

黎明鸿,吴沿友,邢德科,等. 基于叶片电生理特性的 2 种桑科植物抗盐能力比较[J]. 江苏农业科学,2019,47(14):217-221.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.14.051

基于叶片电生理特性的 2 种桑科植物抗盐能力比较

黎明鸿¹, 吴沿友^{1,2}, 邢德科¹, 姚香平¹

(1. 江苏大学农业装备工程学院现代农业装备与技术教育部重点实验室, 江苏镇江 212013;

2. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室/环境生物科学和技术研究中心, 贵州贵阳 550002)

摘要:对构树、桑树 2 种桑科植物,分别采用 0.1、0.2、0.4 mol/L 氯化钠(NaCl)、硫酸钠(Na₂SO₄)及其 1:1 混合盐这 3 种盐溶液进行处理,测定其生理电容、组织水势,并通过叶片紧张度模型计算相应的叶片紧张度及其比值,以表征其相对抗盐能力。结果表明,在 0.1~0.4 mol/L 盐度水平下,桑树的抗盐能力强于构树;0.1 mol/L 盐胁迫下,构树对 3 类盐的相对抗盐能力大小表现为混合盐>Na₂SO₄>NaCl,而桑树则表现为混合盐>NaCl>Na₂SO₄;0.2 mol/L 盐胁迫下,构树对 3 类盐的相对抗盐能力大小表现为 Na₂SO₄>NaCl>混合盐,而桑树则表现为混合盐>Na₂SO₄>NaCl;0.4 mol/L 盐胁迫下,构树和桑树对 3 类盐的相对抗盐能力差异较小。

关键词:构树;桑树;水势;生理电容;叶片紧张度;抗盐性;氯化钠;硫酸钠

中图分类号:S888.2;Q945.78 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)14-0217-05

全世界约有盐碱地 9.54 亿 hm²,广泛分布于 100 多个国家和地区,约占陆地总面积的 25%,其中,亚洲约有盐碱地 3.2 亿 hm²,约占全世界的 1/3,而中国盐渍地约有 0.99 亿 hm²^[1-4]。另外,由于海水侵蚀沿海土地及人们不合理的耕种,导致盐碱土地面积以每年 10% 的速度增加^[5]。目前,我国人口基数大、可耕面积少,随着我国农业的快速发展,对盐

碱地进行开发和利用很有必要,而盐渍化地块植被稀少,其生态系统极其脆弱,合理开发利用盐碱地受到政府和学者们的高度重视。目前,用来评价植物抗盐性能的指标很多,如种子抗盐性常用相对发芽率、发芽指数及发芽势等进行评价,而植株抗盐性常用水势、植株高度、地上部干质量、根系生长量、总生物量等指标来评价^[6-8];但这些形态、生理指标的获得通常工作量大、耗时,且相对滞后,只有等到不可修复的伤害发生时才能被发现^[9]。而使用电生理参数评价植物的抗逆性^[10-13]具有简单、快速、无损、准确的特点,可及时、可靠地评价植物的抗逆能力。

当前,采用植物电生理指标评价植物抗盐性的研究集中在 1、2 年生草本植物,如 Javed 等将叶片生理电容、叶片紧张度与培养液中的盐浓度进行建模,分别研究不同盐胁迫下诸

收稿日期:2018-03-07

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFC0502602-5);江苏省高校优势学科项目(编号:苏政办[2014]37号)。

作者简介:黎明鸿(1990—),男,贵州遵义人,硕士研究生,从事生物环境检测技术研究。E-mail:1148105372@qq.com。

通信作者:吴沿友,博士,研究员,博士生导师,从事农业生物环境信息检测技术研究。E-mail:yanyouwu@ujs.edu.cn。

[8]郭楠,叶金鹏,林亚玲,等. 漂烫对速冻薯条品质及淀粉糊化度的影响研究[J]. 食品科技,2014,39(9):186-191.

[9]茆诗松,周纪芳,陈颖. 试验设计[M]. 北京:中国统计出版社,2012:64-101.

[10]卜召辉,胡庆国,陆宁. 真空微波与真空冷冻联合干燥金针菇的研究[J]. 包装与食品机械,2011,29(3):16-19.

[11]颜建春,胡志超,吴朋来,等. 热板-微波联合真空冷冻干燥茭白工艺优化[J]. 农业工程学报,2017,33(1):262-270.

