

NaHCO₃ 胁迫对喜盐鸢尾和马蔺生长及解剖结构的影响

马晶晶¹, 黄苏珍^{2,①}, 原海燕², 黄 钢²

[1. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省·中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014]

摘要: 采用营养液培养法,研究了不同浓度(1、3、5和7 g·L⁻¹)NaHCO₃对喜盐鸢尾(*Iris halophila* Pall.)和马蔺(*I. lactea* var. *chinensis* (Fisch.) Koidz.)株高、叶数、叶宽、根长和根数的影响,并采用石蜡切片法观察了NaHCO₃胁迫后二者叶及根解剖结构的变化。结果表明:用1~7 g·L⁻¹NaHCO₃处理4周,喜盐鸢尾和马蔺的生长指标均持续增加,但各指标的周增长量差异较大且总体上随NaHCO₃浓度提高而降低。在1和3 g·L⁻¹NaHCO₃胁迫条件下,二者所有指标的周增长量均随胁迫时间延长而增加;而在5和7 g·L⁻¹NaHCO₃胁迫条件下,随胁迫时间延长,二者的株高和叶数及马蔺叶宽的周增长量均逐渐降低,二者根数及喜盐鸢尾叶宽的周增长量则逐渐增加,但二者根长的周增长量在第1至第3周逐渐增加、第4周则有所降低。多数情况下二者大部分指标的周增长量均低于对照,仅在1和3 g·L⁻¹NaHCO₃胁迫条件下部分时间段喜盐鸢尾株高、叶数、叶宽、根长和根数的周增长量高于对照;且总体上看,喜盐鸢尾各指标的周增长量均大于马蔺,二者地下部各生长指标的周增长量大于地上部。观察结果表明:二者的解剖结构有一定差异,马蔺叶肉细胞层数多于喜盐鸢尾;用7 g·L⁻¹NaHCO₃处理28 d,二者根和叶片的解剖结构均未有明显的损伤性变化,仅表现为根系和叶片表皮细胞壁加厚、根皮层内大部分薄壁细胞破裂形成通气组织。研究结果显示:较低浓度NaHCO₃对喜盐鸢尾和马蔺的生长无明显抑制作用,但较高浓度NaHCO₃则能延缓二者的生长,且对地上部的影响大于地下部;喜盐鸢尾和马蔺对NaHCO₃胁迫均有较强的耐性,且前者的耐性大于后者。

关键词: 喜盐鸢尾; 马蔺; NaHCO₃胁迫; 生长指标; 周增长量; 解剖结构

中图分类号: Q945.78; S682.1⁺⁹ 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2012)04-0055-07

Effects of NaHCO₃ stress on growth and anatomical structure of *Iris halophila* and *I. lactea* var. *chinensis* MA Jing-jing¹, HUANG Su-zhen^{2,①}, YUAN Hai-yan², HUANG Gang² (1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2012, 21(4): 55-61

Abstract: By means of nutrient solution culture method, effects of different concentrations (1, 3, 5 and 7 g·L⁻¹) of NaHCO₃ on seedling height, number and width of leaf, length and number of root of *Iris halophila* Pall. and *I. lactea* var. *chinensis* (Fisch.) Koidz. were studied, and anatomical structure change of leaf and root of two plants after NaHCO₃ stress was observed by paraffin section method. The results show that growth indexes of *I. halophila* and *I. lactea* var. *chinensis* all increase continuously during the process of 1-7 g·L⁻¹ NaHCO₃ stress for four weeks, but weekly increment of growth indexes has larger differences and generally decreases with rising of NaHCO₃ concentration. Under conditions of 1 and 3 g·L⁻¹ NaHCO₃ stress, weekly increment of all growth indexes of two plants increases with prolonging of stress time. While, under conditions of 5 and 7 g·L⁻¹ NaHCO₃ stress, with prolonging of stress time, weekly increment of seedling height and leaf number of two plants and leaf width of *I. lactea* var. *chinensis* all decreases gradually, and weekly increment of root number of two plants and leaf width of *I. halophila* all increases gradually, but weekly increment of root length of two plants all increases in the first to the third week and decreases in the fourth week. Weekly increment of most indexes of two

