

汪晓丽, 谭彦, 伍江波, 等. 大叶桉幼苗对 NaHCO_3 胁迫的生理响应[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(2): 448-453.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.02.032

大叶桉幼苗对 NaHCO_3 胁迫的生理响应

汪晓丽, 谭彦, 伍江波, 邢文, 张亚平, 金晓玲

(中南林业科技大学, 湖南长沙 410004)

摘要: 为研究大叶桉(*Zelkova schneideriana*)新品种恨天高幼苗的耐盐碱能力, 采用温室盆栽试验, 对其在 4 个不同浓度[50 mmol/L(T_1)、100 mmol/L(T_2)、200 mmol/L(T_3)、400 mmol/L(T_4)] NaHCO_3 胁迫下的生长及生理特性进行研究。结果表明: 不同浓度 NaHCO_3 处理对恨天高幼苗存活和形态有不同的影响, 在低盐浓度(T_1 、 T_2 处理)下只有轻微胁迫症状且不随胁迫时间持续加重, 存活率均为 100%; 中高盐浓度(T_3 、 T_4 处理)下随着胁迫时间持续盐害加重, 植株出现叶片卷曲失绿焦枯, 甚至植株死亡等现象, 生长势减弱, 胁迫至 50 d, 存活率分别为 77.8%、44.4%。各浓度胁迫下, 恨天高幼苗叶片相对电导率、丙二醛含量逐渐上升, 而叶绿素含量、*SOD* 和 *POD* 活性则呈先上升后下降的趋势, 胁迫至 50 d 时, 它们均与对照差异显著($P < 0.05$)。恨天高幼苗耐受 NaHCO_3 胁迫的范围为 100~200 mmol/L。

关键词: 大叶桉; NaHCO_3 胁迫; 生理特性

中图分类号: Q945.78

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2016)02-0448-06

Physiological responses of *Zelkova schneideriana* to sodium bicarbonate stress

WANG Xiao-li, TAN Yan, WU Jiang-bo, XING Wen, ZHANG Ya-ping, JIN Xiao-ling

(Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: The physiological and growth characteristics of *Aelkova schneideriana* var. hentiangao were measured to study the salt and alkaline tolerance under the stress of four concentrations of sodium bicarbonate (NaHCO_3) by pot experiments. The seedlings of Hentiangao survived the low-concentration (50 mmol/L and 100 mmol/L) NaHCO_3 with only mildly-stressed symptoms. The salt injury got severe as the concentrations of NaHCO_3 climbed up and the experiment continued, the plants appearing curl, chlorotic, and dried-up leaves, blackened branches, and even dead. As the stress went to day 50, the survival rates of Hentiangao seedlings were only 77.8% and 44.4% under the concentrations of 200 mmol/L and 400 mmol/L, respectively. The relative conductivity and MDA content of Hentiangao seedlings mounted under the stress of NaHCO_3 at all concentrations, and the chlorophyll contents, the activities of *SOD* and *POD* increased first but fell later. At the end of the treatment, all the physiological parameters measured in this study showed significant difference from those of control. It was suggested that the concentration of NaHCO_3 that Hentiangao seedlings could bear ranged from 100 mmol/L to 200 mmol/L.

Key words: *Zelkova schneideriana*; sodium bicarbonate stress; physiological characteristic

收稿日期: 2015-10-23

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201404710)

作者简介: 汪晓丽(1989-), 女, 湖南益阳人, 硕士研究生, 研究方向为园林植物育种, (Tel) 18874767134; (E-mail) 530978689@qq.com

