

束晓春, 李乃伟, 汤兴利, 等. NaCl 处理对不同珊瑚菜种源光合生理和药用有效成分的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(4): 790-797.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.04.006

# NaCl 处理对不同珊瑚菜种源光合生理和药用有效成分的影响

束晓春<sup>1</sup>, 李乃伟<sup>1</sup>, 汤兴利<sup>2</sup>, 周义峰<sup>1,3,4</sup>

(1.江苏省中国科学院植物研究所, 江苏 南京 210014; 2.南京农业大学, 江苏 南京 210095; 3.中国科学院南京分院东台滩涂研究院, 江苏 盐城 224200; 4.江苏省农业种质资源保护与利用平台, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 为筛选适宜在沿海滩涂高盐土壤种植的珊瑚菜(*Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miq.)种源, 以长海、赤峰、安国(CK)、威海、青岛、莱阳、日照、平潭、深圳 9 个珊瑚菜种源根插苗为试验材料, 采用盐水浇灌法研究 NaCl (5 000 mg/L) 处理对不同来源珊瑚菜叶片光合生理特性、根系生长和根部有效成分的影响, 以去离子水浇灌为对照组。结果表明: 随着 NaCl 胁迫时间的延长, 赤峰、安国、莱阳 3 个种源叶片净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和气孔导度( $G_s$ )均呈现逐步下降的趋势, 胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )呈逐步上升的趋势; 长海、威海、青岛、日照、平潭、深圳 6 个种源叶片  $P_n$ 、 $T_r$  和  $G_s$  均出现先升高后降低的趋势,  $C_i$  呈现“升高-降低-升高”趋势; NaCl 胁迫处理后 21 d, 赤峰、莱阳 2 个种源叶片的光合指标与对照种源(安国)差异不显著, 长海、威海、青岛、日照、平潭、深圳 6 个种源叶片的  $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$  和  $C_i$  均显著高于对照种源。NaCl 处理后 21 d, 9 个种源叶片叶绿素的相对含量(*SPAD*)和最大光化学效率  $F_v/F_m$  均达到最低值, 9 个种源叶片的 *SPAD* 及 7 个种源(除威海和日照外)的  $F_v/F_m$  均显著高于对照组。NaCl 胁迫处理后 21 d, 日照种源叶片  $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 、 $F_v/F_m$  和 *SPAD* 受 NaCl 胁迫的影响最小。经 NaCl 胁迫处理后, 长海、威海、青岛、日照、平潭、深圳 6 个种源的须根系和主根的干物质质量与对照组差异不显著, 而安国、赤峰、莱阳 3 个种源的须根系和主根的干物质质量显著低于对照组。经 NaCl 胁迫处理后, 威海、日照、平潭、安国和青岛种源根部的补骨脂素含量均显著高于对照组, 赤峰、莱阳、深圳和长海种源根部的补骨脂素含量均显著低于对照组, 威海、日照和青岛种源根部的欧前胡素含量显著高于对照组, 日照、平潭、青岛和深圳种源根部的异欧前胡素含量显著高于对照组, 威海、安国、赤峰、莱阳和长海种源根部的异欧前胡素含量显著低于对照组。综合分析结果显示, 日照种源受盐胁迫的影响最小, 在沿海滩涂地区具有一定的推广潜力。

**关键词:** 珊瑚菜; 盐胁迫; 浇灌法; 光合特性; 药用有效成分

**中图分类号:** S311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)04-0790-08

## Effects of NaCl stress on photosynthetic physiology and active component of different *Glehnia littoralis* provenance

SHU Xiao-chun<sup>1</sup>, LI Nai-wei<sup>1</sup>, TANG Xing-li<sup>2</sup>, ZHOU Yi-feng<sup>1,3,4</sup>

(1. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3. Dongtai Institute of Tidal Flat, Nanjing Branch, Chinese Academy of Sciences, Yancheng 224200, China; 4. The Jiangsu Provincial Platform for Conservation and Utilization of Agricultural Germplasm, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In order to confirm suitable provenance of *Glehnia littoralis* for planting in intertidal zone, taking cuttings of

收稿日期: 2018-08-17

基金项目: 国家海洋公益性行业专项项目(201505023); 江苏省海洋科技专项项目(HY2018-5)

作者简介: 束晓春(1982-), 女, 江苏淮安人, 学士, 助理研究员, 主要从事植物选育及繁殖技术研究。李乃伟为共同第一作者。

通讯作者: 周义峰, (E-mail) njgzhou@163.com

*Glehnia littoralis* from Changhai, Chifeng, Anguo (CK), Weihai, Qingdao, Laiyang, Rizhao, Pingtan and Shenzhen as experimental materials, effects of 5 000 mg/L NaCl treatment on photosynthetic physiological characteristics of leaf, root growth and accumulation of active component of root of *Glehnia littoralis* from different provenances were