收稿日期: 2012-04-28

基金项目: 江苏省植物迁地保护重点实验室开放基金项目(迁201101)

作者简介: 马晶晶(1985—),女,河北迁安人,硕士研究生,主要从事观赏植物抗逆性研究。

①通信作者 E-mail: hsz1959@163.com

plants is lower than those of the control in most cases, only that of seedling height, leaf number and width, root length and number of *I. halophila* is higher than those of the control in some time period under conditions of 1 and 3 g · L⁻¹ NaHCO₃ stress. And basically, weekly increment of growth indexes of *I. halophila* is higher than that of *I. lactea* var. *chinensis*, and that of growth indexes of their underground part is higher than that of their above-ground part. The observation result shows that there is a certain difference in their anatomical structure, and layer number of mesophyll cells of *I. lactea* var. *chinensis* is more than that of *I. halophila*. After 7 g · L⁻¹ NaHCO₃ stress for 28 d, there is no obvious injure change in anatomical structure of root and leaf of two plants, only appearing that the wall of epidermal cells of root and leaf is thickened, and most parenchyma cells in root cortex are ruptured to form aerenchyma. It is suggested that NaHCO₃ stress with lower concentrations has no obvious inhibition to growth of *I. halophila* and *I. lactea* var. *chinensis*, but NaHCO₃ stress with higher concentrations may retard their growth, and the effect on their above-ground part is greater than that on their underground part. Both *I. halophila* and *I. lactea* var. *chinensis* have stronger resistance ability to NaHCO₃ stress, and the resistance of the former is larger than that of the latter.

Key words: *Iris halophila* Pall.; *Iris lactea* var. *chinensis* (Fisch.) Koidz.; NaHCO₃ stress; growth index; weekly increment; anatomical structure

盐胁迫和碱胁迫是具有不同作用机制的 2 种逆境胁迫^[1]。在碱性盐胁迫环境中,植物的生长不仅受到碱性盐离子的胁迫,也受到土壤高 pH 值的威胁^[2]。因而,NaHCO₃ 等碱性盐对植物的伤害作用往往比 NaCl 等中性盐复杂,伤害程度和生态破坏力也更大^[3-4]。全世界盐渍土面积约 9.5 × 10⁸ hm²,其中碱土面积约 5.6 × 10⁸ hm²^[5],所占比例大于盐土面积,但目前研究者多关注以 NaCl 为主的盐胁迫,有关 NaHCO₃ 等碱性盐胁迫的相关报道并不多见。

植物形态和生长情况是其对盐碱胁迫忍受程度的最直接表现,也是衡量植物耐盐性的可靠指标之一^[6]。有些植物在盐碱胁迫下叶片变黄、萎蔫,甚至死亡;而有些植物则可耐受一定程度的盐碱胁迫、维持正常生长,表现出较强的抗盐碱性^[7]。通常在盐碱环境中,耐性较差的植物细胞结构会出现明显损伤。而耐性较强的植物则形成特殊的适应结构(如盐腺、盐囊泡等),将吸入体内的大部分盐分排出体外^[8];有的植物叶片上还会出现乳突等结构^[9];一些植物根系外表皮细胞壁明显栓质化,可有效阻止难溶于水的盐分进入体内^[10];还有的植物根内皮层明显增厚,靠近内皮层的细胞排列紧密,可有效阻止 Na⁺ 运输^[11];还有一些植物在盐渍环境中叶表皮细胞排列紧密、细胞壁和角质层的厚度均增加,有效减少体内水分散失^[12]。总之,植物能在形态和细胞结构上形成对盐碱环境的适应性,因此,盐碱环境下植物形态和细胞结构的变化可为阐述植物抗盐碱机制提供依据。