通讯作者: 金晓玲, (Tel) 13787319185; (E-mail) 121191638@qq.com

土壤盐碱化问题已成为全世界面临的生态问题之一, 中国盐碱地面积约占耕地总面积的 10%, 是世界盐碱地大国之一^[1-3], 而种植耐盐植物是一种

治理盐碱地的有效措施,因此,筛选适宜在盐碱地上生长的植物显得极其重要。

大叶榉(*Zelkova schneideriana*)树形优美,秋季叶色丰富,是重要的园林景观树种^[4]。恨天高是经实生苗变异选育而成的大叶榉新品种,具有树高生长速度慢、分支点低,分枝数多、叶间距短,秋季叶色变化时间晚、落叶迟等特性。焦秀洁等^[5]、王志和等^[6]对 NaCl 胁迫下大叶榉种子萌发及幼苗生理特性研究结果表明: NaCl 胁迫使大叶榉幼苗发芽率、发芽指数和活力指数等下降,根长和苗生长受抑制,但其丙二醛(MDA)含量两人研究结果不一致,前者研究结果显示 MDA 含量变化不明显,后者研究结果显示 MDA 含量呈先下降后上升的趋势。窦全琴等^[7]在土壤 NaCl 含量对大叶榉幼苗生理特性影响的研究中得出:大叶榉幼苗能耐受 0.15%~0.30% 的 NaCl 胁迫。夏尚光等^[8-9]对 NaCl 胁迫下大叶榉幼苗光合作用特性和叶肉细胞超微结构进行的研究结果表明:随着胁迫的增强和持续,植株净光合速率、蒸腾速率等呈下降趋势,0.3% 浓度胁迫下,大叶榉叶肉厚度变薄,发生质壁分离、膜系统紊乱等现象。这些研究都集中于 NaCl 盐,但很多盐碱地致害盐分除 NaCl 外,还有 NaHCO_3 、 Na_2SO_4 、 Na_2CO_3 等^[8],而有关 NaHCO_3 对大叶榉胁迫的研究尚未见报道。因此,本研究采用 NaHCO_3 对大叶榉恨天高进行胁迫处理,通过测定其生理生化指标的变化,探寻其耐盐碱能力,为其推广应用尤其是在盐碱地区的园林绿化应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料选自中南林业科技大学苗圃 2013 年 3 月繁殖的同批恨天高大叶榉嫁接苗。栽培基质为泥炭土、珍珠岩、有机肥、菌土(6:1:2:1,体积比)混合的基质,均采用孔径 27 cm,高 25 cm 的塑料花盆,每盆 1 株。2014 年 8 月 1 日至 9 月 21 日进行试验。

1.2 试验设计

试验采用温室盆栽法。将选出的恨天高大叶榉幼苗随机分成 5 组,每组 3 盆。 NaHCO_3 胁迫浓度 0 mmol/L(空白对照)、50 mmol/L(T_1)、100 mmol/L(T_2)、200 mmol/L(T_3)、400 mmol/L(T_4)。

整个试验胁迫分为胁迫—恢复(清水处理)—再胁迫 3 个阶段,时间分别为 20 d、10 d、20 d。胁迫处理前 3 d 控水,在花盆下垫塑料盘,每 3 d 每盆用 500 ml 含有相应浓度的处理液,分 3 次浇灌,渗出的处理液倒回盆中以防止盐分流失。每 10 d 采摘植株中上部成熟叶片进行生理指标的测定,试验重复 3 次。

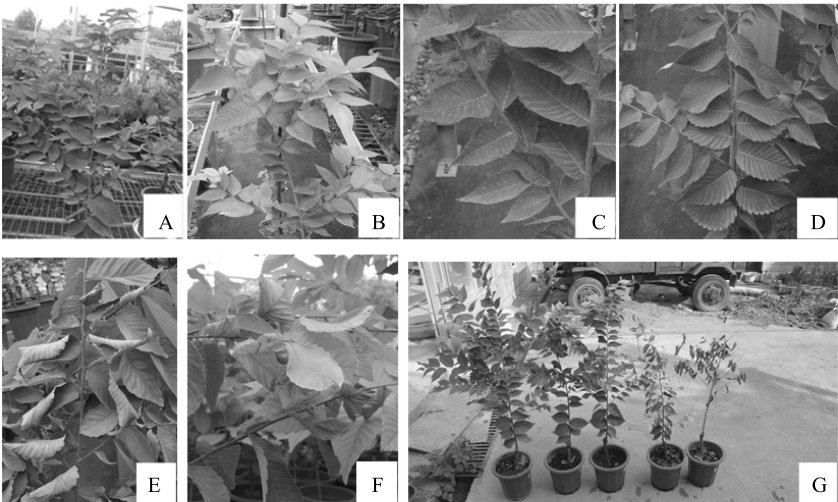
1.3 生理指标测定及数据分析方法

细胞质膜透性以相对电导率表示,相对电导率=煮前电导率/煮后电导率 $\times 100\%$ ^[9],用电导法进行测定;MDA 用硫代巴比妥酸法^[10]测定;叶绿素(Chl.)含量用丙酮:无水乙醇=1:1 浸泡提取法^[11]测定; SOD 活性用 NBT 光化学还原法测定^[9]。所有数据采用 Excel 和 SPSS 软件进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 NaHCO_3 胁迫对恨天高幼苗存活和形态的影响