[12]王海鹰,扶庆权,陈守江,等. 不同护色预处理对牛蒡片真空冷冻干燥特性的影响[J]. 食品科学,2017,38(1):86-91.

[13]陈健凯,林河通,林艺芬,等. 基于品质和能耗的杏鲍菇微波真空干燥工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2014,30(3):277-284.

[14]曹川,孙勤,吴达. 不同干燥方法对鸡腿菇干制品品质的影响[J]. 现代农业科技,2015(13):328-330.

[15]王海鹰,扶庆权,陈守江,等. 不同护色预处理对牛蒡片真空冷冻干燥特性的影响[J]. 食品科学,2017,38(1):86-91.

[16]王苗苗. 双因素方差分析模型的构建及应用[J]. 统计与决策,2015(18):72-75.

[17]张博,赵士杰,刘景艳,等. 不同预处理下冬瓜热风干燥实验研究[J]. 农机化研究,2013,35(10):133-136.

[18]苑亚,张振涛,杨鲁伟,等. 漂烫预处理对洋葱片热风干燥特性影响[J]. 农机化研究,2018,40(5):241-247,252.

[19]石启龙,赵亚,李兆杰,等. 竹荪鱼热泵干燥数学模型研究[J]. 农业机械学报,2009,40(5):110-114.

[20]关志强,王秀芝,李敏,等. 荔枝果肉热风干燥薄层模型[J]. 农业机械学报,2012,43(2):151-158,191.

[21]王宝和. 干燥动力学研究综述[J]. 干燥技术与设备,2009,7(1):51-56.

[22]陈健凯,林河通,李辉,等. 杏鲍菇的热风干燥特性与动力学模型[J]. 现代食品科技,2013,29(11):2692-2699,2579.

[23]汪政富,李玲玲,胡小松,等. 两种不同晾房中无核白葡萄薄层干燥的数学模型[J]. 农机化研究,2008,30(5):28-31.

[24]孟岳成,王君,房升,等. 熟化红薯热风干燥特性及数学模型适用性[J]. 农业工程学报,2011,27(7):387-392.

[25]Wang Z F, Sun J H, Liao X J, et al. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace [J]. Food Research International, 2007, 40(1):39-46.

葛菜、甘蓝型油菜、红秋葵、绿秋葵的抗盐能力,结果表明,诸葛菜抗盐能力强于甘蓝型油菜,红秋葵的抗盐能力强于绿秋葵^[10-11]。而由于木本植物对盐害反应较为缓慢,采用电生理指标来快速评价多年生木本植物的抗盐性鲜见报道。本试验通过研究桑树、构树这 2 种典型木本植物叶片电生理参数对不同盐溶液短期胁迫的响应,以快速定量判断不同木本植物对不同盐类的抗盐能力,为开发和快速筛选抗盐木本植物提供理论依据,也为木本植物的抗盐性研究提供一定的实践经验。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器

试验在江苏大学农业装备工程学院现代农业装备与技术教育部重点实验室进行,野外生长、健康的构树、桑树,位于江苏大学校园内。试验仪器主要有日本日置产 HIOKI 3532-50 型 LCR 测试仪;自制的平行板电容器,电容器圆形电极板直径为 1 cm;美国 WESCOR 公司产露点水势仪。

1.2 叶片采集与试验处理

2017 年 5 月,在相同时间段内,剪取带有新鲜叶片的构树、桑树枝条,用湿毛巾包住枝条基部,快速带回实验室;选取长势较为一致的上部 3 张叶片,清理叶片表面灰尘,放入水中浸泡以得到饱水叶片;将饱水叶片分别在浓度为 0.1、0.2、0.4 mol/L 的氯化钠(NaCl)、硫酸钠(Na₂SO₄)及其 1:1 混合盐溶液中浸泡 2、4、6 h,以清水处理为对照(CK)。

1.3 植物叶片水势和生理电容的测定

随机取出 1 张经盐溶液或清水处理的叶片,置于自制的平行板电容器中,每张叶片避开叶脉取 5 个不同的点,每个点计数 10 次,测量叶片的生理电容 C ;随后,将叶片快速放入露点水势仪探头样本室,平衡 5 min,测量相应的叶片组织水势 W 。