喜盐鸢尾(*Iris halophila* Pall.) 和马蔺[*I. lactea*

var. *chinensis* (Fisch.) Koidz.] 均为鸢尾科(Iridaceae) 鸢尾属(*Iris* L.) 多年生草本宿根盐生植物,根系发达,不但具有较好的耐盐碱、干旱和抗病虫能力,还具有良好的水土保持性能和很高的园林绿化观赏价值,是经济与生态价值兼具的优良植物种类^[13-14]。

作者对不同浓度 NaHCO₃ 胁迫条件下喜盐鸢尾和马蔺部分生长指标的周变化进行了分析,并对其根系和叶片的解剖结构进行了观察,以期对这 2 种耐盐碱植物的深入研究和进一步开发利用提供实验基础。

1 材料和方法

1.1 材料

供试喜盐鸢尾和马蔺种子均为无性繁殖群体自然结实的种子。实验在南京中山植物园温室内进行。

1.2 方法

于 2011 年 3 月 15 日,将 2 种植物种子经自来水浸泡、保温催芽、露白后播于沙盘中,在温室自然条件下进行培养;待幼苗高约 15 cm 时挑选长势一致的植株置于 1/2 Hoagland 营养液中预培养 1 周;用含有不同浓度 NaHCO₃ 的 1/2 Hoagland 营养液进行胁迫处理,NaHCO₃ 以固体粉末形式直接加入 1/2 Hoagland 营养液中,营养液中 NaHCO₃ 的终浓度分别为 0 (CK)、1、3、5 和 7 g · L⁻¹。每处理 5 株,各重复 3 次,每处理共 15 株。在温室自然条件下进行培养,分别于胁迫 0、7、14、21 和 28 d 测定所有植株的株高、叶数、叶宽、根长和根数,并计算各指标的周增长量。其中,株高

为植株基部至最顶端叶片的高度;叶宽为植株最宽叶片的宽度,且每次测定选取相同叶片同一位置;根长为植株最长根的长度,且每次测定均选同一条根;叶数和根数则为每一单株所有叶片和根的数量。

分别于处理 28 d 时在对照和 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 处理组采集 2 种植物叶片中部及根部成熟区的相同部位,经固定、脱水、透明等处理后制成石蜡切片,用番红和固绿染色后置于 Nikon Eclipse 50i 光学显微镜下观察并拍照。对照及处理组每种植物每个部位 10 张制片,具体操作步骤参照文献[15]并稍有改动。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行数据处理,采用 Photoshop CS4 软件对图片进行适当处理。

2 结果和分析

2.1 NaHCO_3 胁迫对 2 种植物部分生长指标的影响

2.1.1 对株高周增长量的影响 在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺株高周增长量的变化见图 1。用不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫培养 4 周内,喜盐鸢尾和马蔺的株高均较前 1 周有不同程度的增加,且基本上随 NaHCO_3 质量浓度的提高二者株高的周增长量逐渐降低。在 1 和 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下,喜盐鸢尾株高的周增长量均随胁迫时间延长而增加,且在 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下第 2 和第 3 周的株高周增长量均高于对照,而第 1 和第 4 周的株高周增长量均低于对照,表明 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 在

一定时期内能促进喜盐鸢尾植株快速生长;在 5 和 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下,喜盐鸢尾株高的周增长量随胁迫时间延长逐渐降低,且均低于对照。在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下,马蔺株高的周增长量均低于对照或与对照持平;但在 1 和 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下,马蔺株高的周增长量随处理时间延长逐渐增大;而在 5 和 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下,其株高的周增长量则随胁迫时间延长逐渐减小。值得注意的是,即使在 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺的株高仍然不断增加,但增幅减小,且喜盐鸢尾株高的周增长量大于马蔺,说明较高浓度 NaHCO_3 能减缓喜盐鸢尾和马蔺植株的高生长,且喜盐鸢尾对 NaHCO_3 的耐性强于马蔺。

2.1.2 对叶数和叶宽周增长量的影响 在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺叶数和叶宽周增长量的变化见图 2 和图 3。用不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫培养 4 周,喜盐鸢尾和马蔺的叶数和叶宽均较前 1 周有不同程度的增加,二者叶数和叶宽的周增长量基本随 NaHCO_3 质量浓度提高而降低。

