

贾文飞,魏晓琼,张秋莹,等. 盐碱处理对越橘光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(7):152-158.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.07.023

盐碱处理对越橘光合特性及叶绿素荧光参数的影响

贾文飞, 魏晓琼, 张秋莹, 李林宇, 王 颖, 李金英, 吴 林

(吉林农业大学园艺学院/吉林省蓝莓研究中心, 吉林长春 130021)

摘要:为探究越橘北陆(Northland)对混合盐碱和碱性盐的抗性,以二年生半高丛越橘北陆盆栽苗为试验材料,对其浇灌不同组合复合盐碱($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$)、碱性盐($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$),设置不同浓度的盐碱液(30、60、90、120、150、180 mmol/L 各 6 个处理),以等体积 1/10 改良 Hoagland 营养液为 CK,处理 30 d,探究对其生长、光合特性及叶绿素荧光参数的影响。结果表明,处理 30 d 后 60 mmol/L 复合盐碱($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$)处理下植株的株高、基生枝数、叶面积、地上下部鲜质量、越橘叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间二氧化碳浓度(G_i)、越橘叶片的最大光化学效率(F_v/F_m)和 PS II 潜在活力(F_v/F_o)与 CK 无显著性差异($P > 0.05$);处理 30 d 后在 30 mmol/L 碱性盐($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$)处理下越橘的株高、基生枝数、叶面积、地上下部鲜质量、地上下部干质量、蒸腾速率(T_r)与 CK 无显著性差异($P > 0.05$),而叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、在碱性盐($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$)处理下均出现显著性差异($P < 0.05$)。研究结果表明,越橘北陆在 0~60 mmol/L 复合盐碱($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$)和 0~30 mmol/L 碱性盐($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$)处理下能维持正常的生长,高于该浓度范围越橘生长明显受到抑制。

关键词:越橘;生长;盐碱;光合特性;叶绿素荧光参数

中图分类号: S663.901 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)07-0152-07

越橘(blueberry)属杜鹃花科(Ericaceae)越橘属(*Vaccinium*)多年生落叶常灌木或小灌木,因其独特的营养保健价值^[1-2],近年来在国内外市场引起广泛的关注。越橘在我国市场潜力巨大,但在很多地方越橘的发展受盐碱地条件的制约,越橘种植中存在盐碱胁迫问题^[3-4],而现有越橘的耐盐碱性研究多集中于 NaCl 等中性盐^[5-8],而对混合盐碱和碱性盐研究较少。张晓婷等研究发现 90 mmol/L NaCl 对半高丛越橘北陆(Northland)生长具有一定的促进作用^[9]。乌凤章研究表明,高丛蓝莓对 100 mmol/L NaCl 具有一定的耐盐性^[10]。国内盐碱土壤多是由复合盐碱引起,其中越橘的主产区之一东北地区的松嫩平原就是世界三大盐碱地之一,其

主要就是由 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 引起。目前对半高丛越橘耐盐碱性的研究鲜有报道,对耐盐碱性研究特性尚不明晰。本试验模拟盐碱地区土壤状况,设置复合盐碱($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$)、碱性盐($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$)代表以苏打盐碱为主的盐碱地区,探究越橘品种北陆在不同盐碱处理下的生长情况、光合参数的变化以及对荧光参数的影响,进一步探究越橘北陆对盐碱的耐受性,得出适宜越橘生长的盐碱度,为盐碱地区引种栽培越橘提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取吉林省主栽越橘品种二年生半高丛“北陆”,试验材料由吉林省普蓝高科技有公司靖宇基地提供。

本次试验于 2020 年 7—9 月在吉林农业大学(120°24'E、43°48'N,该地区属温带季风气候,年平均降水量 570.3 mm,年平均温度 5.5℃)越橘产业化创新科研实践基地日光温室进行。

1.2 试验设计

本次试验设置复合盐碱($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$)、碱性盐($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$)根据 Na^+ 浓度 1:1 设置不同浓度的盐碱液:30、60、90、120、150、180 mmol/L

收稿日期:2021-07-14

基金项目:吉林省科技发展规划(编号:20200402083NC、20200402113NC);吉林农业大学综合示范基地项目(编号:0214-202023181);靖宇县科技发展规划(编号:XBJ202016);吉林省重点领域省级标准化试点示范项目(靖宇蓝莓标准化示范区)。