studied by salt watering method, and deionized water irrigation was used as control. The results showed that with prolonging of treatment time, net photosynthetic ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ) and transpiration rate ( $T_r$ ) of *Glehnia littoralis* leaves from Anguo, Chifeng and Laiyang decreased, but intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ) increased.  $P_n$ ,  $T_r$  and  $G_s$  of *Glehnia littoralis* leaves from Changhai, Weihai, Qingdao, Rizhao, Pingtan and Shenzhen appeared the changing trend of “increasing-decreasing”, and  $C_i$  appeared the changing trend of “increasing-decreasing-increasing”. The photosynthetic parameters of *Glehnia littoralis* leaves from Chifeng and Laiyang had no significant difference with those of control (Anguo), and  $P_n$ ,  $T_r$ ,  $C_i$  and  $G_s$  of leaves from Changhai, Weihai, Qingdao, Rizhao, Pingtan and Shenzhen after treating 21 d by NaCl were significantly higher than those from Anguo. When treating for 21 d, chlorophyll relative content (SPAD) and maximal photochemical efficiency of PSII ( $F_v/F_m$ ) reach the valley value, and the SPAD of nine provenances and the  $F_v/F_m$  of seven provenances except Weihai and Rizhao were significantly higher than those of control. When treating for 21 d,  $P_n$ ,  $T_r$ ,  $G_s$ ,  $C_i$ ,  $F_v/F_m$  and SPAD of *Glehnia littoralis* leaves from Rizhao were minimized by NaCl stress, and dry weight of fibrous root system of *Glehnia littoralis* from six provenances (Changhai, Weihai, Qingdao, Rizhao, Pingtan and Shenzhen) had no significant difference with control groups, while dry weight of taproot of *Glehnia littoralis* from Anguo, Chifeng and Laiyang was significantly lower than that of control. The psoralen contents in the *Glehnia littoralis* root from Weihai, Rizhao, Pingtan, Anguo and Qingdao after treating 21 d by NaCl were significantly higher than those of the control, while psoralen contents in *Glehnia littoralis* root from Chifeng, Laiyang, Shenzhen and Changhai were significantly lower than those of the control. The imperatorin contents of *Glehnia littoralis* root from Weihai, Rizhao and Qingdao and isoimperatorin content of *Glehnia littoralis* root from Rizhao, Pingtan, Shenzhen and Qingdao were significantly higher than those of the control. The isoimperatorin contents of *Glehnia littoralis* root from Weihai, Anguo, Chifeng, Laiyang and Changhai were significantly lower than those of the control. In addition, *Glehnia littoralis* from Rizhao had a certain salt tolerance and was suitable for planting in intertidal zone.

**Key words:** *Glehnia littoralis*; NaCl stress; watering; photosynthetic characteristics; active component

光合作用产物是植物生长发育的能量和物质基础,对植物体内能量的吸收、固定、分配及转化具有重要作用<sup>[1]</sup>。光合特性指标参数常作为判定植物抗逆性(耐旱、耐盐、耐淹、耐寒、耐热等)的依据<sup>[2-10]</sup>。在逆境条件下,植物光合速率等光合指标平稳、下降幅度小或升高,表明该植物具有一定的抗逆性。药用植物优良种质资源的筛选除依据其抗逆性外,还需综合参考其有效成分的变化。有效成分多为植物的次生代谢物,在胁迫作用下,其含量会随着代谢速率的变化而变化。有些植物在适度胁迫作用下,有效成分会形成积累,含量增加<sup>[11-12]</sup>。

伞形科植物珊瑚菜(*Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miq.)的干燥根茎,即为常用中药材北沙参,《神农本草经》将其列为上品,具有养阴清肺,祛痰止咳功效,还是常用的滋补和食疗佳品<sup>[13]</sup>。珊瑚菜为江苏省和山东省的传统道地药材,但在上世纪80年代后,野生资源衰竭,家庭种植也基本停滞,现主产于内蒙。近年来,沿海大开发为恢复珊瑚菜(北沙参)生产提供了空间,但目前主栽品种经长期人工选育,表现为产量高抗逆性(如抗盐能力)差,不适合新围垦高盐土地种植。

前期研究结果表明,家种珊瑚菜对低质量浓度盐碱具有耐受性和适应性<sup>[14]</sup>。野生珊瑚菜主要分布于沙质海滩<sup>[15]</sup>,经常受海水淋灌,理论上具有强耐盐碱的潜力。因此,本研究对引自辽宁、河北、山东、福建、广东等地的栽培和野生珊瑚菜根插苗,采用 NaCl 胁迫试验,比较不同来源珊瑚菜的光合特性、有效成分及生长指标对胁迫作用的响应,初步筛选出对盐碱耐受力强的珊瑚菜资源,以期为珊瑚菜耐盐品种的系统选育提供理论基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试材料为采自长海、赤峰、安国、威海、青岛、莱阳、日照、平潭和深圳等9个不同地区的珊瑚菜植株根插苗(表1)。2016年9月,选取生长一致的珊瑚菜根插苗(主根长10 cm,根茎8 mm,冠幅20 cm,叶片3~4个复叶),修剪掉全部叶片后,移栽至装满细黄沙的PVC种植管(高40 cm,直径10 cm)内,底部打有出水孔。每管1株,每种源移栽12株。在江苏省中国科学院植物研究所温室内,用去离子水预培养3周,至植株生长出完整的新叶片,用于NaCl胁迫处理。

表 1 9 个珊瑚菜种源信息

Table 1 The information of nine *Glehnia littoralis* provenances

编号	种源	地理位置	采集地	环境
1	威海	N 36°46'09.22", E 121°30'15.09"	大乳山滨海旅游度假区	沙滩后草丛
2	日照	N 35°25'49.11", E 119°34'09.01"	东港区国家海滨森林公园	沙滩后草丛
3	平潭	N 25°37'17.53", E 119°49'29.83"	福建平潭芦洋风力发电厂	沙滩后草丛
4	安国	N 38°27'08.86", E 115°18'42.05"	郑章镇新安村	种植田
5	赤峰	N 42°14'06.71", E 118°53'53.33"	赤峰古赤峰牛营子	种植田
6	莱阳	N 36°42'59.26", E 120°46'47.86"	山东省莱阳市高格庄乡	种植田
7	青岛	N 36°14'24.76", E 120°40'15.64"	山东省青岛市崂山仰口	沙滩后草丛
8	深圳	N 22°28'39.11", E 114°31'54.72"	广东深圳龙岗区南澳西冲	沙滩后草丛
9	长海	N 39°15'39.49", E 122°39'43.42"	辽宁省大连市长海县长大长岛	沙滩后草丛