在 $1, 3$ 和 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下处理 1 周,喜盐鸢尾的叶数增长量均高于对照;而在同样条件下处理 2~4 周以及在其他胁迫条件下处理 1~4 周,喜盐鸢尾和马蔺叶数的周增长量均低于对照。在 1 和 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下,二者叶数的周增长量均随胁迫时间延长而增加;而在 5 和 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺叶数的周增长量均随胁迫时间延长而逐渐降低。

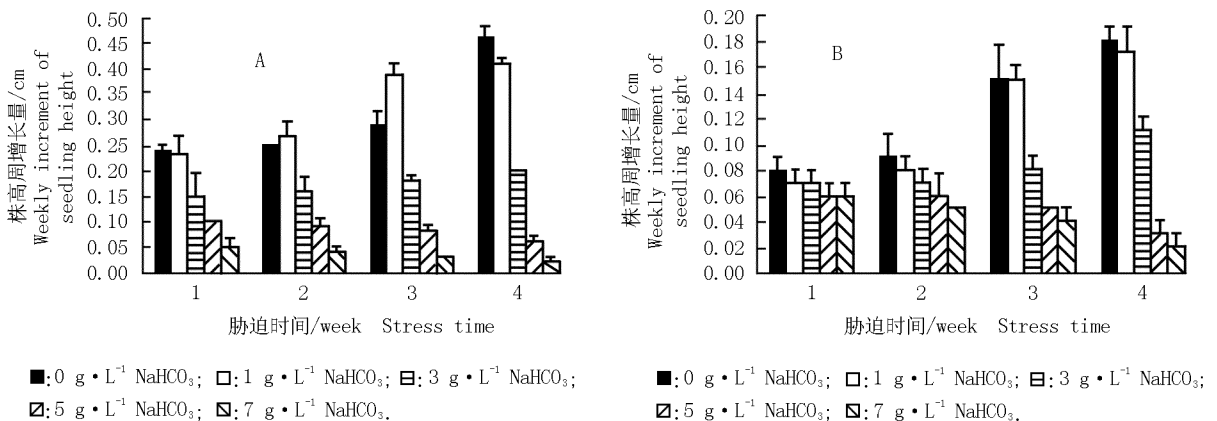


图 1 在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下喜盐鸢尾(A)和马蔺(B)株高周增长量的比较

Fig. 1 Comparison of weekly increment of seedling height of *Iris halophylla* Pall. (A) and *I. lactea* var. *chinensis* (Fisch.) Koidz. (B) under condition of NaHCO_3 stress with different concentrations

在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺叶宽随胁迫时间延长逐渐增加,但周增长量有较大差异。在 $1 \sim 7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 胁迫条件下,喜盐鸢尾叶宽的周增长量与前1周持平或增大。在1和 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 胁迫条件下,马蔺叶宽的周增长量均随胁迫时间延长而增加;而在5和 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 胁迫条件下则随胁迫时间延长逐渐降低。

比较而言,喜盐鸢尾的叶数和叶宽周增长量基本都高于马蔺。实验结果表明:在 $1 \sim 7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺的叶宽和叶数均不断增

加,仅表现为在较高浓度 NaHCO_3 胁迫条件下增加幅度减小,表明这2种植物对 NaHCO_3 胁迫均具有一定的耐性,并且喜盐鸢尾的耐性优于马蔺。

2.1.3 对根长和根数周增长量的影响 在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺根长和根数周增长量的变化见图4和图5。用不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫培养4周,喜盐鸢尾和马蔺的根长和根数均较前1周增加,但增加幅度有较大差异。