1.4 抗盐能力评价

1.4.1 紧张度 依据叶片组织水势 W 和生理电容 C ,参照植物叶片紧张度模型^[14-15],计算经盐水浸泡不同时间后植物叶片的紧张度 LT ,公式为:

$$LT = \frac{A}{d} = \frac{C}{\varepsilon_0} \left[\frac{1\,000iRT}{81\,000iRT + (81 - a)MW} \right]。$$

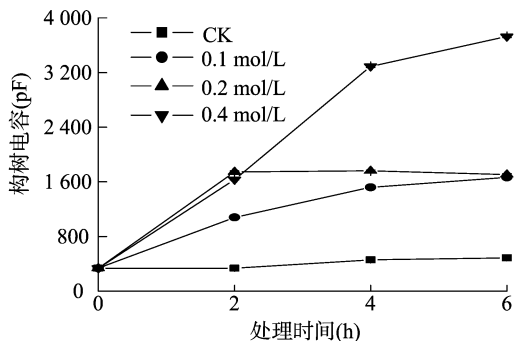


图1 不同浓度 NaCl 处理的构树、桑树叶片电容变化情况

2.1.2 Na₂SO₄ 由图 2 可见,Na₂SO₄ 胁迫处理的构树、桑树,其叶片生理电容均高于清水处理(对照);Na₂SO₄ 浓度为 0.1 mol/L 时,构树叶片电容随处理时间的增加而逐渐增加,处理 6 h 时电容有所减小,桑树叶片处理 2 h 时电容较对照增

式中: W 为植物组织水势,MPa; i 为解离系数,值为 1; R 为气体常数,为 0.008 3 L · MPa/(mol · K); T 为热力学温度,K, $T = 273 + t$ °C, t 为试验时测定的温度,为 20 °C; C 为生理电容,F; ε_0 为真空介电常数,为 8.854 × 10⁻²² F/m; A 为电容器极板接触的相应叶片有效面积,m²; d 为相应叶片的有效厚度,m; a 为细胞液溶质的相对介电常数,F/m,本试验设叶片细胞液溶质为蔗糖 C₁₂H₂₂O₁₁,则 a 为 3.3 F/m; M 为细胞液溶质的相对分子质量,为 342。得到紧张度 LT 简化计算公式为:

$$LT = C/[8.854 \times (81 + 10.927W)]。$$

1.4.2 植物的抗盐能力及相对抗盐能力 将盐溶液浸泡 0 h 的植物叶片紧张度定义为饱水叶片紧张度 LT_0 ,盐水浸泡 j h 的叶片紧张度定义为 LT_j ($j = 2, 4, 6$),根据叶片的紧张度计算吸盐叶片相对紧张度,公式为:

$$RLT_j = LT_0/LT_j。$$

由吸盐叶片相对紧张度来评价植物的抗盐能力 TSC_s 和相对抗盐能力 $RTSC_i$,计算公式分别为:

$$TSC_s = (RLT_2 + RLT_4 + RLT_6)/3;$$

$$RTSC_i = TSC_i/TSC_{RF}。$$

式中, TSC_{RF} 、 TSC_i 分别为植物叶片对清水(无盐溶液)、待测盐溶液的抗盐能力。

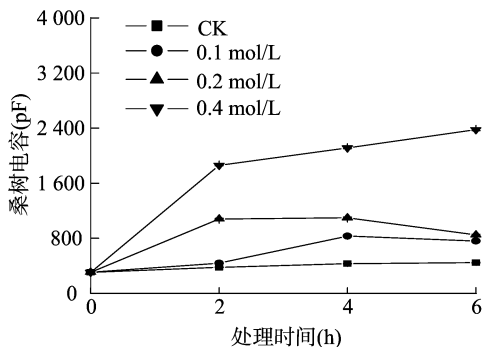
1.5 统计分析

采用 Excel 2007、Origin 8 软件对试验数据进行整理,采用 SPSS 17.0 软件对试验数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同盐胁迫处理不同时间的构树、桑树叶片生理电容

2.1.1 NaCl 处理 由图 1 可见,NaCl 胁迫处理的构树、桑树,其叶片生理电容均高于清水处理(对照);NaCl 浓度为 0.1 mol/L 时,构树叶片电容随处理时间的增加而较对照有明显增加,4 h 后电容趋于平稳,桑树叶片在处理 2 h 时电容变化不明显,而 4 h 后叶片电容有明显增加;NaCl 浓度为 0.2 mol/L 时,构树叶片在处理 2 h 时电容明显大于对照,后趋于平稳,而桑树叶片电容随处理时间的增加呈先增加后下降趋势;NaCl 浓度为 0.4 mol/L 时,构树与桑树叶片电容均随处理时间增加而增大,处理 6 h 时达到最大值。