## 1.2 方法

1.2.1 试验设计及处理 用 5 000 mg/L 盐溶液处理 9 个种源的珊瑚菜试验苗,同时以去离子水浇灌各种源珊瑚菜作为对照。于 10 月 1 日和 10 月 7 日进行盐溶液浇灌处理,每次每管浇灌 200 ml,确保盐溶液不溢出。用去离子水溶解分析纯 NaCl(国药集团化学试剂有限公司产品)固体配制盐溶液。每次配制成 150 ml 盐溶液,浇施后再用 50 ml 去离子水冲洗烧杯后浇入容器。对照用 200 ml 去离子水,同体积分 2 次浇入。

1.2.2 指标测定 NaCl 处理后,于第 0 d、7 d、14 d 和 21 d 的上午 9:00 至 11:00(晴天),每处理选取 3 株植株的倒数第 3 张功能叶进行光合指标测定。采用美国 LI-6400XT 便携式光合仪测量叶片净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )等光合作用相关参数,用 OS1p 便携式调制荧光仪(美国 OPTI-SCIENCES 公司产品)测定叶片叶绿素荧光参数 PS II 最大光化学效率( $F_v/F_m$ ),用 SPAD502 叶绿素含量测定仪测量珊瑚菜叶片的叶绿素相对含量。

于 NaCl 处理第 21 d 测定光合指标后,将处理组和对照组的 9 个种源珊瑚菜根系取出,用去离子水洗净,将主根和须根分开,于 55 °C 低温烘干至恒质量,用百分之一电子天平分别称量主根和侧根干质量,各指标均重复测量 3 次。称量后,每处理取 6 株主根切成片状,粉碎后取 5 g,用以测定有效成分含量。

有效成分测定方法:精确称取补骨脂素、欧前胡素、异欧前胡素标准品(购于中国药品生物制品检定所),分别加甲醇配制成 0.120 mg/ml、0.146 mg/ml 和 0.123 mg/ml 的对照溶液。精确称取干燥

粉碎的珊瑚菜根部样品 5.0 g,置于锥形瓶中,加入二氯甲烷 30 ml,于 40 °C 下超声波处理 40 min,过滤。滤液于 40 °C 水浴中挥发掉溶剂,加甲醇溶解,定溶于 1 ml 量瓶中,摇匀,经 0.45  $\mu$ m 滤膜滤过,即得检测样品。进样量为 20  $\mu$ l。检测条件:Dionex U-3000 高效液相色谱仪,DAD 检测器;色谱柱 Ultimate-C18 柱(4.6 mm×250.0 mm,5  $\mu$ m);流动相为甲醇-水(67:33,体积比),流速为 1.0 ml/min;柱温 30 °C,检测波长 248 nm。

## 1.3 数据处理分析

使用 EXCEL2010 软件对试验数据进行分析 and 整理,并采用 SPSS20.0 统计分析软件在 0.05 水平对数据进行单因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 NaCl 处理对不同珊瑚菜种源叶片光合特性的影响

随着 NaCl 处理时间的延长,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海种源叶片  $P_n$  呈先升高后降低趋势,安国、赤峰和莱阳 3 个种源呈逐渐下降趋势(图 1)。NaCl 处理 7 d,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海种源叶片  $P_n$  分别是 0 d 对照的 1.19 倍、1.14 倍、1.05 倍、1.08 倍、1.03 倍和 1.15 倍,但差异不显著;安国、赤峰和莱阳种源叶片  $P_n$  分别比 0 d 对照降低 47.42%、44.97% 和 40.47%,差异达显著水平。NaCl 处理 14 d,威海、日照、平潭、安国、赤峰、莱阳、青岛、深圳和长海 9 个种源叶片  $P_n$  分别比 0 d 对照降低 25.83%、17.05%、20.84%、63.94%、63.39%、58.20%、21.78%、21.19% 和 18.28%,差异均达显著水平;NaCl 处理 21 d,9 个种源叶片  $P_n$  达到最低

值,分别比 0 d 对照降低 40.05%、28.40%、32.86%、88.08%、91.95%、92.81%、41.66%、32.56% 和 44.57%,差异达显著水平。以市场主栽品种安国为对照种源,比较其他 8 个种源叶片  $P_n$  的变化,发现 NaCl 处理 21 d,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海 6 个种源叶片  $P_n$  均显著高于对照种源,而赤峰和莱阳种源与对照种源差异不显著。日照种源在 NaCl 处理 21 d 时  $P_n$  下降幅度最小。

由图 1 可以看出,随着 NaCl 处理时间的延长,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海种源叶片  $G_s$  呈先升高后降低趋势,安国、赤峰和莱阳 3 个种源叶片  $G_s$  呈逐渐下降趋势。NaCl 处理 7 d,日照、深圳和长海种源叶片  $G_s$  显著升高,分别是对照的 1.15 倍、1.14 倍、1.24 倍,威海、平潭和青岛种源叶片  $G_s$  略高于对照,差异不显著,而安国、赤峰和莱阳种源叶片  $G_s$  显著下降,分别比对照降低 13.83%、22.15%

