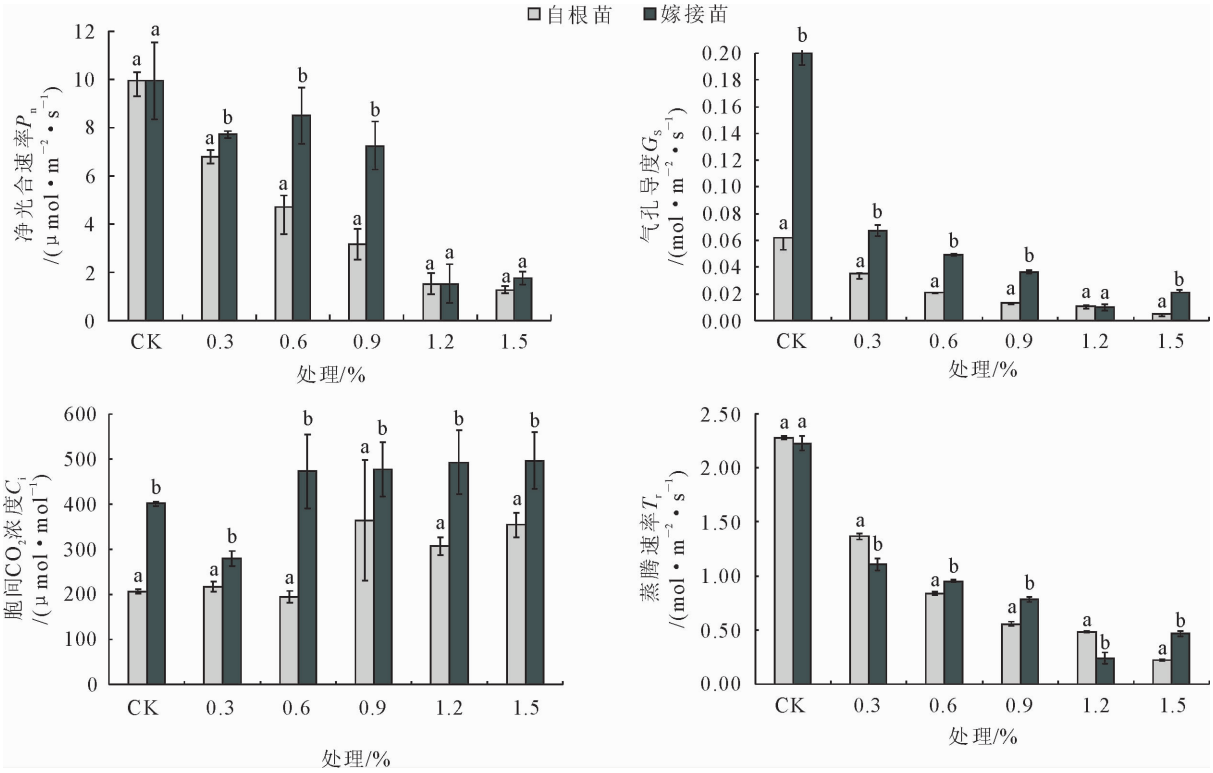


图 1　不同盐浓度胁迫对梅花叶片光合生理特性的影响

Fig. 1　The effect on photosynthetic physiological characteristic under salt stress of different concentrations

2.1.3　蒸腾速率(T_r)　通过试验结果看出,自根苗叶片蒸腾速率(T_r)随着盐浓度的升高与 P_n 和 G_s 变化趋势较为一致,总体呈现出下降趋势(图 1),与 CK 相比下降幅度在 40.04%～90.21%;嫁接苗在 0.3%～1.2%处理下呈现下降趋势,在 1.5%呈现小幅度回升。除 0.3%和 1.2%处理外,嫁接苗的 T_r 值均显著高于自根苗。