加明显,后趋于平稳;Na₂SO₄ 浓度为 0.2 mol/L 时,构树叶片电容随处理时间呈波浪形变化,桑树叶片电容随处理时间增加呈直线上升趋势,处理 6 h 时达到最大值;Na₂SO₄ 浓度为 0.4 mol/L 时,构树叶片电容在处理 2 h 有跳跃式增加,后稍

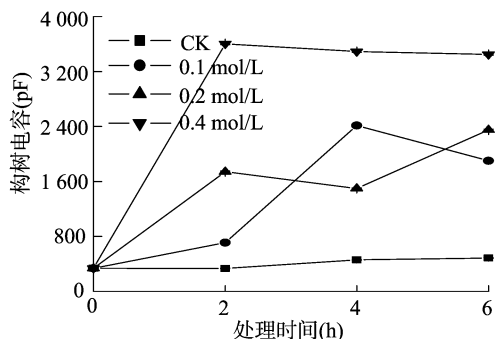
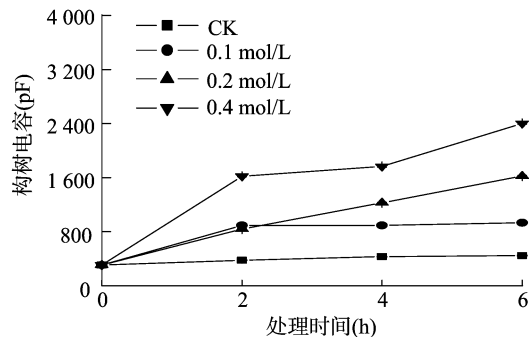
图2 不同浓度 Na₂SO₄ 处理的构树、桑树叶片电容变化情况

图3 不同浓度混合盐处理的构树、桑树叶片生理电容变化情况

有降低,而桑树叶片电容随处理时间的增加有明显上升。

2.1.3 混合盐处理 由图3可见,混合盐溶液胁迫处理的构树、桑树,其叶片生理电容均高于清水处理(对照)。混合盐浓度为0.1 mol/L时,构树叶片电容随时间的增加有明显增大,处理4 h时的构树叶片电容比CK增加了274.98%,而桑树叶片电容增加不明显;混合盐浓度为0.2 mol/L时,构树叶

片电容随处理时间增加呈先上升后下降趋势,而桑树叶片电容呈明显上升趋势,处理6 h时的桑树叶片电容比CK增加了214.20%;混合盐浓度为0.4 mol/L时,构树叶片电容随处理时间的增加呈上升趋势,而桑树叶片电容呈先上升后下降趋势,处理6 h时的构树叶片、处理4 h时的桑树叶片其电容分别比对照增加666.65%、454.88%。

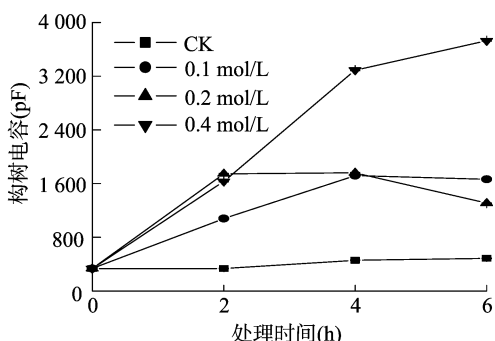
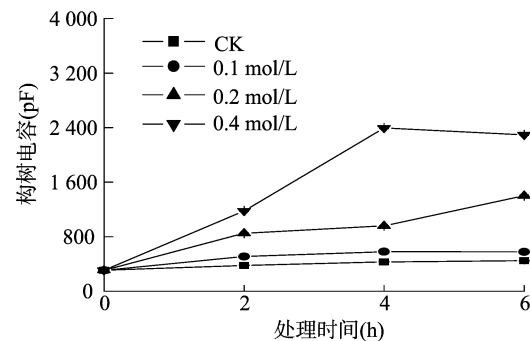