和 25.00%。NaCl 处理 14 d,威海、日照、平潭、安国、赤峰、莱阳、青岛、深圳和长海 9 个种源叶片  $G_s$  均低于对照,其中威海、平潭、安国、赤峰、莱阳、青岛和长海种源叶片  $G_s$  分别比对照降低 21.05%、20.13%、53.72%、41.14%、42.44%、14.00% 和 28.75%,差异达显著水平;日照和深圳种源叶片  $G_s$  与对照差异不显著,分别降低 6.49% 和 3.92%。NaCl 处理 21 d,9 个种源叶片  $G_s$  达到最低值,分别比对照降低 38.82%、20.13%、33.77%、71.28%、63.92%、61.63%、42.00%、29.41% 和 56.88%,差异达显著水平。以安国为对照种源,比较其他 8 个种源的叶片  $G_s$  的变化,发现在 NaCl 处理下,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海 6 个种源叶片  $G_s$  均显著高于对照种源,而赤峰和莱阳种源叶片  $G_s$  与对照种源差异不显著。日照种源在 NaCl 处理 21 d 时  $G_s$  下降幅度最小。

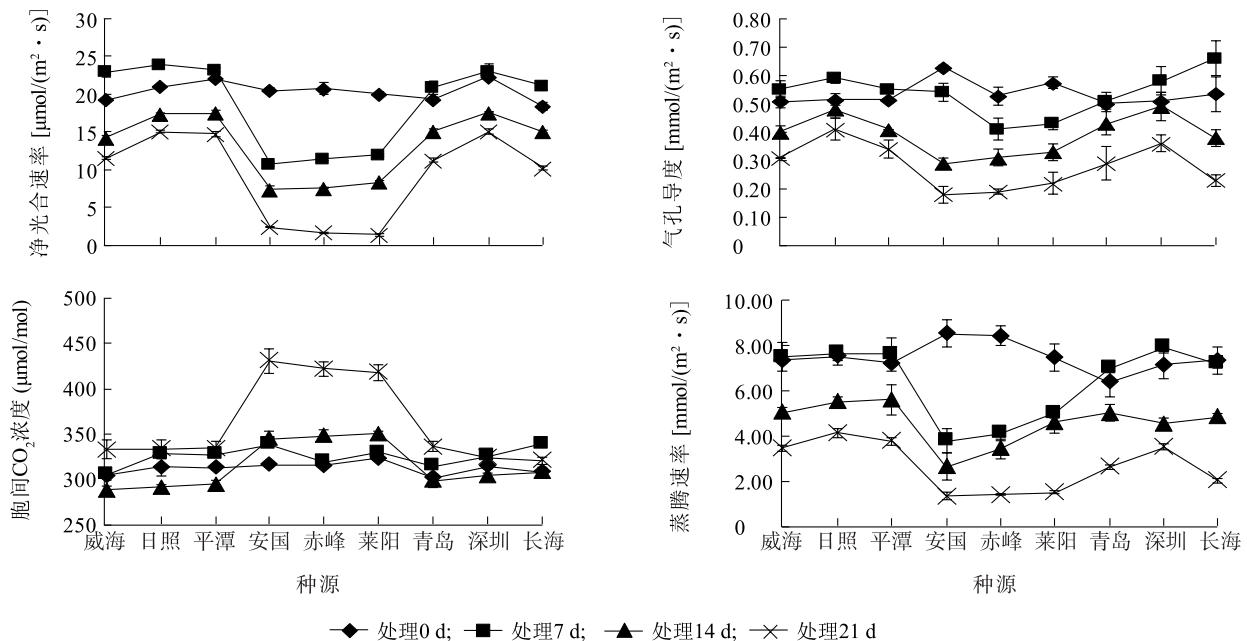


图 1 NaCl 处理对不同珊瑚菜种源叶片光合和气体交换参数的影响

Fig.1 Influence of NaCl stress on photosynthetic and gas exchange parameters of leaf of *Glehnia littoralis* from different provenances

随着 NaCl 处理时间的延长,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海 6 个种源叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ ) 呈“升高-降低-升高”趋势,安国、赤峰和莱阳种源叶片  $C_i$  呈逐步上升趋势(图 1)。NaCl 处理 7 d,威海、日照、平潭、安国、赤峰、莱阳、青岛、深圳和长海 9 个种源叶片  $C_i$  分别是对照的 1.00 倍、1.04 倍、1.04 倍、1.07 倍、1.01 倍、1.02 倍、1.04 倍、1.03 倍和

1.10 倍,差异不显著。NaCl 处理第 14 d,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海 6 个种源叶片  $C_i$  均比处理第 7 d 时显著降低;威海、日照、平潭、青岛和深圳种源叶片  $C_i$  低于 0 d 对照,而长海、莱阳和安国种源叶片  $C_i$  高于 0 d 对照,但均差异不显著,仅赤峰种源叶片  $C_i$  显著高于 0 d 对照。NaCl 处理 21 d,9 个种源叶片  $C_i$  均达到峰值,其中安国、赤峰、莱阳和青岛

种源显著高于0 d对照,分别为对照的1.36倍、1.34倍、1.29倍和1.11倍,其他种源与0 d对照差异不显著。以安国为对照种源,比较其他8个种源叶片  $C_i$  的变化,发现在 NaCl 处理下,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海6个种源叶片  $C_i$  均显著低于对照种源,而赤峰和莱阳种源与对照种源差异不显著。日照种源在 NaCl 处理21 d时  $C_i$  增加幅度最小。

由图1可见,随着处理时间的延长,9个种源叶片蒸腾速率( $T_r$ )变化趋势不同,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海种源叶片  $T_r$  呈先升高后降低的趋势,安国、赤峰和莱阳3个种源叶片  $T_r$  则持续降低。NaCl 处理21 d,威海、日照、平潭、安国、赤峰、莱阳、青岛、深圳和长海9个种源叶片  $T_r$  达到最低值,分别比对照降低52.56%、44.45%、47.60%、83.78%、82.90%、79.38%、58.44%、50.56%和71.97%。安国、赤峰和莱阳3个种源叶片  $T_r$  在胁迫7 d时即显著低于对照;长海种源在胁迫处理7 d时低于对照,但差异不显著。威海、日照、平潭、青岛和深圳种源叶片  $T_r$  在处理7 d时显著升高,在处理14 d时又显著降低。以安国为对照种源,比较其他8个种源叶片  $T_r$  的变化,发现在 NaCl 处理下,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海6个种源均与对照种源差异显著,赤峰和莱阳种源叶片  $T_r$  与对照种源差异不显著。日照种源在处理21 d时  $T_r$  下降幅度最小。