2.2　不同盐浓度胁迫对梅花叶绿素荧光参数的影响

2.2.1　可变荧光(F_v)和潜在光化学效率(F_v/F_0)　梅花自根苗的 F_v 值整体呈现出下降的趋势(图 2),在 0.3%处理下变化不大,之后分别比对照下降了 3.49%、5.66%、5.42%、33.79%,相比之下嫁接苗的 F_v 值更为稳定,且各处理下 F_v 均显著高于自根苗。梅花自根苗和嫁接苗的 F_v/F_0 均呈现出先上升后下降的趋势,在 0.3%处理下分别比对照升高了 0.27%和 7.03%,之后呈现下降趋势,在1.5%处理下分别比对照下降了 43.17%和 27.57%,嫁接苗和自根苗之间均无显著性差异。

2.2.2　PSⅡ最大光化学量子产量(F_v/F_m)和 PSⅡ有效光化学量子产量(F_v'/F_m')　通过试验结果看出,F_v/F_m 在 0.3%～0.6%的处理下呈现出下降趋势(图 2)。在 0.9%处理下出现上升,之后再次下降,在 1.5%浓度时自根苗和嫁接苗的 F_v/F_m 值分别下降了 16.67%和 14.10%,并且嫁接苗显著高于自根苗。F_v'/F_m'在 0.3%～0.9%的处理下呈现出下降趋势,在 1.2%处理下出现上升,之后再次下降,在 1.5%盐浓度时 F_v'/F_m'分别下降了 44.78%和 50.00%。在 0.6%和 0.9%的处理下嫁接苗的 F_v'/F_m'值显著高于自根苗。

2.2.3　PSⅡ实际光化学量子产量(Y(Ⅱ))和表观光合电子传递效率(*ETR*)　自根苗 Y(Ⅱ)的变化趋势与 F_v'/F_m'值相似(图 2)。在 0.3%～0.9%的盐浓度下时呈现下降趋势,在 1.2%处理时回升,之后再次下降,而嫁接苗在 0.9%时出现回升后再次下降;在 0.6%和 0.9%中盐浓度时,嫁接苗的 Y(Ⅱ)显著高于自根苗,在 1.2%和 1.5%高盐浓度时,自根苗的 Y(Ⅱ)高于嫁接苗,但未达到显著性水平。自根苗的

ETR 值呈现持续下降的趋势，与 CK 相比下降幅度在 4.37%～52.16%；嫁接苗的 *ETR* 值在 0.3%和0.6%时分别下降了 1.05%和3.42%，在 0.9%时回升了 2.41%，在 1.5%处理时出现较为明显的下降，比 CK 下降了 48.83%，在0.6%和 0.9%浓度时嫁接苗的 *ETR* 值显著高于自根苗。