图4 不同浓度NaCl处理的构树、桑树叶片生理电容变化情况



2.2 不同盐处理的构树、桑树叶片水势、紧张度及抗盐能力评价

2.2.1 水势 由表1可见,CK处理的构树与桑树叶片水势相差较小;NaCl处理浓度为0.1 mol/L时,随处理时间的增加,构树与桑树的水势下降,构树水势的下降快于桑树;NaCl处理浓度为0.2 mol/L时,构树与桑树叶片水势呈明显的下降趋势,处理6 h时分别比CK下降85.71%、57.58%;NaCl处理浓度为0.4 mol/L时,构树和桑树叶片水势较CK降低更为明显,随处理时间的增加,构树水势呈先降后升再降的趋势,而桑树呈先降后升的趋势,构树处理2 h、桑树处理4 h时其叶片水势相应最低,分别为-2.26、-1.72 MPa,比CK分别下降115.23%、73.74%。Na₂SO₄处理浓度为0.1 mol/L时,随处理时间的增加,构树叶片水势呈先降后升再降的趋势,桑树呈先降后升的趋势,但相互间差异不明显;Na₂SO₄处理浓度为0.2 mol/L时,随处理时间的增加,构树、桑树叶片水势呈先降后升的趋势,且后者较CK相差较小;Na₂SO₄处理浓度为0.4 mol/L时,构树叶片水势较CK下降最为明显,处理6 h时叶片水势相对最小,为-2.75 MPa,而桑树在处理4 h时叶片水势相对最小,为-1.88 MPa。混合盐处理浓度为0.1 mol/L时,构树叶片水势较CK有明显降低,而桑树叶片水势较CK差异较小;混合盐处理浓度为0.2 mol/L时,随处理时间的增加,构树叶片水势呈先降后升再降的趋势,而桑树先降后升的趋势,构树处理2 h、桑树处理4 h时其叶片

水势相对最小,分别比CK低103.81%、40.40%;混合盐处理浓度为0.4 mol/L时,构树与桑树叶片水势较CK下降更为明显,构树处理4 h、桑树处理2 h时其叶片水势相对最小,分别为-2.59、-1.87 MPa,比CK分别下降146.67%、88.89%。

2.2.2 紧张度 由表2可见,清水处理(CK)条件下,随处理时间的增加,构树与桑树叶片紧张度总体呈增加趋势;NaCl处理浓度为0.1 mol/L时,随处理时间的增加,构树叶片紧张度呈增加趋势,而桑树叶片紧张度呈先增后减趋势;NaCl处理浓度为0.2 mol/L时,随处理时间的增加,构树与桑树叶片紧张度均呈先增后减趋势;NaCl处理浓度为0.4 mol/L时,随处理时间的增加,构树、桑树叶片紧张度呈明显的增加趋势,处理6 h时达到最大。Na₂SO₄处理浓度为0.1 mol/L时,随处理时间的增加,构树叶片紧张度呈先增后减趋势,而桑树则呈逐渐增加趋势;Na₂SO₄处理浓度为0.2、0.4 mol/L时,随处理时间的增加,构树叶片紧张度呈先增后减再增的趋势,而桑树叶片呈增加趋势。混合盐处理浓度为0.1 mol/L时,随处理时间的增加,构树与桑树叶片紧张度呈增加趋势,桑树在处理4 h后趋于相对平稳;混合盐处理浓度为0.2 mol/L时,随处理时间的增加,构树叶片紧张度呈先增后减的趋势,而桑树叶片紧张度呈增加趋势;混合盐处理浓度为0.4 mol/L时,随处理时间的增加,构树、桑树叶片紧张度总体呈增加趋势。