经 NaCl 处理后,9个种源叶片 PSII 最大光化学效率( $F_v/F_m$ )总体低于对照,且随胁迫时间的延长,呈降低趋势(图2)。NaCl 处理7 d时,威海、日照、平潭、青岛和深圳种源叶片  $F_v/F_m$  与对照差异不显著,长海、莱阳、赤峰和安国种源叶片  $F_v/F_m$  显著低于对照。NaCl 处理14 d时,9个种源叶片  $F_v/F_m$  进一步降低,与对照差异均达显著水平。NaCl 处理21 d时,威海和日照种源叶片  $F_v/F_m$  与处理14 d时相同,比对照分别降低6.64%和6.56%,平潭、安国、赤峰、莱阳、青岛、深圳和长海7个种源叶片  $F_v/F_m$  值达到谷值,与对照差异显著,分别降低10.00%、28.05%、20.66%、15.00%、15.35%、13.39%和17.28%。以安国种源为对照,比较不同珊瑚菜种源之间叶片  $F_v/F_m$  值的变化,结果显示在 NaCl 处理21 d时,威海、日照、平潭、莱阳、青岛、深圳和长海种源叶片  $F_v/F_m$  均与对照种源差异显著,赤峰种源叶片  $F_v/F_m$  与对照种源差异不显著。威海、日照种源叶片  $F_v/F_m$  在处理21 d时下降

幅度较小。

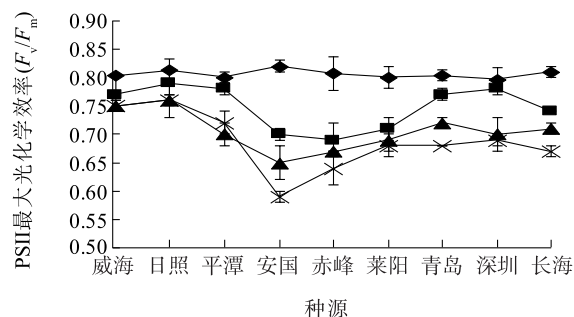


图2 NaCl 处理对不同珊瑚菜种源叶片 PS II 最大光化学效率 ( $F_v/F_m$ ) 的影响

Fig. 2 Influence of NaCl stress on PS II maximum photochemical efficiency ( $F_v/F_m$ ) of leaf of *Glehnia littoralis* from different provenances

由图3可以看出,经 NaCl 处理后,威海、平潭、莱阳、赤峰、安国、青岛、深圳和长海等种源叶片叶绿素含量(SPAD)均低于对照,且随胁迫时间的延长,持续降低。NaCl 处理7 d时,威海、日照、青岛、深圳种源叶片叶绿素含量与对照差异不显著,其他5个种源叶片叶绿素含量显著低于对照。NaCl 处理14 d时9个种源叶片叶绿素含量低于处理第7 d时的含量,且与对照差异均达显著水平。NaCl 处理第21 d时,威海、日照、平潭、安国、赤峰、莱阳、青岛、深圳和长海9个种源叶绿素含量达到最低值,与对照差异显著,分别降低19.88%、11.63%、22.20%、55.17%、50.15%、45.05%、16.76%、8.92%和22.84%。以安国为对照种源,比较不同种源之间叶片叶绿素含量的变化,发现在 NaCl 处理21 d时,威海、日照、平潭、莱阳、青岛、深圳和长海种源叶片叶绿素含量均与对照种源差异显著,赤峰种源叶片叶绿素含量与对照种源差异不显著。深圳和日照种源在处理第21 d时 SPAD 降低幅度较小。

## 2.2 NaCl 处理对不同珊瑚菜种源根系生长的影响

由图4可以看出,NaCl 处理对9个种源须根干质量的影响各不相同。日照、深圳和长海种源须根干质量在 NaCl 处理后高于对照,但差异不显著;威海、青岛种源须根干质量在 NaCl 处理后无变化;平潭种源须根干质量在 NaCl 处理后低于对照,但差异不显著;赤峰、安国和莱阳种源须根干质量在 NaCl 处理后显著( $P < 0.05$ )低于对照。NaCl 处理对9个种源主根生长的影响分为3类:威海种源低于对照,但差异不

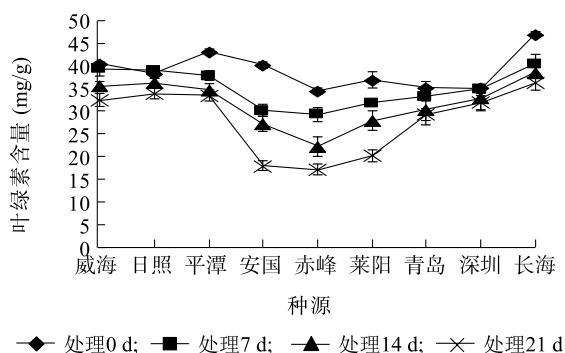


图3 盐胁迫下不同珊瑚菜种源叶片叶绿素含量的比较

Fig.3 Influence of NaCl stress on chlorophyll content of leaf of *Glehnia littoralis* from different provenance