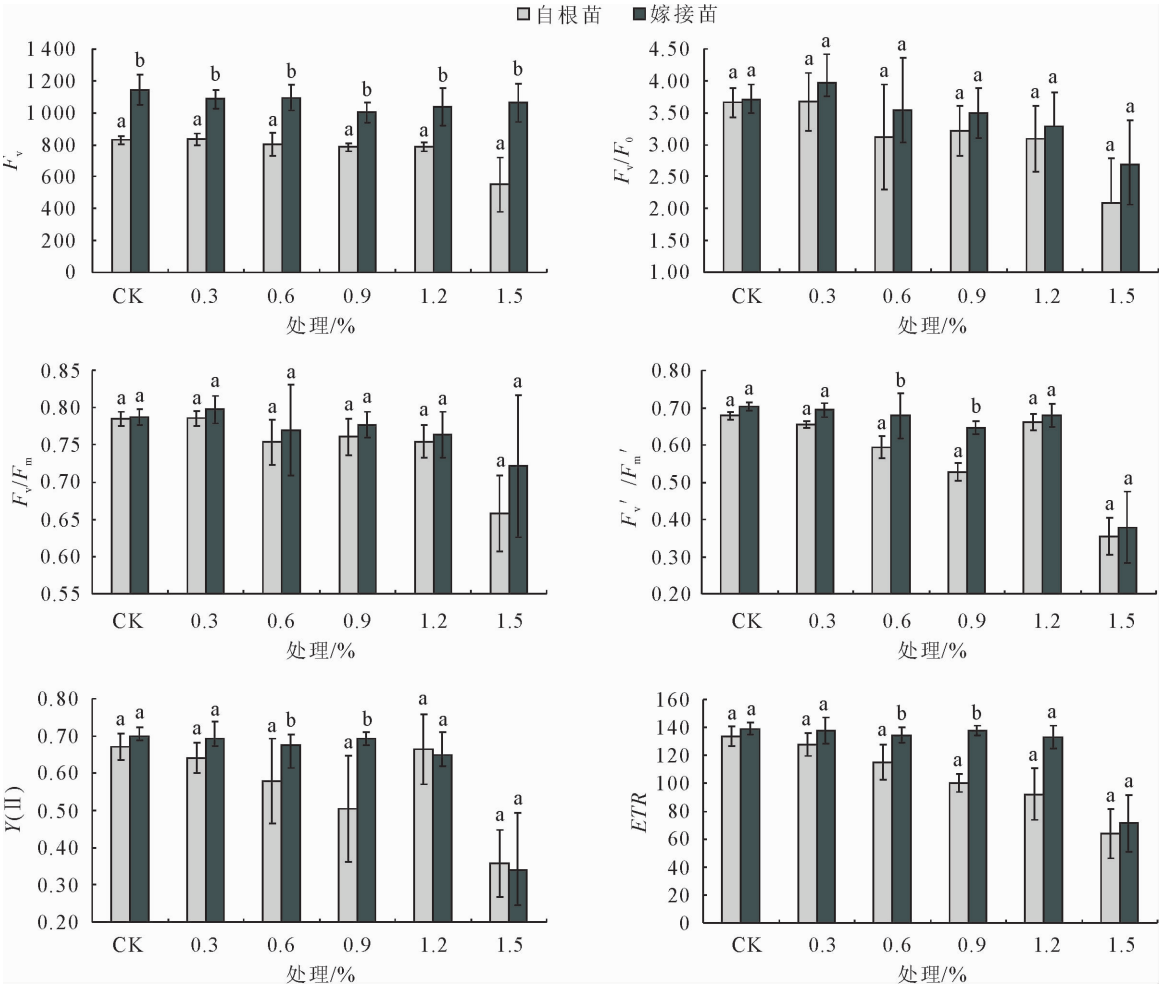


图 2 不同盐浓度胁迫对梅花叶片叶绿素荧光参数的影响

Fig. 2 The effect on chlorophyll fluorescence parameters of *Prunus mume* under NaCl stress of different concentrations

2.2.4 光化学猝灭系数(*qP*)和非光化学淬灭系数(*NPQ*) 自根苗的 *qP* 值与 Y(Ⅱ)的变化趋势相近，在 0.3%～0.9%中低盐浓度呈现下降趋势(图 3)。在 1.2%浓度时呈现回升，在 1.5%处理下再次下降；嫁接苗 *qP* 值在 0.3%～0.6%处理下较为稳定，在 0.9%～1.5%处理时与 CK 相比分别下降了 1.01%、2.02%和 6.06%；嫁接苗的 *qP* 值均大于自根苗，但未达到显著性差异。自根苗的 *NPQ* 值在 0.3%～1.2%处理下变化幅度较小，在 1.5%盐浓度时比 CK 上升了 82.91%；嫁接苗的 *NPQ* 值在 0.3%～0.9%处理下持续上升，在 1.2%时出现小幅度下降，在 1.5%时有又上升了 63.84%；嫁接苗的 *NPQ* 值在 0.6%～1.2%处理下显著高于自根苗。

3 讨论

净光合速率(P_n)表示的是植物单位叶面积所吸收的二氧化碳含量，能够直接反映植物在受到盐胁迫时所产生的生理变化，可以作为鉴定植物耐盐性的有效生理指标[4]；影响 P_n 的因素主要有气孔导度、胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率，它们共同作用以保障光合作用的顺利进行[5]。本研究中，随着盐浓度的增加，自根苗和嫁接苗的 P_n 和 T_r 均呈现下降趋势，这与柯裕州等[6]研究盐胁迫下桑树幼苗光合生理变化和刘遵春[18]研究不同盐分条件对金光杏梅幼苗生长所获得的结果一致。由此说明由于土壤中盐含量的增加，供试材料的光合作用受到的抑制逐渐增大。但是嫁接苗在 0.3%～0.9%中低浓度处理时下降幅度较小，在 1.2%高盐浓度下出现了大幅度的下降，同时在 0.3%～0.9%中低浓度时嫁接苗的 P_n 值显著高于自根苗，说明在中低浓度时嫁接苗的光合能力受到的影响较小，与自根苗相比可以显著提高梅花的耐盐性，但是在 1.2%～1.5%高浓度时，嫁接苗对提高梅花耐盐性作用不显著。