2.3 不同盐处理的构树、桑树叶片抗盐能力评价

由表3可见,在0.1~0.4 mol/L NaCl、Na₂SO₄、混合盐溶

表 1 盐胁迫下构树、桑树叶片组织水势变化情况

树种	盐类	浓度 (mol/L)	不同盐胁迫时间下的水势 (MPa)			
			0 h	2 h	4 h	6 h
构树	CK	0.0	-1.05 ± 0.11	-1.05 ± 0.14	-0.91 ± 0.22	-0.95 ± 0.21
		0.1	-1.05 ± 0.11	-1.17 ± 0.32	-1.30 ± 0.34	-1.60 ± 0.31
		0.2	-1.05 ± 0.11	-1.67 ± 0.52	-1.82 ± 0.50	-1.95 ± 0.31
		0.4	-1.05 ± 0.11	-2.26 ± 0.41	-1.99 ± 0.34	-2.12 ± 0.42
	Na ₂ SO ₄	0.1	-1.05 ± 0.11	-1.82 ± 0.27	-1.13 ± 0.30	-1.17 ± 0.18
		0.2	-1.05 ± 0.11	-2.40 ± 0.48	-1.96 ± 0.31	-1.73 ± 0.25
		0.4	-1.05 ± 0.11	-2.59 ± 0.50	-2.17 ± 0.32	-2.75 ± 0.41
	混合盐	0.1	-1.05 ± 0.11	-1.74 ± 0.26	-1.84 ± 0.36	-1.81 ± 0.33
		0.2	-1.05 ± 0.11	-2.14 ± 0.62	-1.93 ± 0.40	-2.13 ± 0.46
		0.4	-1.05 ± 0.11	-2.43 ± 0.53	-2.59 ± 0.55	-2.52 ± 0.40
桑树	CK	0.0	-0.99 ± 0.13	-1.01 ± 0.12	-0.95 ± 0.20	-0.98 ± 0.28
		0.1	-0.99 ± 0.13	-1.07 ± 0.21	-1.08 ± 0.32	-1.14 ± 0.33
		0.2	-0.99 ± 0.13	-1.23 ± 0.37	-1.35 ± 0.27	-1.56 ± 0.32
		0.4	-0.99 ± 0.13	-1.27 ± 0.19	-1.72 ± 0.40	-1.69 ± 0.24
	Na ₂ SO ₄	0.1	-0.99 ± 0.13	-1.02 ± 0.28	-1.10 ± 0.33	-1.08 ± 0.31
		0.2	-0.99 ± 0.13	-1.32 ± 0.28	-1.37 ± 0.28	-1.35 ± 0.34
		0.4	-0.99 ± 0.13	-1.86 ± 0.30	-1.88 ± 0.23	-1.80 ± 0.20
	混合盐	0.1	-0.99 ± 0.13	-1.01 ± 0.21	-1.08 ± 0.25	-1.16 ± 0.25
		0.2	-0.99 ± 0.13	-1.14 ± 0.24	-1.39 ± 0.28	-1.25 ± 0.24
		0.4	-0.99 ± 0.13	-1.87 ± 0.37	-1.77 ± 0.25	-1.83 ± 0.32

表 2 盐胁迫下构树和桑树的叶片紧张度变化情况

树种	盐类	浓度 (mol/L)	不同盐胁迫时间下叶片紧张度			
			0 h	2 h	4 h	6 h
构树	CK	0.0	0.545	0.543	0.728	0.778
		0.1	0.545	1.789	2.906	2.962
		0.2	0.545	3.144	3.256	2.475
		0.4	0.545	3.277	6.269	7.282
	Na ₂ SO ₄	0.1	0.545	1.314	3.977	3.148
		0.2	0.545	3.595	2.846	4.281
		0.4	0.545	7.725	6.887	7.652
	混合盐	0.1	0.545	0.995	3.089	5.055
		0.2	0.545	3.421	3.317	2.556
		0.4	0.545	3.384	7.049	7.883
桑树	CK	0.0	0.496	0.612	0.691	0.717
		0.1	0.496	0.716	1.362	1.255
		0.2	0.496	1.807	1.875	1.504
		0.4	0.496	3.133	3.841	4.293
	Na ₂ SO ₄	0.1	0.496	1.446	1.465	1.526
		0.2	0.496	1.427	2.101	2.771
		0.4	0.496	3.023	3.302	4.426
	混合盐	0.1	0.496	0.822	0.948	0.958
		0.2	0.496	1.402	1.646	2.354
		0.4	0.496	2.197	4.388	4.247

液作用下,桑树抗盐能力和相对抗盐能力值均相应高于构树,说明桑树的抗盐能力强于构树;随盐溶液浓度的增加,构树与桑树叶片相对紧张度整体呈下降趋势,抗盐能力和相对抗盐能力值减小,说明构树与桑树的抗盐能力在逐渐减小;0.1 mol/L 盐胁迫下,构树对 3 类盐的相对抗盐能力大小表现为混合盐 > Na₂SO₄ > NaCl,而桑树则表现为混合盐 > NaCl > Na₂SO₄;0.2 mol/L 盐胁迫下,构树对 3 类盐的相对抗盐能力大小表现为 Na₂SO₄ > NaCl > 混合盐,而桑树则表现为混合