显著;日照、平潭、青岛、深圳和长海种源高于对照,但差异不显著;安国、赤峰和莱阳种源则显著下降,分别比对照降低 43.65%、42.29%和 38.89%。

对种源之间根系干质量进行分析,发现对照组中,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海种源须根、主根干质量均显著低于安国、赤峰和莱阳种源;处理组中,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海种源须根干质量显著高于安国、赤峰和莱阳种源,9 个种源的主根干质量差异不显著。

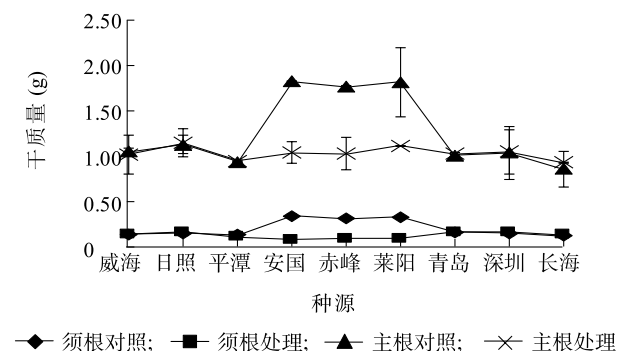


图4 NaCl 处理对不同珊瑚菜种源根系干质量的影响

Fig.4 Influence of NaCl stress on dry weight of root of *Glehnia littoralis* from different provenances

## 2.3 NaCl 处理对不同珊瑚菜种源根部有效成分含量的影响

NaCl 处理对不同珊瑚菜种源根部补骨脂素、欧前胡素和异欧前胡素含量的影响见图 5。由图 5 可以看出,NaCl 处理后威海、日照、平潭和青岛种源根部补骨脂素含量均显著高于对照,分别是对照的 2.10 倍、2.03 倍、1.58 倍和 1.35 倍;赤峰、莱阳、深圳和长海种源根部补骨脂素含量均显著低于对照,分别比对照降低 42.51%、27.93%、30.39%和 32.36%。威海、

日照和青岛种源根部欧前胡素含量显著高于对照,分别为对照的 2.20 倍、1.68 倍和 1.36 倍;平潭和赤峰种源根部欧前胡素高于对照,但差异不显著;安国、莱阳、深圳和长海种源根部欧前胡素显著低于对照,分别降低 27.48%、51.67%、9.93%和 14.96%。日照、平潭、青岛和深圳种源根部异欧前胡素含量显著高于对照,分别是对照的 1.93 倍、1.12 倍、1.56 倍和 1.12 倍;威海、安国、赤峰、莱阳和长海种源根部异欧前胡素显著低于对照,分别降低 30.93%、35.06%、16.15%、49.02%和 32.47%。

对不同种源之间根部有效成分含量进行比较,发现对照组中,日照种源根部的补骨脂素含量最高,安国、赤峰和莱阳种源根部补骨脂素含量显著低于其他种源;莱阳、青岛种源根部欧前胡素含量显著高于其他种源,赤峰种源根部欧前胡素含量最低;长海、安国、莱阳和威海种源根部异欧前胡素含量显著高于其他种源,日照种源根部异欧前胡素含量最低。经 NaCl 处理后,根部补骨脂素含量以日照种源为最高,根部欧前胡素含量以青岛种源为最高,根部异欧前胡素含量以赤峰种源为最高。

## 3 讨论

### 3.1 NaCl 处理对珊瑚菜光合作用的影响

植物受到逆境胁迫时,可自我保护,通过光合速率下降,以适应呼吸速率的下降<sup>[16-17]</sup>。植物在耐受或适应逆境时,净光合速率( $P_n$ )会出现升高现象,例如以往报道的北美海棠<sup>[18]</sup>、河竹<sup>[19]</sup>等。本研究中,NaCl 处理 7 d 时,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海种源叶片  $P_n$  均比对照有一定程度的升高,说明威海等 6 个珊瑚菜种源具有一定的耐盐性。随着盐胁迫时间的延长,各来源珊瑚菜种源均出现不同程度的  $P_n$  下降,说明 5 000 mg/L NaCl 处理激发了珊瑚菜的应答机制。不同来源珊瑚菜应答程度不同,降幅低的珊瑚菜耐盐能力较强,而降幅大的珊瑚菜耐盐能力较差。在 NaCl 处理 21 d 时,日照、平潭和深圳种源叶片  $P_n$  分别下降 28.40%、32.86%和 32.56%,而安国、赤峰、莱阳种源下降超过 90%。说明野生珊瑚菜比栽培的耐盐,其中日照、平潭和深圳种源具有较强的耐盐性。

影响光合作用的指标主要有气孔导度( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )和蒸腾速率( $T_r$ ),它们在光合作用中协同作用,使得光合作用顺利进行<sup>[20]</sup>。本研究