作者简介:贾文飞(1995—),男,甘肃陇南人,硕士研究生,从事果树生理生态及栽培技术研究。E-mail:1806355502@qq.com。

通信作者:吴 林,硕士,教授,从事蓝莓等小浆果品种选育、栽培生理和产业经济等全产业链技术研究。E-mail:310710966@qq.com。

各 5 个处理水平,分别计为 A1 ~ A6、B1 ~ B6。以等体积 1/10 改良 Hoagland 营养液为 CK(表 1)。

表 1 处理液的盐分摩尔浓度、组成及 pH 值

处理	盐分摩尔组分(mmol/L)			处理液 pH 值
	NaCl	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃	
CK	0	0	0	4.8
A1	15	7.5	0	5.6
A2	30	15.0	0	6.3
A3	45	22.5	0	7.6
A4	60	30.0	0	8.8
A5	75	37.5	0	8.9
A6	90	45.0	0	9.5
B1	0	15	7.5	7.6
B2	0	30	15.0	9.6
B3	0	45	22.5	9.8
B4	0	60	30.0	10.2
B5	0	75	37.5	10.6
B6	0	90	45.0	10.7

本试验于 2020 年 7 月中下旬开始,分成 13 组,采用单因素随机区组试验,设每个处理 3 次重复,每次重复 3 盆,共计 117 株。每盆浇灌处理液(1/10 改良 Hoagland 营养液 + 盐碱)500 mL。为避免盐冲击,分 5 次完成浇灌。胁迫第 1 天浇灌 100 mL 处理液,托盘渗出溶液倒回原盆内,浇灌 5 d,第 5 天开始计算胁迫时间,胁迫处理 30 d。其间每天 18:00—19:00 用蒸馏水补充散失水分。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 生长指标的测定 株高、基生枝数:胁迫处理 30 d 后,每个处理随机挑选 3 株测定,3 次重复。

叶面积:每个处理随机选取 3 株,每株选取 3 ~ 6 张成熟的功能叶用称质量法测定其叶面积,3 次重复。

越橘苗木生物量:胁迫处理 30 d 后,每个处理随机挑选 3 株处理对其植株地上部和地下部称鲜质量,然后使用电热鼓风干燥箱(GZX-9246MBE)烘干至恒质量,用梅特勒(Mettler)万分之一天平分别称其干质量,根据地上部生物量、地下部生物量计算总生物量及根冠比,3 次重复。

1.3.2 光合指标的测定 分别在处理后 0、10、20、30 d,用 CIRAS-2 光合仪于晴天 09:00—11:00,每个处理随机选取 3 株,每株选取 3 ~ 6 张成熟的功能叶测定其净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间二氧化碳浓度(C_i)、气孔导度(G_s),6 次重复。

1.3.3 叶绿素荧光参数的测定 每个处理随机选取 3 株,每株选取 3 ~ 6 张成熟的功能叶,使用英国 Hansatech 公司生产的 FmS2 型脉冲调制式叶绿素荧光仪进行测定,叶片进行充分暗适应 30 min,测定叶片的初始荧光(F_o)、最大荧光(F_m)、可变荧光(F_v),测量并计算 PS II 光化学效率(F_v/F_m)、PS II 的潜在活性(F_v/F_o),6 次重复。

1.4 数据统计与分析

使用 Excel 2010 对数据进行整理,采用 SPSS 17.0 软件对数据进行单因素方差分析,并用 Duncan's 新复极差法检验差异显著性($P < 0.05$)。采用 Excel 2010 软件进行数据处理及作图。

2 结果与分析

2.1 盐碱处理对越橘北陆生长的影响

如表 2 所示,A3 浓度处理下越橘的株高、基生枝数、地上下部鲜质量与 CK 开始出现显著性差异($P < 0.05$);A4 浓度处理下越橘叶面积与 CK 相比开始出现显著性差异($P < 0.05$);地上下部干质量均在 A2 浓度处理下与 CK 相比出现显著性差异($P < 0.05$)。

B2 浓度处理下基生枝数、叶面积、地下部鲜质量、地上部干质量与 CK 相比开始出现显著性差异($P < 0.05$);B3 浓度处理下越橘株高、地上部鲜质量和地下部干质量与 CK 相比开始出现显著性差异($P < 0.05$)。随着处理浓度增大,各个生长指标均显著降低。

2.2 盐碱处理对越橘北陆叶片光合参数的影响

2.2.1 盐碱处理对越橘北陆叶片净光合速率的影响 如图 1、图 2 所示,随着处理时间的增长,A、B 2 个处理组越橘叶片的净光合速率(P_n)整体呈持续降低趋势。在 A 处理组,处理 10 d 后,A3 浓度与 CK 相比开始出现显著性差异($P < 0.05$),处理 30 d 后 A3、A4、A5、A6 的 P_n 值较 CK[$9.84 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]分别下降 23.06%、45.17%、56.84%、65.15%。