盐 > Na₂SO₄ > NaCl;0.4 mol/L 盐胁迫下,构树和桑树对 3 类盐的相对抗盐能力差异较小。

3 结论与讨论

在逆境条件下,叶片电生理参数和叶片紧张度变化能快速表征植物的抗逆能力,是鉴定植物抗逆性的 2 种重要指标^[15-16]。植物叶片内由于含水量和离子浓度的变化,会导致叶片介电常数增大,生理电容上升,从而导致植物叶片紧张度增加。有研究发现,不同种类的盐胁迫对同一植物的生理生化特征及形态特征表现不同,这在高冰草、盐蒿、刺槐、无芒雀麦、扁桃等植物中有相应报道^[17-21]。植物在受到盐胁迫时,电导率和细胞膜透性变化会越明显,其受伤害程度也往往较重^[22-27]。本研究发现,构树、桑树对不同盐胁迫表现出不同的抗性,构树受 NaCl 胁迫较为严重,这与黄立华等的研究结论^[17-18]吻合,而桑树受 Na₂SO₄ 胁迫更为明显,这与孟凡娟等的研究结论^[19,21]类似;桑树对 NaCl、Na₂SO₄ 及混合盐的抗盐能力强于构树,这可能与盐胁迫下构树叶片的细胞膜透性、失水率高于桑树有关;0.1 mol/L 盐胁迫下,构树对 3 类盐的相对抗盐能力大小表现为混合盐 > Na₂SO₄ > NaCl,而桑树则表现为混合盐 > NaCl > Na₂SO₄;0.2 mol/L 盐胁迫下,构树对 3 类盐的相对抗盐能力大小表现为 Na₂SO₄ > NaCl > 混合盐,而桑树则表现为混合盐 > Na₂SO₄ > NaCl;0.4 mol/L 盐胁迫下,构树和桑树对 3 类盐的相对抗盐能力差异较小。

同一种植物对不同盐类的抗性能力有明显不同,其抗盐能力大小不仅具有物种的特异性,而且也有盐类的特异性。利用叶片紧张度的变化反映植物的抗盐情况,不仅可以简便、快捷、省时地测定植物对特定盐害的抗盐能力,而且可以初步定量反映植物的抗盐能力,本研究结论可为耐盐品种的快速选择及盐碱地区的开发利用提供一定的科学依据。

表 3 构树、桑树在盐胁迫下的相对抗盐能力

树种	盐类	浓度 (mol/L)	盐胁迫下叶片相对紧张度				TSC_s	$RTSC_i$
			0 h	2 h	4 h	6 h		
构树	CK	0.0	1.000	1.003	0.748	0.701	0.817	1.000
		NaCl	0.1	1.000	0.259	0.159	0.157	0.235
	Na ₂ SO ₄	0.2	1.000	0.119	0.115	0.151	0.128	0.157
		0.4	1.000	0.123	0.064	0.055	0.081	0.099
		0.1	1.000	0.487	0.161	0.203	0.284	0.348
		0.2	1.000	0.148	0.187	0.124	0.153	0.187
		0.4	1.000	0.071	0.079	0.072	0.074	0.090
		混合盐	0.1	1.000	0.627	0.202	0.124	0.318
		0.2	1.000	0.109	0.112	0.145	0.122	0.149
		0.4	1.000	0.119	0.057	0.051	0.076	0.093
桑树	CK	0.0	1.000	0.809	0.718	0.691	0.739	1.000
		0.1	1.000	0.612	0.322	0.349	0.427	0.578
	NaCl	0.2	1.000	0.207	0.199	0.248	0.218	0.295
		0.4	1.000	0.180	0.147	0.131	0.153	0.207
	Na ₂ SO ₄	0.1	1.000	0.323	0.319	0.306	0.316	0.427
		0.2	1.000	0.368	0.250	0.189	0.269	0.363
		0.4	1.000	0.182	0.166	0.124	0.157	0.212
	混合盐	0.1	1.000	0.591	0.513	0.508	0.537	0.727
		0.2	1.000	0.378	0.322	0.225	0.308	0.417
		0.4	1.000	0.255	0.128	0.132	0.172	0.233

参考文献:

[1] Metternicht G I, Zinck J A. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 85(1): 1-20.