结果显示: NaHCO_3 胁迫 10 d, T_3 、 T_4 处理的植株极少量叶片叶缘出现焦枯现象,其他植株均表现正常。胁迫 20 d, T_1 处理(图 1B)与对照(图 1A)相比,生长正常,且有新梢长出; T_2 处理(图 1C)有新叶长出,极少量叶片叶尖出现焦枯黑斑点但不明显; T_3 处理(图 1D)植株少量叶片叶尖焦枯,有轻微卷曲下垂现象; T_4 处理(图 1E 和图 1F)植株主干老叶近 1/3 卷曲,少量嫩叶失绿。胁迫 50 d, T_1 、 T_2 只有轻微胁迫症状,不影响正常生长; T_3 处理植株大部分叶片失绿焦枯,且有落叶现象; T_4 处理部分植株叶片全部失绿卷曲焦枯,老叶脱落严重,部分死叶仍挂在枝头(图 1G)。试验结束时, T_1 ~ T_4 处理苗木存活率分别为 100.0%、100.0%、77.8%、44.4%, T_4 处理的存活率与对照有显著差异($P<0.05$)。可见 NaHCO_3 胁迫对恨天高幼苗的存活和形态有明显的影响,随着 NaHCO_3 胁迫浓度的增大和胁迫时间的持续,植株盐害加重,对形态影响表现为叶片从边缘或叶尖到中心开始焦枯失绿且老叶先受到盐害。 NaHCO_3 胁迫 50 d 时, T_3 处理植株有死亡现象,但存活率超过 50%,而 T_1 、 T_2 处理没有严重盐害现象,由致死中量理论可知,恨天高 1 年生幼苗耐盐能力应在 100~200 mmol/L。



A 表示对照;B、C、D 分别表示 NaHCO_3 胁迫浓度为 50 mmol/L、100 mmol/L、200 mmol/L 处理 20 d 时叶片形态; E 和 F 表示 NaHCO_3 胁迫浓度为 400 mmol/L 处理 20 d 时叶片形态;G 表示 NaHCO_3 胁迫 50 d 时各浓度处理植株生长情况,从左至右 NaHCO_3 胁迫浓度依次为 0 mmol/L、50 mmol/L、100 mmol/L、200 mmol/L、400 mmol/L、500 mmol/L。

图 1 NaHCO_3 胁迫 20 d 时恨天高幼苗叶片形态变化和 50 d 时植株生长情况

Fig.1 Morphological changes in the leaves of *Zelkova chneideriana* hentiangao seedlings under NaHCO_3 stress for 20 d and plant growth situation after stress for 50 d

2.2 NaHCO_3 胁迫对恨天高幼苗株高的影响

由表 1 可知,不同浓度 NaHCO_3 胁迫对植株株高有不同程度的影响。胁迫 20 d 时对照组和 $T_1 \sim T_4$ 处理株高比胁迫 0 d 时分别平均生长了 17.7 cm、10.0 cm、11.0 cm、1.7 cm 和 2.0 cm;恢复阶段(21~30 d)各处理株高增长 1.0 cm 左右,与胁迫 20 d 时差异不显著($P>0.05$);胁迫 30~50 d $T_1 \sim T_4$ 处理株高平均生长分别为 5.0 cm、2.0 cm、2.0 cm、0.7

cm,胁迫31~50 d 期间各处理株高生长量比胁迫前期(0~20 d)的小。胁迫 50 d 后,各处理株高与对照差异显著($P<0.05$),但 T_1 处理与 T_2 处理无显著差异。盐胁迫后植株高度能最直接的衡量植物耐盐性[12],植物对盐胁迫的综合反应表现为生长受到抑制[13]。可见 NaHCO_3 胁迫对恨天高的生长有抑制作用,低浓度胁迫处理对生长的抑制作用小。