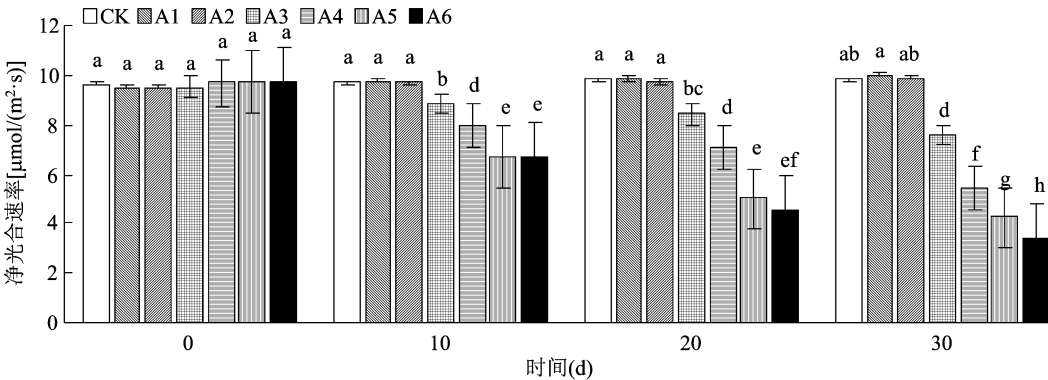
如图 2 所示,B1 处理在处理前 20 d 与 CK 无显著性差异($P > 0.05$),30 d 后 B1 处理开始出现显著性差异($P < 0.05$)。处理 30 d 后 B1、B2、B3、B4、B5、B6 处理与 CK[$9.84 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]相比分别下降 3.75%、9.27%、24.07%、29.23%、55.07%、64.37%。

2.2.2 盐碱处理对越橘北陆蒸腾速率的影响 如图 3 所示,越橘叶片 T_r 在 A2 处理下处理前 10 d 与 CK 无显著性差异($P > 0.05$),随着处理时间延长和处理

表 2 盐碱处理对越橘北陆生长的影响

处理	株高 (cm)	基生枝数 (枝)	叶面积 (cm ²)	鲜质量(g)		干质量(g)	
				地上部	地下部	地上部	地下部
CK	51.11 ± 3.64a	6.00 ± 0.89a	15.70 ± 1.07a	20.88 ± 1.00a	15.94 ± 0.61a	12.61 ± 0.85a	5.80 ± 1.02a
A1	51.10 ± 4.31a	5.50 ± 1.38ab	15.41 ± 0.72a	20.69 ± 0.87a	16.26 ± 0.35a	10.09 ± 0.15a	5.49 ± 0.83ab
A2	49.02 ± 0.95ab	5.17 ± 1.17ab	14.46 ± 2.15ab	20.31 ± 1.25a	15.10 ± 0.75a	9.91 ± 0.38b	4.61 ± 0.53c
A3	40.43 ± 1.50cd	4.33 ± 0.52bc	13.53 ± 0.08abc	17.39 ± 1.23b	8.90 ± 1.53c	7.69 ± 0.52cd	3.04 ± 0.20d
A4	40.61 ± 1.74cd	2.83 ± 1.60de	11.70 ± 2.50c	9.70 ± 0.77de	8.41 ± 1.02c	6.23 ± 0.30de	3.00 ± 0.04d
A5	39.42 ± 1.23cd	2.17 ± 0.75e	8.63 ± 0.89d	8.75 ± 1.97de	7.79 ± 0.95c	5.24 ± 1.09ef	2.52 ± 0.47d
A6	37.29 ± 1.52de	0.83 ± 0.75f	8.34 ± 0.70d	7.12 ± 1.36e	7.77 ± 0.46c	4.55 ± 0.55f	2.46 ± 0.13d
B1	49.18 ± 1.12ab	5.00 ± 0.89ab	14.42 ± 0.52ab	21.12 ± 4.14a	14.47 ± 1.35a	12.01 ± 2.43a	5.29 ± 0.20abc
B2	45.29 ± 5.06abc	3.83 ± 0.75cd	12.65 ± 0.29bc	18.55 ± 0.62ab	12.30 ± 0.14b	9.86 ± 0.64b	5.01 ± 0.12abc
B3	43.93 ± 3.56bc	3.67 ± 0.52cd	11.55 ± 0.74c	13.76 ± 1.58c	12.13 ± 1.65b	9.41 ± 1.02bc	4.85 ± 0.25b
B4	30.95 ± 2.01f	2.33 ± 1.03e	8.45 ± 1.63d	11.14 ± 1.01d	7.39 ± 1.38c	5.14 ± 0.26ef	3.07 ± 0.13d
B5	33.28 ± 4.74ef	2.50 ± 0.55e	8.03 ± 0.17d	8.68 ± 0.51de	7.12 ± 0.81c	4.06 ± 0.74f	2.85 ± 0.49d
B6	33.40 ± 5.01ef	0.67 ± 0.82f	7.25 ± 1.96d	8.31 ± 0.94e	7.06 ± 1.58c	3.82 ± 1.36f	2.40 ± 0.32d