[2] 范 远, 任长忠, 李品芳, 等. 盐碱胁迫下燕麦生长及阳离子吸收特征[J]. 应用生态学, 2011, 22(11): 2875-2882.

[3] 宗俊勤, 陈静波, 聂东阳, 等. 我国不同地区芒和荻种质资源抗盐性的初步评价[J]. 草地学报, 2011, 19(5): 803-807.

[4] 孙文喜, 孙文鑫, 周大旺, 等. 植物抗盐性生理生化研究进展及提高植物抗盐性对策[J]. 农业科技通讯, 2013(6): 174-178.

[5] 王利民, 黄东风, 林 琼, 等. 番茄作物抗盐性研究进展[J]. 福建农业学报, 2015, 30(10): 1019-1026.

[6] 许能祥, 顾洪如, 冯柏青, 等. 16 个引进多花黑麦草品种苗期耐盐评价[J]. 草地学报, 2010, 18(2): 223-227.

[7] 闫洪唯, 王 赞, 阳 曦, 等. 高燕麦草苗期对盐胁迫的响应(英文)[J]. 草地学报, 2011, 19(1): 90-96.

[8] 孟凡娟, 王秋玉, 王建中, 等. 四倍体刺槐的抗盐性[J]. 植物生态学报, 2008, 32(3): 654-663.

[9] 刘 强, 王庆成, 王占武. 叶绿素荧光动力学参数作为植物抗盐性评价指标的有效性[J]. 广东农业科学, 2014(21): 37-40, 74.

[10] Javed Q, Wu Y Y, Azeem A, et al. Evaluation of irrigation effects using diluted salted water based on electrophysiological properties of plants[J]. Journal of Plant Interactions, 2017, 12(1): 219-227.

[11] Azeem A, Wu Y Y, Javed Q, et al. Response of okra based on electrophysiological modeling under salt stress and re-watering[J]. Bioscience Journal, 2017, 33(5): 1219-1229.

[12] 郭文川, 伍 凌, 魏永胜. 失水对植物生理特性和电特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(4): 185-188, 191.

[13] 冯晓旺, 宣奇丹, 张文杰. 毛白杨叶片含水量无损检测系统的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(15): 8213-8215.

[14] Zhang M, Wu Y, Xing D, et al. Rapid measurement of drought resistance in plants based on electrophysiological properties[J]. Transaction of ASABE, 2015, 58(6): 1441-1446.

[15] 吴沿友, 张明明, 邢德科, 等. 快速反映植物水分状况的叶片紧张度模型[J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 310-314.

[16] 张 兵, 邹一琴, 韩 霞, 等. 小麦叶片生理电特性测定与含水量预测研究[J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 1957-1960.

[17] 黄立华, 梁正伟. 不同钠盐胁迫对高冰草种子萌发的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(6): 173-176.

[18] 史宝胜, 刘冬云, 孟祥书, 等. NaCl、Na₂SO₄ 胁迫下盐蒿种子萌发过程中的生理变化[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(5): 45-48.

[19] 孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等. NaCl 和 Na₂SO₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 734-741.

[20] 胡生荣, 高 永, 武 飞, 等. 盐胁迫对两种无芒雀麦种子萌发的影响[J]. 植物生态学报, 2007, 31(3): 513-520.

[21] 侯江涛, 克热木·伊力, 迪利夏提, 等. NaCl 胁迫对扁桃砧木叶片显微结构的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(7): 258-261.

[22] 杨 帆, 丁 菲, 杜天真. 盐胁迫下构树幼苗各器官中 K⁺、Ca²⁺、Na⁺ 和 Cl⁻ 含量分布及吸收特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 767-772.

[23] 杨传平, 焦喜才, 刘文祥, 等. 树木的细胞膜透性与抗盐性[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(1): 2-4.

[24] 苏 勇, 谢安德, 王凌晖, 等. NaCl 胁迫对山白兰幼苗细胞膜透性及渗透调节物质含量的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(8): 1608-1611.

[25] 姚 广, 高辉远, 夏 阳, 等. N₂Pa 宽叶草抗盐生理特性的初步研究[J]. 中国草地学报, 2007, 29(4): 28-32.

[26] 陈 敏, 彭建云, 王宝山. 整株水平上 Na⁺ 转运体与植物的抗盐性[J]. 植物学通报, 2008, 25(4): 381-391.

[27] Tester M, Davenport R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants[J]. Annals of Botany, 2003, 91(5): 503-527.