表 1 不同浓度 NaHCO_3 胁迫对恨天高幼苗株高的影响

Table 1 Influences of different NaHCO_3 treatments on plant height of *Zelkova schneideriana* hentiangao seedlings

| 胁迫处理 | 株高 (cm) | | | | | |
|---------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 0 d | 10 d | 20 d | 30 d | 40 d | 50 d |
| 对照 (CK) | 102.67±1.15c | 115.00±1.28a | 120.33±1.36a | 121.00±1.37a | 125.67±1.39a | 128.33±1.45a |
| T_1 | 104.67±1.19bc | 111.67±1.21b | 114.67±1.24b | 115.33±1.26b | 117.00±1.28c | 120.33±1.31b |
| T_2 | 108.00±1.20a | 114.00±1.23a | 119.00±1.29a | 120.00±1.32a | 120.67±1.34b | 122.00±1.38b |
| T_3 | 105.67±1.17b | 107.00±1.19c | 107.33±1.20c | 108.00±1.25c | 110.00±1.29d | 110.00±1.31c |
| T_4 | 100.00±1.10d | 101.00±1.15d | 102.00±1.19d | 103.33±1.24d | 104.00±1.26e | 104.00±1.28d |

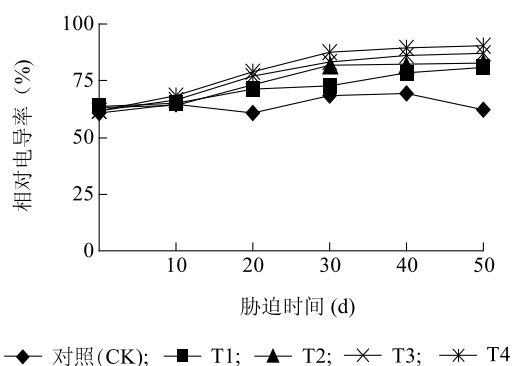
T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分别表示 NaHCO_3 胁迫浓度为 50 mmol/L、100 mmol/L、200 mmol/L、400 mmol/L;同一列数据后不同小写字母表示各处理组间差异达显著水平($P<0.05$)。

2.3 NaHCO_3 胁迫对恨天高幼苗叶片质膜透性的影响

NaHCO_3 胁迫对恨天高幼苗相对电导率的影响

见图 2。由图 2 可知,恨天高幼苗叶片电导率随着胁迫的持续呈上升趋势。电导率的上升幅度与胁迫浓度成正相关,在 200 mmol/L、400 mmol/L NaHCO_3

胁迫下,恨天高幼苗叶片质膜透性急剧增强,渗透物质外流引起电导率上升,细胞膜明显被破坏,进而影响到植物细胞的正常代谢。



T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分别表示 NaHCO_3 胁迫浓度为 50 mmol/L、100 mmol/L、200 mmol/L、400 mmol/L。

图2 NaHCO_3 胁迫对恨天高幼苗叶片相对电导率的影响

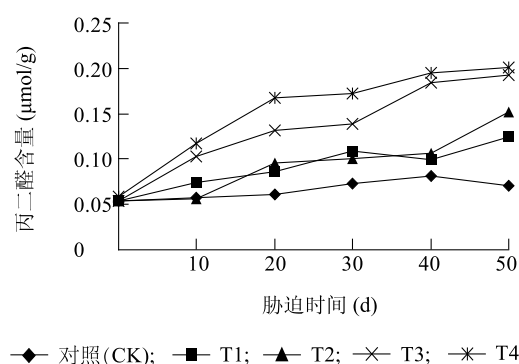
Fig.2 Changes of conductivity of *Z. schneideriana hentiangao* leaves under NaHCO_3 stress