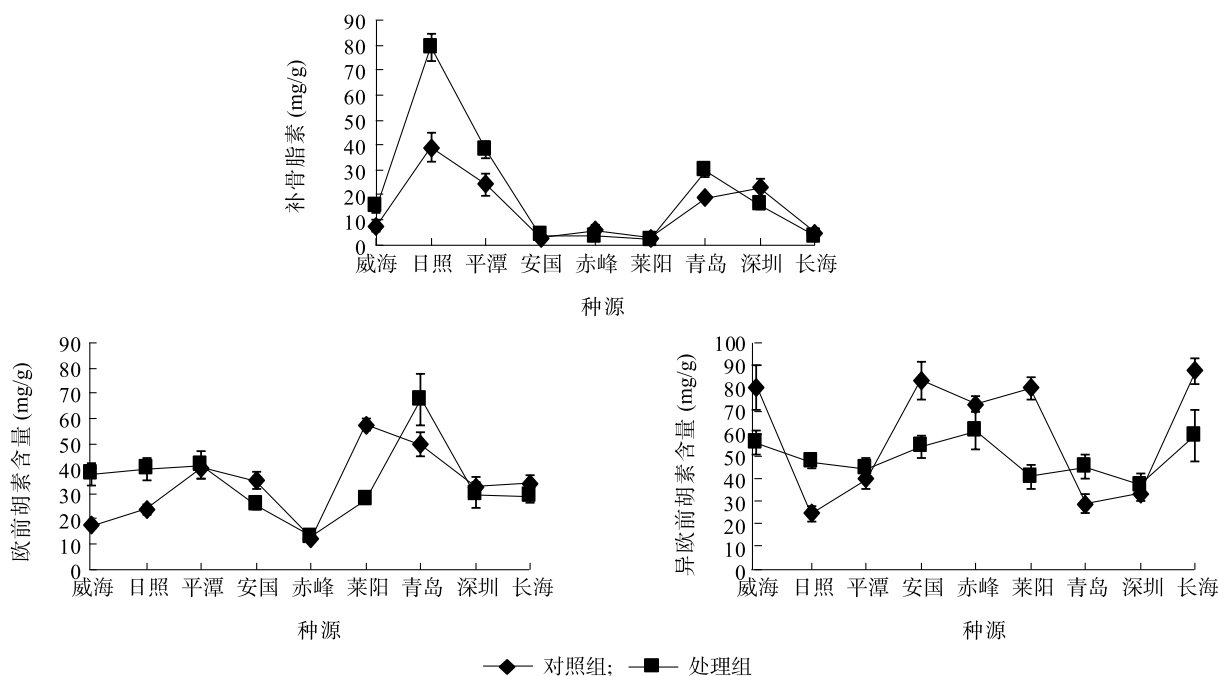


图 5 NaCl 处理对不同珊瑚菜种源根部有效成分含量的影响

Fig.5 Influence of NaCl stress on active component of root of *Glehnia littoralis* from different provenances

中,各来源珊瑚菜气孔导度和蒸腾速率的变化趋势与净光合速率几乎相同,其中日照种源叶片的  $G_s$  和  $T_r$  下降幅度最小,进一步说明该种源耐盐能力较高。

不同种源叶片  $C_i$  变化趋势与  $P_n$  不同,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海种源的 NaCl 处理组叶片  $P_n$  变化趋势为先升高后降低,而  $C_i$  呈先升高后降低再升高趋势;安国、赤峰和莱阳种源叶片  $P_n$  和  $C_i$  的变化趋势分别为逐步降低和逐渐升高。影响光合作用的因素<sup>[21]</sup>有 2 种:气孔限制<sup>[22]</sup>和非气孔限制<sup>[23]</sup>。威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海种源的 NaCl 处理组叶片  $P_n$  和  $C_i$  在处理第 7 d 和处理第 14 d 先升高后降低的原因推测是气孔限制因素,  $G_s$  增加,  $C_i$  和  $P_n$  随之增加,  $G_s$  降低,  $C_i$  和  $P_n$  随之降低,而在处理第 21 d,  $P_n$  降低,  $C_i$  升高的原因是光合作用受非气孔限制因素影响,叶肉细胞光合相关酶活性下降导致  $P_n$  降低,其中深圳、长海种源叶片  $C_i$  增加幅度较小,其次是日照和平潭种源。安国、赤峰和莱阳种源  $P_n$  持续下降的原因是在胁迫初期即受非气孔限制因素影响,光合系统受到严重破坏,3 个种源叶肉细胞光合活性在处理第 7 d 已经大幅降低。由此判断,深圳、长海、日照和平潭种源具有较高的耐盐性。在处理 21 d,赤峰、莱阳与安国 3 个栽培种源之间光合参数差异不显著,威海、日照、平潭、青岛、深圳和长海 6 个野生种源与栽培种源之间光合参数差异显著,说

明珊瑚菜野生资源具有较高耐盐性,栽培种源由于经过人工驯化,抗逆性显著降低。

$F_v/F_m$  为 PS II 最大光化学效率,又称 PS II 最大光化学量子产量,是一种叶绿素荧光参数,在非胁迫条件或胁迫作用小的条件下该参数的变化极小,胁迫条件下该参数明显下降。本研究中,在 NaCl 胁迫处理 21 d 时,日照、威海种源叶片  $F_v/F_m$  变化较小,其他种源与对照的差异显著,说明日照和威海种源具有一定的耐盐性。

叶绿素在光能的吸收和转换中起着重要作用,直接影响着植物光合作用速率和光合产物形成<sup>[24]</sup>。经 NaCl 处理后,9 个种源叶片叶绿素含量和光合速率均下降,说明 NaCl 处理可能破坏了植物叶绿体结构,使体内叶绿素含量下降,引起光合能力减弱。其中日照、深圳种源叶片叶绿素含量下降较少,处理 21 d 时仍保持 80% 以上。由此判断,日照、深圳种源耐盐能力较强。

综上所述,在 NaCl 处理下,9 个种源叶片的光能捕获、传递和利用能力均受到一定影响,其中野生资源受到的影响较小;珊瑚菜叶片的光合气体交换参数、荧光参数和光合色素含量均呈现先升高后降低的趋势,多数参数在处理第 7 d 时达到峰值,在处理第 21 d 时达到谷值,尤其是日照、平潭种源各个指标的谷值仍然在对照的 50% 以上,其他野生资源

除  $T_r$  之外的指标也均在对照的 50% 以上。说明珊瑚菜野生种源具有一定耐盐性,其中又以日照种源耐盐能力相对较强。

### 3.2 NaCl 处理对珊瑚菜药用有效成分含量的影响

北沙参作为一种传统中药材,主要取材部位为干燥根部。NaCl 处理下根部生长量也是反应植物盐胁迫耐性的最直接指标。本研究中,日照、深圳和长海种源的须根和主根干质量均高于对照,说明盐胁迫对这 3 个种源根系生长的影响较小,在生产上有较高应用潜力。