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$);A 表示复合盐碱($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$),B 表示碱性盐($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$);以等体积 1/10 改良 Hoagland 营养液为 CK,设 30、60、90、120、150、180 mmol/L 各 5 个处理水平,分别计为 A1 ~ A6、B1 ~ B6。



柱上不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), $n = 6$ 。下同
图1 复合盐碱处理对越橘北陆叶片净光合速率的影响

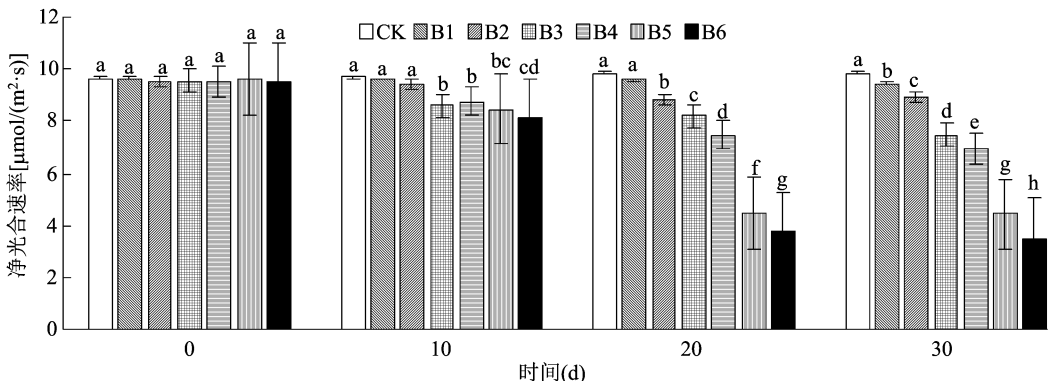


图2 碱性盐处理对越橘北陆叶片净光合速率的影响

浓度的升高, T_r 呈逐渐降低趋势, 30 d 后 A2、A3、A4、A5、A6 处理分别较 CK[2.54 mmol/(m² · s)]下降 8.27%、27.56%、59.84%、69.29%、75.39%。如图 4 所示, B 处理组在处理 10 d, B2 ~ B6 处

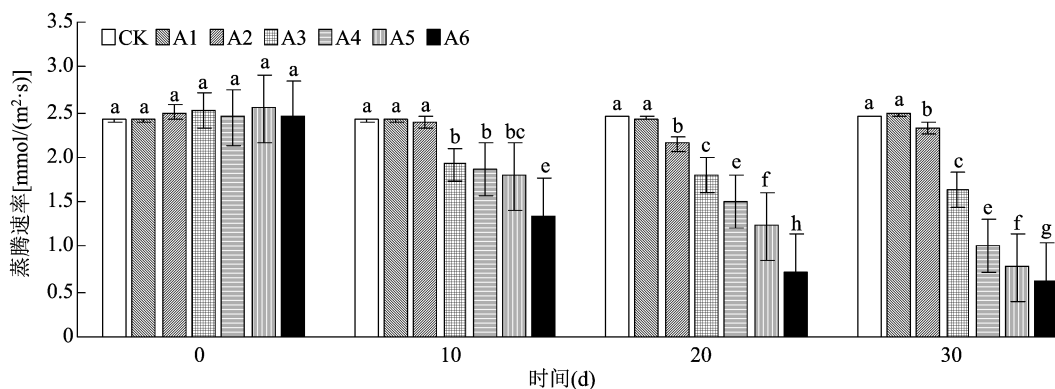


图3 复合盐碱处理对越橘北陆叶片蒸腾速率的影响

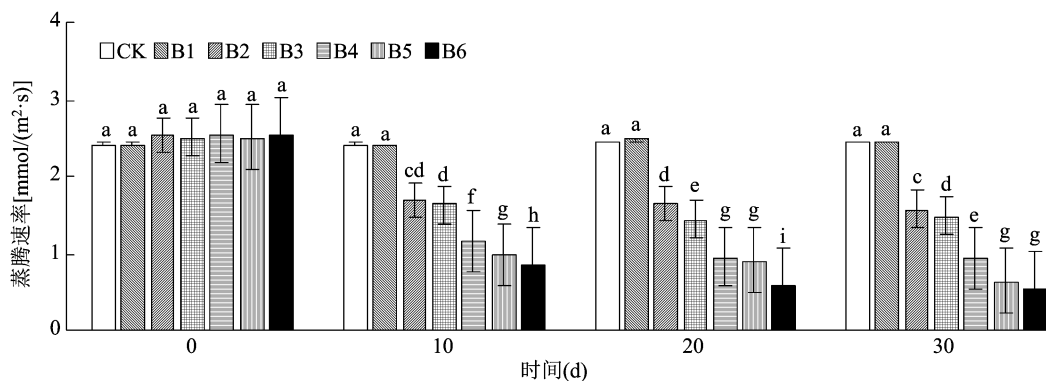


图4 碱性盐处理对越橘北陆叶片蒸腾速率的影响

理与 CK 相比均开始出现显著性差异 ($P < 0.05$), 并随着处理浓度和时间增加, 均呈显著性下降趋势 ($P < 0.05$)。处理 30 d 后 B2、B3、B4、B5、B6 处理分别较 CK [$2.54 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 下降 29.95%、38.98%、62.99%、74.80%、79.13%。