2.4 NaHCO_3 胁迫对恨天高幼苗叶片丙二醛 (MDA) 含量的影响

细胞膜脂过氧化作用最终产生的 MDA 含量可鉴别植物细胞氧化损伤程度^[14-15]。由图 3 可知,MDA 含量的变化随着胁迫的持续呈上升趋势。胁迫 50 d 时植株 MDA 含量与胁迫浓度成正相关。胁迫第一阶段(0~20 d), T_1 与 T_2 处理的 MDA 含量增加较缓慢,涨幅低于 T_3 、 T_4 处理,表明低 NaHCO_3 浓度处理下细胞膜受害程度较轻。恢复阶段(21~30 d),MDA 含量进一步增加。胁迫 50 d 时,各处理与对照均存在极显著差异($P<0.01$),细胞膜受害严重, $T_1 \sim T_4$ 处理 MDA 含量分别达到最大值,为对照的 1.75 倍、2.14 倍、2.70 倍、2.83 倍。因此,当 NaHCO_3 浓度增大,对恨天高幼苗的膜脂过氧化损害也更大。

2.5 NaHCO_3 胁迫对恨天高幼苗叶片叶绿素含量的影响

图 4 可知,不同浓度 NaHCO_3 胁迫下恨天高幼苗叶片叶绿素含量变化明显。对照组恨天高的叶绿素含量随生长期延长先升高后缓慢降低,在 30 d 时达到最大值(3.722 mg/g), NaHCO_3 胁迫处理均在胁迫至 20 d 时达到最大值,变化趋势与对照大体一致,但变化幅度各异。胁迫 50 d 时,与对照相比, $T_1 \sim T_4$ 处理叶绿素含量显著降低 15.4%、12.0%、

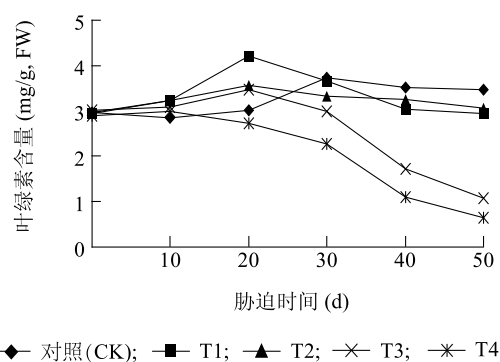


T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分别表示 NaHCO_3 胁迫浓度为 50 mmol/L、100 mmol/L、200 mmol/L、400 mmol/L。

图3 NaHCO_3 胁迫对恨天高叶片 MDA 含量的影响

Fig. 3 Changes of MDA content in the leaves of *Z. schneideriana hentiangao* under NaHCO_3 stress

69.2%、81.4% ($P<0.05$)。说明 NaHCO_3 处理浓度越大,恨天高叶片受害程度越重。叶绿素降低影响植物的光合作用,从而影响植物的生长。这与恨天高叶片胁迫症状基本一致。



T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分别表示 NaHCO_3 胁迫浓度为 50 mmol/L、100 mmol/L、200 mmol/L、400 mmol/L。

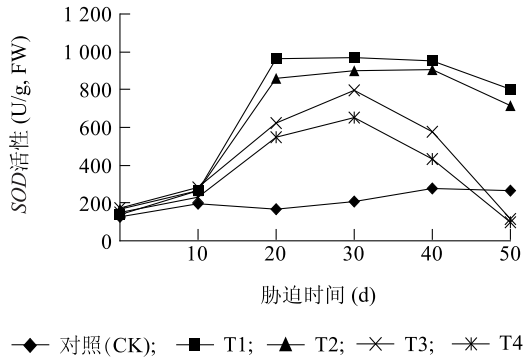
图4 NaHCO_3 胁迫对恨天高叶片叶绿素含量的影响

Fig. 4 Changes of chlorophyll contents in the leaves of *Z. schneideriana hentiangao* under NaHCO_3 stress

2.6 NaHCO_3 胁迫对恨天高幼苗叶片 SOD 和 POD 活性的影响

由图 5 可知,随着 NaHCO_3 胁迫浓度的增大和胁迫时间的持续, SOD 活性表现为先上升后下降的趋势。 $T_1 \sim T_4$ 处理胁迫前期(0~10 d)缓慢增长,胁迫10~20 d急剧增长,恢复期 SOD 活性缓慢增长。再次胁迫后,各处理组 SOD 活性变化幅度各异。

T_1 、 T_2 在胁迫 40 d 时达到最大值, 分别为 992.246 U/g、954.992 U/g; T_3 、 T_4 在胁迫 30 d 达到最大值 (796.807 U/g、649.224 U/g)。胁迫 50 d, SOD 活性 T_1 、 T_2 处理显著高于对照, 而 T_3 、 T_4 处理显著低于对照 ($P < 0.05$)。