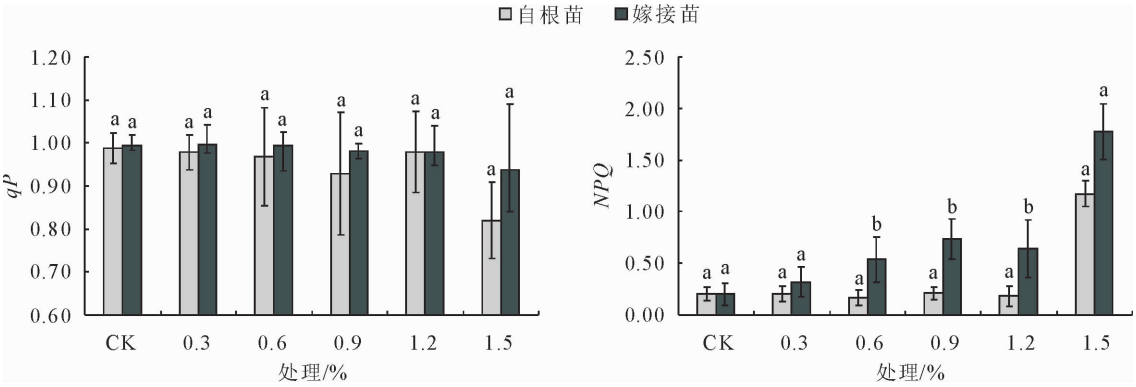


图 3　不同盐浓度胁迫对梅花叶片荧光淬灭系数的影响

Fig. 3　The effect on fluorescence quenching coefficients of *P. mume* under NaCl stress of different concentrations

导致植物光合速率降低的因素包括气孔限制和非气孔限制[7-10],根据 D. G. Farquhar 等[11]的观点,G_s 降低,进入气孔的 CO_2 含量减少,导致 C_i 降低,引起的 P_n 降低为气孔限制;G_s 降低,但 C_i 提高引起的 P_n 降低则为非气孔限制[6]。本试验中,自根苗在各浓度处理下,C_i 随着 G_s 的下降而升高,说明自根苗的 P_n 下降是由于盐离子进入细胞对其光合器官造成了损害,叶肉细胞光合活性下降,受到的是非气孔限制。嫁接苗在 0.3%盐浓度时,C_i 随着 G_s 的下降而下降,说明在低盐浓度时,CO_2 通过气孔向细胞内扩散量减少,光合作用暗反应所需要的底物减少,导致 P_n 下降,受到的是气孔限制;在 0.6%～1.5%的中高盐浓度处理下,C_i 随着 G_s 的下降而上升,是受到非气孔限制。