2.2.3 盐碱处理对越橘北陆叶片气孔导度的影响

如图 5 所示, A2 浓度处理下, G_s 随着处理时间的延长与 CK 无显著性差异 ($P > 0.05$), 处理至 30 d

时, 随着处理浓度的增加, A3、A4、A5、A6 各个处理较 CK [$171.94 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 分别下降 31.16%、57.38%、64.98%、76.90%。

如图 6 所示, B 组处理中, B1、B2、B3、B4、B5、B6 处理随着时间的增长和浓度的升高呈不同程度的下降趋势。在处理 30 d 后, 分别较 CK [$171.94 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 降低 3.83%、9.30%、24.38%、62.24%、69.46%、74.90%。

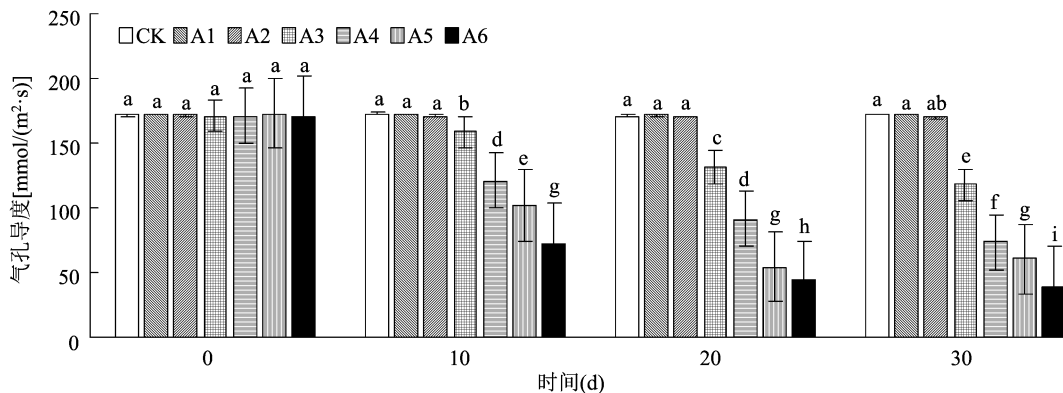


图5 复合盐碱处理对越橘北陆叶片气孔导度的影响

2.2.4 盐碱处理对越橘“北陆”叶片胞间二氧化碳浓度的影响 如图 7 所示, A1 处理水平下, C_i 随着

处理时间的延长, 与 CK 无显著性差异 ($P > 0.05$), 处理至 30 d 时, 随着处理浓度增加, A3、A4、A5、A6

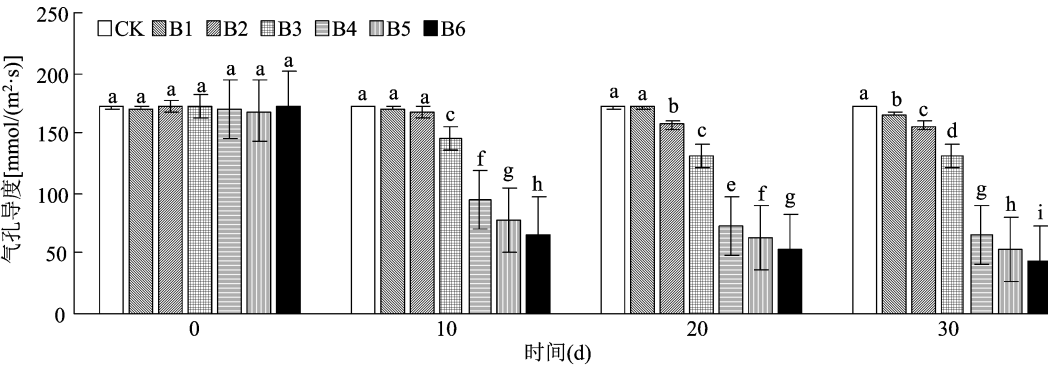


图6 碱性盐处理对越橘北陆叶片气孔导度的影响

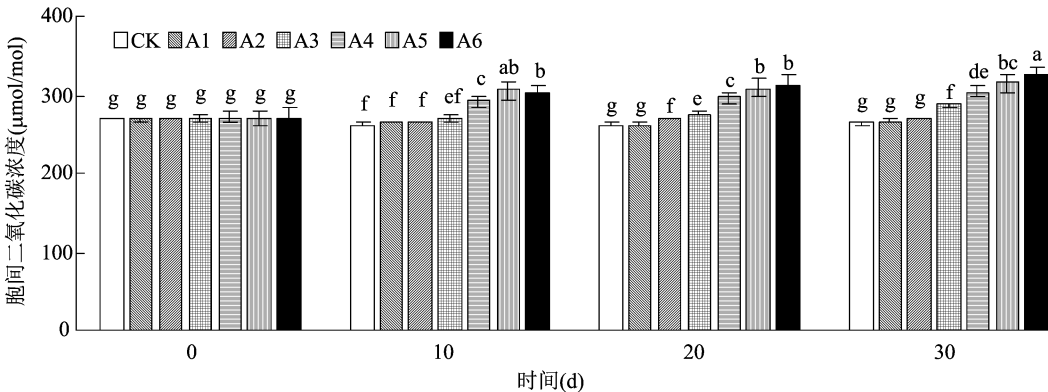


图7 复合盐碱处理对越橘北陆叶片胞间二氧化碳浓度的影响

处理较 CK [263. 18 mmol/(m² · s)] 分别增加 8. 82% 、15. 28% 、19. 47% 、23. 16% 。