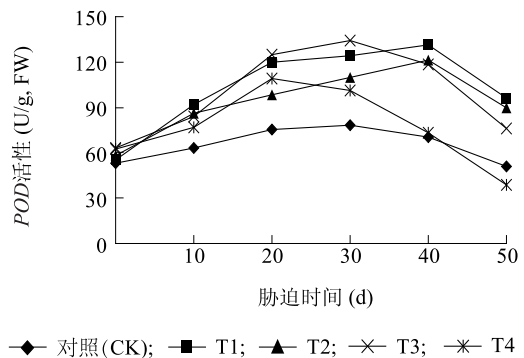


T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分别表示 NaHCO_3 胁迫浓度为 50 mmol/L、100 mmol/L、200 mmol/L、400 mmol/L。

图5 NaHCO_3 胁迫对恨天高叶片 SOD 活性的影响

Fig.5 Changes of SOD activity in the leaves of *Z. schneideriana* hentiangao under NaHCO_3 stress

由图 6 可知, NaHCO_3 胁迫下恨天高叶片 POD 与 SOD 活性变化趋势基本一致, 但在盐处理后的反应速度有区别, 各处理 POD 活性在胁迫前期 (0~10 d) 的响应速率比 SOD 活性的响应速率快。



T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分别表示 NaHCO_3 胁迫浓度为 50 mmol/L、100 mmol/L、200 mmol/L、400 mmol/L。

图6 NaHCO_3 胁迫对恨天高叶片 POD 活性的影响

Fig.6 Changes of POD activity in the leaves of *Z. schneideriana* hentiangao under NaHCO_3 stress

高幼苗存活和形态有不同的影响, 在低盐浓度 (T_1 、 T_2 处理) 下只有轻微胁迫症状且不随胁迫时间的持续加重, 存活率均为 100%; 中高盐浓度 (T_3 、 T_4 处理) 下随胁迫时间的持续盐害加重, 植株出现叶片卷曲失绿焦枯, 甚至植株死亡等现象, 生长势减弱, 胁迫至 50 d, T_3 、 T_4 处理存活率分别为 77.8%、44.4%。

各浓度胁迫下, 恨天高幼苗叶片相对电导率、丙二醛含量逐渐上升, 而叶绿素含量、 SOD 和 POD 活性则呈先上升后下降的趋势, 胁迫至 50 d 时, 它们均与对照差异显著 ($P < 0.05$)。表明恨天高幼苗耐受 NaHCO_3 胁迫的范围为 100~200 mmol/L。

恨天高幼苗随着胁迫浓度的增加和胁迫时间的持续, 植株各生理指标表现出相应的响应速率, 叶片表现出盐害症状, 说明叶片形态能反应逆境胁迫对恨天高的影响, 这与唐相亭等^[16]对其他植物的研究结论一致。植物盐胁迫下, 最直接的伤害表现为膜损伤, 细胞膜透性增强, 渗透物质外流引起电导率上升, 同时, 叶绿素降解酶活性增强, 促进叶绿素的降解, 从而引起叶绿素含量的降低^[17]。 SOD 活性的增强能加快自由基的清除^[18], 植物往往通过提高自身 SOD 、 POD 等酶活性来抵御盐害^[19]。本研究结果表明, 恨天高幼苗随着 NaHCO_3 胁迫浓度的增加和胁迫时间的持续, 存活率降低, 株高生长受到抑制越明显, 这与王志和、韩冰等的研究结果一致^[6,20], 这可能是由于土壤介质中盐分含量高, 影响植物对水分、矿质营养等的吸收, 从而抑制幼苗的生长^[21]; 恨天高幼苗在盐胁迫下电导率和丙二醛含量逐渐上升, 尤其是中高盐浓度 (T_3 、 T_4 处理) 下, 电导率和丙二醛含量上升幅度更大, 表明中高盐浓度胁迫对恨天高幼苗细胞膜伤害较大, 这与李宏等^[22]的研究结果一致; 而叶绿素含量、 SOD 和 POD 活性则表现为先上升后下降的趋势, 低盐浓度 (T_1 、 T_2 处理) 下恨天高幼苗可通过维持较高的 SOD 、 POD 活性来抵御盐害, 表现出一定的抗氧化能力。植物耐盐性的评价需要结合多种生长与生理指标的测定, 本试验通过恨天高幼苗形态和存活率、生长情况、叶片的电导率、丙二醛含量、叶绿素含量、 SOD 和 POD 活性等生理生化指标的变化可以初步判断: 恨天高幼苗耐受 NaHCO_3 胁迫的范围为 100~200 mmol/L。