植物叶片中在进行光合作用时吸收的光能主要通过叶绿素荧光、光化学反应和热耗散这 3 种方式散掉,3 种途径间密切联系、相互作用[12]。叶绿素荧光参数的变化,在一定程度上可以反映出植物在遇到环境胁迫时作出的响应[13]。F_0 表示反应中心没有进行光合作用时暗适应下的最小荧光产量值,F_m 为反应中心没有进行光合作用时暗适应下的最大荧光产量值,二者差值 F_v 反映了植物的光化学反应中心的"能力范围",这种能力由自身的特征所决定[3]。本试验中,各浓度下嫁接苗的 F_v 都高于自根苗,说明嫁接苗的光合能力显著强于自根苗。F_v/F_0、F_v/F_m、F_v'/F_m'都是研究植物在不同的胁迫条件下光合作用是否受到抑制的重要指标,如果叶片中具有过高的钠离子浓度,植物叶绿体中的光合结构会受到破坏,进而影响 PSⅡ反应中心,原初光能转换效率降低,P_n 也会随之降低[14]。$Y(Ⅱ)$是指在光照下 PSⅡ反应中心部分关闭情况下的实际量子产额,ETR 表示的是在实际光强下表观电子传递效率,代表的是叶片吸收的光能中通过光合传递的能量与光合作用吸收的总光能的比例[15]。植物在不同盐浓度胁迫下,各项指标均呈现下降趋势,说明反应中心功能受到伤害,光合作用受到抑制,且在 1.5%高盐浓度处理时呈现明显的下降趋势,对反应中心造成较大的损伤。总体上看,嫁接苗的各项指标均高于自根苗,但是在 0.3%时没有显著性差异,在 0.6～0.9%时具有显著性差异,在 1.2%～1.5%时只有个别指标有显著性差异,同时,在 1.2%～1.5%处理时自根苗的 $Y(Ⅱ)$值略高于嫁接苗,说明嫁接苗在 0.6～0.9%的中盐浓度时对提高梅花的耐盐性具有显著作用,在低浓度和高浓度时作用不明显甚至无法提高耐盐性。

光化学淬灭系数 qP 反映的是用于引发光化学反应电子传递的能量占 PSⅡ天线色素吸收的光能的比例,非光化淬灭系数 NPQ 则反映不能用于光化学电子传递而以热耗散形式散发的能量[16]。在各浓度盐胁迫下 qP 值降低,NPQ 增加,说明在受到胁迫时,自根苗和嫁接苗的光化学反应均减弱,植物通过热消散来淬灭叶绿素荧光,耗散过剩的激发能,缓解胁迫条件对植物光合作用的不利影响[17]。并且在 0.6%～1.2%处理时,嫁接苗的 NPQ 值显著高于自根苗,说明其在中高浓度盐胁迫环境中通过热消耗来实现自我保护的能力要显著强于自根苗。

4　结论

随着盐浓度的增加植物光合能力减弱且自根苗弱于嫁接苗。在 0.3%盐处理下,自根苗和嫁接苗的光合特性没有受到较大影响,而 0.6%～0.9%盐处理下嫁接对提高植物光合能力具有显著作用,在 1.2%～1.5%盐处理下不具有显著作用。

光合生理特性和叶绿素荧光参数可作为评价植物耐盐性的重要指标,但植物耐盐性不能使用单一指标,该试验结果可作为其中一项重要参考。

参考文献：

[1] RADICS, RADIC-STOJKOVICM, PEVALEK-KOZLINAB. Influence of NaCl and mannitol on peroxidase activity and lipid peroxidation in *Centaurea ragusina* L. roots and shoots [J]. Plant Physiol, 2006, 163(12): 1284-1292.

[2] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448.
ZHANG S R. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1999, 16(4): 444-448. (in Chinese)

[3] 尤鑫, 龚吉蕊. 叶绿素荧光动力学参数的意义及实例辨析[J]. 西部林业科学, 2012, 41(5): 90-94.
YOU X, GONG J R. Significance and application of chlorophyll fluorescence dynamics process parameters[J]. Journal of West China Forestry Science, 2012, 41(5): 90-94. (in Chinese)

[4] FAVARETTOA V F, MARTINEZA C A, SORIANIA H H, *et al*. Dif-ferential responses of antioxidant enzymes in pioneer and late-successional tropical tree species grown under sun and shade conditions[J]. Environmental and Experimental Botany, 2011, 70: 20-28

[5] 张云, 夏国华, 马凯, 等. 遮阴对堇叶紫金牛光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(7): 1940-1948.
ZHANG Y, XIA G H, MA K, *et al*. Effects of shade on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence of *Ardisia violacea*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(7): 1940-1948. (in Chinese)

[6] 柯裕州, 周金星, 卢楠, 等. 盐胁迫对桑树幼苗光合生理及叶绿素荧光特性的影响[J]. 林业科学研究, 2009, 22(2): 200-206.
KE Y Z, ZHOU J X, LU N, *et al*. Effects of salinity on photosynthetic physiology and chlorophyll fluorescence characteristics of mulberry (*Morus alba*) seedlings[J]. Forest Research, 2009, 22(2): 200-206. (in Chinese)