如图 8 所示,B1、B2 处理随着处理时间的延长, 出现先增长后降低的趋势,在处理后 10 d 达最高后开始降低,在处理 30 d 时与 CK 组无显著性差异

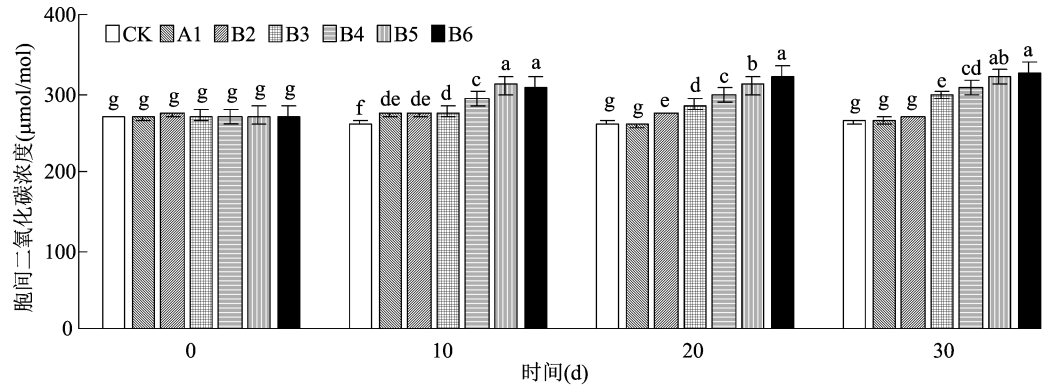


图8 碱性盐处理对越橘北陆叶片胞间二氧化碳浓度的影响

2.3 盐碱处理对越橘北陆叶片叶绿素荧光参数的影响

2.3.1 盐碱处理对越橘北陆叶片 F_v/F_o 的影响

如图 9 所示,PS II 的潜在活性 (F_v/F_o) 在 A3 处理下

($P>0.05$)。B3、B4、B5、B6 各处理均随着处理时间延长和处理浓度的升高出现不同程度增加,在处理 30 d 后,分别较 CK [263. 18 mmol/(m² · s)] 增长 12. 57% 、16. 89% 、22. 07% 、24. 36% 。

与 CK 差异显著 ($P<0.05$) ,随着处理浓度的增大呈显著性下降趋势 ($P<0.05$) ;在 B3 浓度处理下与 CK 差异显著 ($P<0.05$) ,随着处理浓度的增加,呈显著性下降趋势 ($P<0.05$) 。在相同浓度的 A6、B6

处理下 F_v/F_o 相比 CK (5.01) 分别下降 34.84%、53.49%。

2.3.2 盐碱处理对越橘北陆叶片 F_v/F_m 的影响

PS II 最大光化学量子产量 (F_v/F_m) 是反映 PS II 活性中心光能转化效率的重要参数。如图 10 所示, 在处理 30 d 后在低浓度的 A3、B3 处理下, PS II 最大

光化学量子产量 (F_v/F_m) 与 CK 相比开始出现显著性差异 ($P < 0.05$), 随着 A、B 2 个处理浓度的增大, 各处理间 F_v/F_m 值均呈现显著下降趋势 ($P < 0.05$)。A 处理组在 A6 处理下达到最低值, 相比 CK (0.83) 降低 20.27%。B 处理组在 B6 处理下达到最低值, 相比 CK (0.83) 降低 21.42%。