有研究结果表明,珊瑚菜中含有香豆素类、多糖、聚炔类、黄酮类等成分,其中香豆素类化合物补骨脂素、欧前胡素和异欧前胡素具有抗炎、保肝、抗癌、抗抑郁的功效,与北沙参的部分功效相吻合,可作为评价北沙参药材内在品质的指标<sup>[25]</sup>。植物在逆境条件下,生理代谢变得旺盛,次生代谢物含量增加。本研究中,在 NaCl 处理下,威海、日照、平潭、安国和青岛种源根部的补骨脂素含量,威海、日照和青岛种源根部的欧前胡素含量,日照、平潭、青岛和深圳种源根部的异欧前胡素含量均高于对照,说明在盐胁迫作用下,珊瑚菜根部会积累有效成分。其中日照种源根部的 3 种有效成分均有所增加,其他种源仅单一有效成分增加,这可能与 3 种有效成分因化学结构相似而存在相互转化有关。

综合生长量指标和有效成分指标分析,9 个种源中日照种源较为优良,5 000 mg/L NaCl 处理既可增加其根部产量又可提高 3 种有效成分含量,该种源可作为在盐碱地上推广种植的珊瑚菜种源。

### 参考文献:

- [1] 吴统贵,周和峰,吴明,等.旱柳光合作用动态及其与环境因子的关系[J].生态学报,2008,27(12):2056-2061.
- [2] 陈剑成,罗睿,瞿印权,等.干旱胁迫对凹叶厚朴光合生理特性的影响[J].江苏农业科学,2017,45(13):114-119.
- [3] 裴斌,张光灿,张淑勇,等.土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J].生态学报,2013,33(5):1386-1396.
- [4] 李晨,李秀杰,韩真,等.非生物胁迫对葡萄光合作用的影响研究进展[J].山东农业科学,2017,49(12):144-148.
- [5] 安飞飞,简纯平,杨龙,等.木薯幼苗叶绿素含量及光合特性对盐胁迫的响应[J].江苏农业学报,2015,31(3):500-504.
- [6] 杨菲,李蓓蓓,何辰宇.高温干旱对茶树生长和品质影响机理的研究进展[J].江苏农业科学,2017,45(3):10-13,40.
- [7] 王瑞,梁坤伦,周志宇,等.不同淹水梯度对紫穗槐的营养生长和生理响应[J].草业学报,2012,21(1):149-155.
- [8] 唐仕云,杨丽涛,李杨瑞.低温胁迫下不同甘蔗品种(系)光合特性的变化及其与耐寒性的关系[J].广西植物,2012(5):679-685.
- [9] 吴正花,喻理飞,严令斌,等.三叶木通叶片解剖结构和光合特征对干旱胁迫的响应[J].南方农业学报,2018,49(6):1156-1163.
- [10] 陈海波,李淑娟,李毅,等.观赏山楂耐热性及其叶片光合与叶绿素荧光特性研究[J].西北植物学报,2009,29(11):2294-2300.
- [11] 刘龙元,贺鸿志,黎华寿.水分胁迫对苦参生长生理及有效成分的影响[J].广东农业科学,2015(23):76-81.
- [12] 贺安娜,左浪柱,李胜华,等.干旱对虎耳草光合特性及有效成分含量的影响[J].怀化学院学报,2016,35(5):6-9.
- [13] 中华人民共和国卫生部药典委员会.中华人民共和国药典:2015年版(一部)[M].北京:化学工业出版社,100.
- [14] 彭英,刘晓静,汤兴利,等.盐胁迫对北沙参生长及生理特性的影响[J].江苏农业学报,2014,30(6):1273-1278.
- [15] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志(第55卷,第三册)[M].北京:科学出版社,1992:77-78.
- [16] 王振夏,魏虹,李昌晓,等.土壤水分交替变化对湿地松幼苗光合特性的影响[J].西北植物学报,2012,32(5):980-987.
- [17] 唐晓芬,王彬,王玉杰,等.不同酸度模拟酸雨对重庆缙云山2种阔叶树光合特性的影响[J].植物资源与环境学报,2015,24(4):45-51.
- [18] 于沛玉,叶添雄,张永利,等.盐胁迫对珠美海棠幼苗光合特性的影响[J].天津农学院学报,2014,21(3):7-11.
- [19] 李迎春,郭子武,陈双林,等.不同淹水条件下河竹叶片光合生理特性的变化[J].植物资源与环境学报,2016,25(4):42-52.
- [20] 刘全吉,孙学成,胡承孝,等.砷对小麦生长和光合作用特性的影响[J].生态学报,2009,29(2):854-859.
- [21] 安飞飞,简纯平,杨龙,等.木薯幼苗叶绿素含量及光合特性对盐胁迫的响应[J].江苏农业学报,2015,31(3):500-504.
- [22] BRUGNOLI E, BJORKMAN O. Growth of cotton under continuous salinity stress: influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy[J]. Planta, 1992, 187:335-345.
- [23] JACOB J, LAWLOR D W. Stomatal and mesophyll limitations of photosynthesis in photosynthesis in phosphate deficient sunflower, maize and wheat plants[J]. Journal of Experimental Botany, 1991, 241: 1001-1011.
- [24] VON WETTATEIN D, GOUGH S, KANANGARA C G. Chlorophyll biosynthesis[J]. The Plant Cell, 1995,7(7):1039-1057.
- [25] 辛华,雨龙.北沙参的生物学与化学成分的研究进展[J].中草药,2008,39(8):1275-1277.

(责任编辑:张震林)