[7] 孔红岭, 孙明高, 孙方行, 等. 盐、旱及其交叉胁迫对紫荆光合性能的影响[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(5): 42-44, 93.
SUN H L, SUN G M, SUN F X, *et al*. Effects of soil water stress, salt stress and intercross stress on photosynthetic characteristics of *Cercis chinensis*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(5): 42-44, 93. (in Chinese)

[8] 周丹丹, 刘德玺, 李存华, 等. 盐胁迫对朴树和速生白榆幼苗光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 西北植物学报, 2016, 36(5): 1004-1011.
ZHOU D D, LIU D X, LI C H, *et al*. Photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of *Celtis sinensis* and *Ulmus pumila* L. seeding under salt stress[J]. Acta Bot. Boreali-Occidentalia Sin., 2016, 36(5): 1004-1011. (in Chinese)

[9] 张川红, 沈应柏, 尹伟伦, 等. 盐胁迫对几种苗木生长及光合作用的影响[J]. 林业科学, 2002, 38(2): 27-31.
ZHANG C H, SHEN Y B, YIN W L, *et al*. Effect of salt stress on photosynthesis and growth of four trees species seedlings [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(2): 27-31. (in Chinese)

[10] 李旭新, 刘炳响, 郭智涛, 等. NaCl 胁迫下黄连木叶片光合特性及快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的变化[J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2479-2484.
LI X X, LIU B X, GUO Z T, *et al*. Effects of NaCl stress on photosynthesis characteristics and fast chlorophyll fluorescence in-duction dynamics of *Pistacia chinensis* leaves[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(9): 2479-2484. (in Chinese)

[11] FARQUHAR D G, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Ann. Rev. Plant Physiol, 1982(33): 317-345.

[12] 于凤, 高丽, 闫志坚, 等. 库布齐沙地 6 种植物叶绿素荧光参数比较[J]. 草业科学, 2012, 29(1): 83-87.
YU F, GAO L, YAN Z J, *et al*. Differentiation of chlorophyll fluorescence parameters of six plants species in the Kubuqi sandy land[J]. Pratacultural Science, 2012, 29(1): 83-87. (in Chinese)

[13] 董瑜, 田昆, 郭绪虎, 等. 不同区域气候条件影响下的纳帕海湿地植物叶绿素荧光特性[J]. 生态环境学报, 2013, 22(4): 588-594.
DONG Y, TIAN K, GUO X H, *et al*. Impacts of regional climate change on chlorophyll fluorescence characteristics of plateau wetland plants in Napahai, Yunnan China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(4): 588-594. (in Chinese)

[14] 孙璐, 周宇飞, 李丰先, 等. 盐胁迫对高粱幼苗光合作用和荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(16): 3265-3272.
SUN L, ZHOU Y F, LI F X, *et al*. Impacts of salt stress on characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of sorghum seedlings[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(16): 3265-3272. (in Chinese)

[15] FUNK J L, CORNWELL W K. Leaf traits within communities: context may affect the mapping of traits to function [J]. Ecology, 2013, 94(9): 1893-1897.

[16] 徐晨, 刘晓龙, 李前, 等. 供氮水平对盐胁迫下水稻叶片光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物学报, 2018, 53(2): 185-195.
XU C, LIU X L, LI Q, *et al*. Effect of salt stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of rice leaf for nitrogen levels[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2018, 53(2): 185-195. (in Chinese)

[17] 韩志国. 20 种湿地植物的叶绿素荧光特性[D]. 广州: 暨南大学, 2006.

[18] 刘遵春, 孙涌栋, 赵润洲, 等. 不同盐分条件下金光杏梅幼苗生长和光合特性研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(6): 14-17.
LIU Z C, SUN Y D, ZHAO R Z, *et al*. Studied of growth and photosynthesis in Jinguang plum seedlings under different salt stresses[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(6): 14-17. (in Chinese)