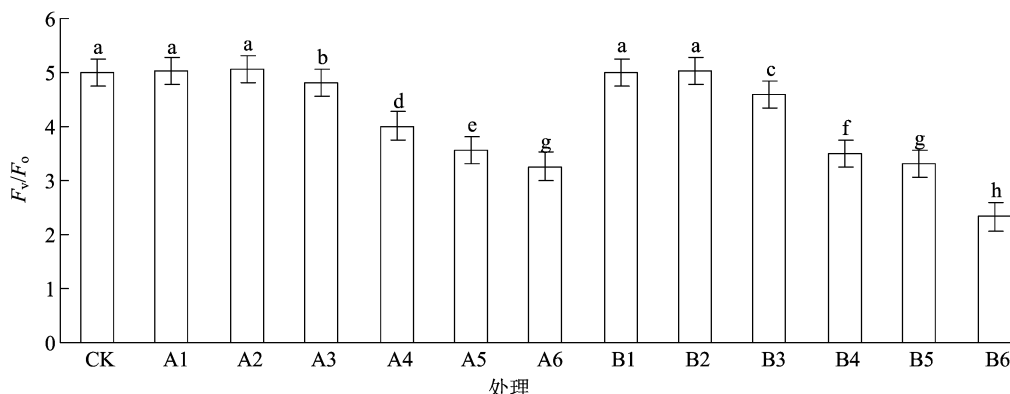


图9 盐碱处理对越橘北陆叶片 F_v/F_o 的影响

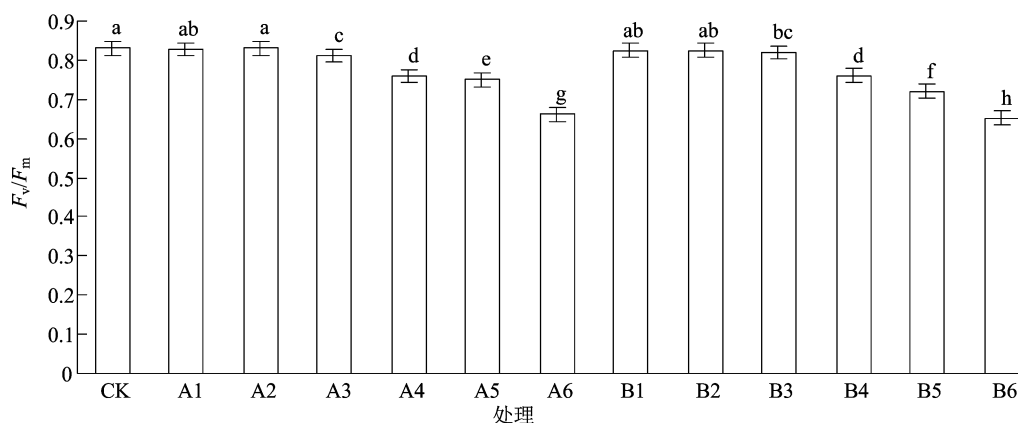


图10 盐碱处理对越橘北陆叶片 F_v/F_m 的影响

3 讨论与结论

3.1 讨论

生物量是反映植物受损伤程度和耐盐碱的重要指标^[11-14]。本研究结果表明, 60 mmol/L ($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 下越橘北陆的株高、基生枝数、叶面积、地上下部鲜质量与 CK 相比差异不显著 ($P > 0.05$); 90 mmol/L ($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 越橘叶面积与 CK 相比差异性不显著 ($P > 0.05$); 30 mmol/L ($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 地上下部干质量与 CK 相比差异不显著 ($P > 0.05$)。30 mmol/L ($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 浓度处理下叶面积、基生枝数、叶面积、地下部鲜质量、地上下部干质量与 CK 相比差异不显著 ($P > 0.05$); 60 mmol/L ($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 处理下越橘株高、地

上部鲜质量和地下部干质量与 CK 相比均差异不显著 ($P > 0.05$)。以上说明越橘对低浓度复合盐碱 ($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 具有一定的耐受性, 而碱性盐 ($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 处理下, 植株生长状况和生物量积累随着处理浓度的增加均受到明显抑制。

光合作用是植物体内重要的代谢过程, 植物在逆境环境下常导致光合效率减弱^[15-16]。研究发现盐碱胁迫会对垂丝海棠^[17]、葡萄^[18-19]等多种树种的光合系统造成伤害。本试验结果发现, 在 60 mmol/L 复合盐碱 ($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 处理下植株叶片的 P_n 、 T_r 、 C_i 、和 G_s 随着处理时间的延长各个指标均与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$), 说明北陆对于低于 60 mmol/L 浓度的复合盐碱 ($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 具有一定的抗性, 而 30 mmol/L 碱性盐 ($\text{NaHCO}_3 +$

Na_2CO_3) 处理下, 叶片 P_n 、 G_s 与 CK 呈显著性差异 ($P < 0.05$), 说明单纯碱性盐对越橘光合作用系统损害更大, 这与蔚丽晋研究盐碱调控对越橘的影响结果^[20] 相同。