参考文献:

[1] YOUSSEF K M, FAHMY A A, ESSAWY A M E, et al. Nutritional

3 讨论

试验结果表明, 不同浓度 NaHCO_3 处理对恨天

- studies on *Pennisetum americanum* and *Kochia indica* fed to sheep under saline conditions of Sinai, Egypt [J]. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 2009, 5 (1): 63-68.
- [2] 李玉波,许清涛,高 标,等. 脱硫石膏改良盐碱地对紫花苜蓿生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43 (3): 188-190.
- [3] 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.
- [4] 刘雪梅,胡希军,罗雪梅,等. 大叶榉秋季叶色变化类型和生长特性[J]. 经济林研究, 2014 (1): 121-125, 179.
- [5] 焦秀洁,何开跃,窦全琴. NaCl 胁迫对大叶榉种子萌发及幼苗生理指标的影响[J]. 林业科技开发, 2009 (4): 55-58.
- [6] 王志和,严亚斌,张 敏,等. 盐胁迫对大叶榉种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 江苏林业科技, 2009 (2): 15-18, 30.
- [7] 窦全琴,焦秀洁,张 敏,等. 土壤 NaCl 含量对榉树幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29 (10): 2063-2069.
- [8] 李长有. 盐碱地四种主要致害盐分对虎尾草胁迫作用的混合效应与机制[D]. 长春: 东北师范大学, 2009.
- [9] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- [10] 史树德,孙亚卿,魏 磊. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011: 126-127.
- [11] 郝建军,康宗利,于 洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 化工工业出版社, 2007: 68-72.
- [12] 王保平,董晓燕,董宽虎. 盐碱胁迫对紫花苜蓿幼苗生理特性的影响[J]. 草地学报, 2013, 21 (6): 1124-1129.
- [13] 李晓宇,蔺吉祥,李秀军,等. 羊草苗期对盐碱胁迫的生长适应及 Na^+ 、 K^+ 代谢响应[J]. 草业学报, 2013, 22 (1): 201-209.
- [14] TOMMASINO E, GRIFFA S, GRUNBERG K, et al. Malondialdehyde content as a potential biochemical indicator of tolerance *Cenchrus ciliaris* L. genotypes under heat stress treatment [J]. Grass and Forage Science, 2012, 67: 456-459.
- [15] CASTELLI S L, GRUNBERG K, MUÑOZ N, et al. Oxidative damage and antioxidant defenses as potential indicators of salt-tolerant *Cenchrus ciliaris* L. genotypes [J]. Flora, 2010, 205: 622-626.
- [16] 唐相亭. 雪柳对碱胁迫的生长及生理响应研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013.
- [17] 项锡娜,陈泰豪,吴月燕,等. 盐胁迫对红叶石楠鲁班生理生化特性及叶片显微结构的影响[J]. 植物生理学报, 2014, 50 (7): 917-924.
- [18] 郑丽锦,张学英,葛会波. 果树盐胁迫生理生化特性的研究进展[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26 (S1): 41-44.
- [19] 李学强,李秀珍. 盐碱胁迫对欧李叶片部分生理生化指标的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29 (11): 2288-2293.
- [20] 韩 冰,徐 刚,郭世荣,等. 不同浓度盐胁迫对黄瓜幼苗生长和生理代谢的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30 (1): 172-177.
- [21] INZE D, MONTAGA M V. Oxidative stress in plants [J]. Current Opinion in Biotechnology, 1995 (6): 153-158.
- [22] 李 宏,邓江宇,张 红,等. NaCl 胁迫对盐桦幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29 (11): 2281-2287.

(责任编辑:陈海霞)