研究证明, 盐碱胁迫下会造成 F_v/F_m 、 F_v/F_o 。不同程度的降低, 使光系统 II 受到伤害, 使得 PS II 原初光能转换效率、PS II 潜在活性降低, 光合电子传递、光合原初反应过程受到抑制^[21-22]。本次试验证明, 在 2 种盐碱处理下均会造成 F_v/F_m 、 F_v/F_o 。不同程度的降低。结果发现, 在 60 mmol/L 的复合盐碱 ($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 和碱性盐 ($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 处理下 F_v/F_m 、 F_v/F_o 与 CK 无显著差异 ($P > 0.05$), 说明越橘对低浓度的盐碱具有一定的抗性, 而随着处理浓度的增加, 碱性盐处理下 F_v/F_m 、 F_v/F_o 下降较复合盐碱明显, 说明碱性盐要比复合盐碱对越橘的损伤更大。

3.2 结论

越橘北陆对 0 ~ 60 mmol/L 的复合盐碱具有一定的抗性, 当浓度高于 60 mmol/L 时复合盐碱 ($\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 会抑制北陆生长, 同时造成光合作用系统受损。在高于 30 mmol/L 碱性盐 ($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$) 处理下会抑制越橘生长, 降低光合作用, 造成光合作用系统损伤, 高浓度的盐碱胁迫会对植株产生不可逆的伤害, 对碱性盐较重的区域不适宜种植越橘。

参考文献:

- [1] 吴林. 中国蓝莓 35 年: 科学研究与产业发展[J]. 吉林农业大学学报, 2016, 38(1): 1-11.
- [2] 李亚东, 裴嘉博, 陈丽, 等. 2020 中国蓝莓产业年度报告[J]. 吉林农业大学学报, 2021, 43(1): 1-8.
- [3] 李炎, 程云, 刘琳, 等. 盐碱地区蓝莓栽培关键技术[J]. 北方园艺, 2018(21): 206-207.
- [4] 栾英颖, 郑德春, 张国君. 吉林省黑土资源现状及治理对策[J]. 东北农业科学, 2018, 43(5): 41-42.
- [5] 毛恋, 芦建国, 江海燕. 植物响应盐碱胁迫的机制[J]. 分子植

物种, 2020, 18(10): 3441-3448.

- [6] 韦建辰, 徐振彪, 贾文飞, 等. 盐胁迫对 3 个越橘品种组培苗生长的影响与耐盐性评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(5): 113-122.
- [7] 乌凤章, 王贺新. 盐胁迫对高丛越橘幼苗生长及离子平衡的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(11): 3335-3341.
- [8] 乌凤章. NaCl 胁迫对高丛越橘幼苗生长和光合生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(11): 2258-2265.
- [9] 张晓婷, 韦建辰, 徐振彪, 等. NaCl 处理对半高丛越橘叶片形态和光合生理特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(7): 94-101.
- [10] 乌凤章. NaCl 胁迫对高丛越橘幼苗生长和光合生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(11): 2258-2265.
- [11] 严青青, 张巨松, 徐海江, 等. 盐碱胁迫对海岛棉幼苗生物量分配和根系形态的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(20): 7632-7640.
- [12] Liang W J, Ma X L, Wan P, et al. Plant salt-tolerance mechanism: a review[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2018, 495(1): 286-291.
- [13] 王宝山. 逆境植物生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [14] 李国泽, 李雪, 陈蔼仪, 等. 组培与野生樟叶越橘中 3 种主效成分含量比较[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(7): 175-180.
- [15] 黄婷, 麻冬梅, 王文静, 等. 2 种紫花苜蓿耐盐生理特性的初步研究[J]. 水土保持学报, 2020, 34(2): 216-221.
- [16] 张晓婷, 刘培源, 田媛, 等. 盐胁迫对玉米毛状根植株根系及光合作用的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(15): 95-99.
- [17] 刘兵, 贾旭梅, 朱祖雷, 等. 盐碱胁迫对垂丝海棠光合作用及渗透调节物质的影响[J]. 西北植物学报, 2019, 39(9): 1618-1626.
- [18] 牛锐敏, 许泽华, 沈甜, 等. 盐胁迫对葡萄砧木生长和叶绿素荧光特性的影响[J]. 北方园艺, 2018(21): 85-89.
- [19] 王振兴, 吕海燕, 秦红艳, 等. 盐碱胁迫对山葡萄光合特性及生长发育的影响[J]. 西北植物学报, 2017, 37(2): 339-345.
- [20] 蔚丽晋. 土壤盐碱胁迫的调控及对越橘幼苗生长的影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2017.
- [21] 金微微, 张会慧, 滕志远, 等. 盐碱互作胁迫对高丹草叶片叶绿素荧光参数的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(10): 2090-2098.
- [22] 刘新宇, 武沛然, 李彩凤, 等. 盐碱胁迫下施加生物炭和减少氮肥用量对甜菜光合特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(1): 108-116, 125.