在1和 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺的根长周增长量随胁迫时间延长不断增加,但增

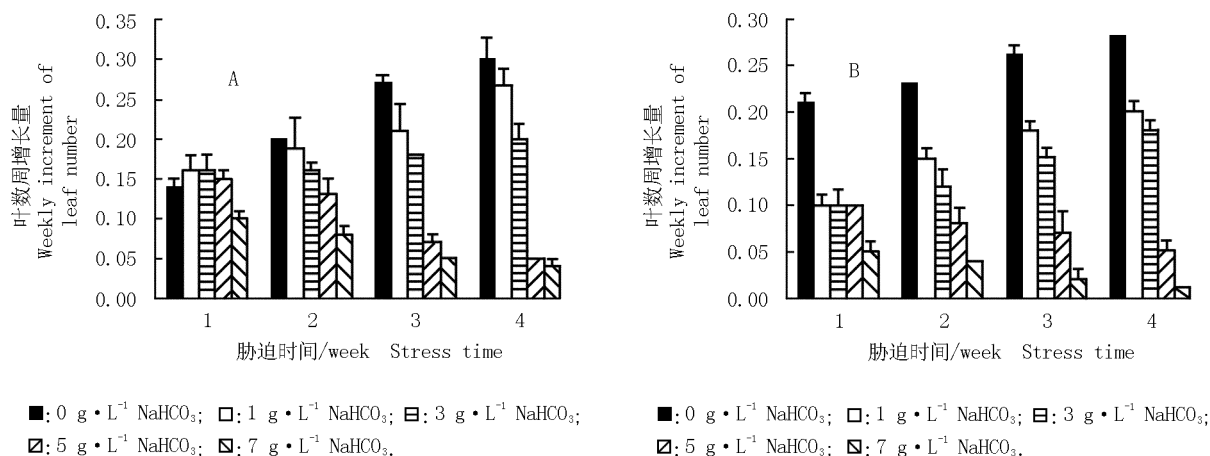


图2 在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下喜盐鸢尾 (A) 和马蔺 (B) 叶数周增长量的比较

Fig. 2 Comparison of weekly increment of leaf number of *Iris halophila* Pall. (A) and *I. lactea* var. *chinensis* (Fisch.) Koidz. (B) under condition of NaHCO_3 stress with different concentrations

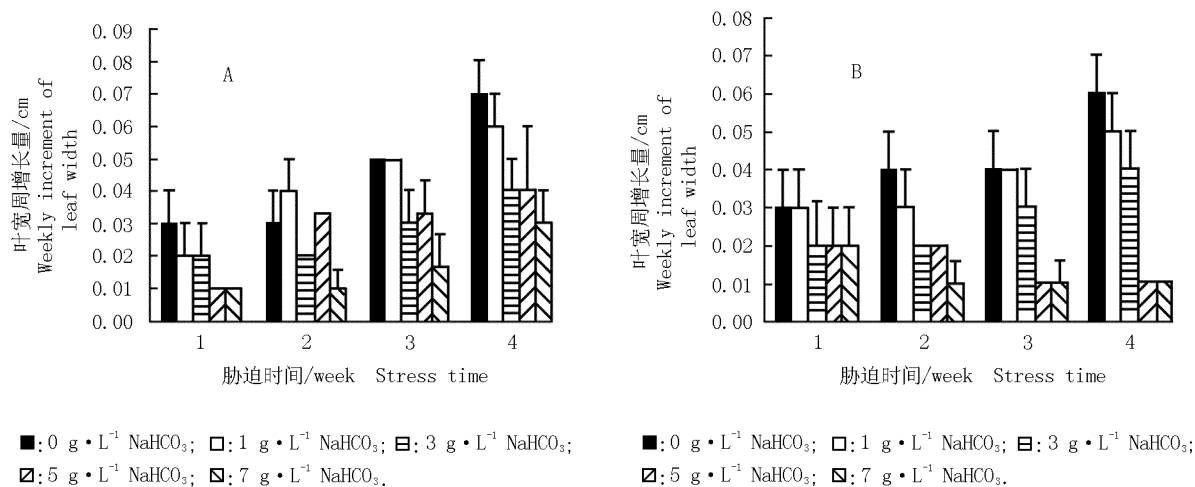


图3 在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下喜盐鸢尾 (A) 和马蔺 (B) 叶宽周增长量的比较

Fig. 3 Comparison of weekly increment of leaf width of *Iris halophila* Pall. (A) and *I. lactea* var. *chinensis* (Fisch.) Koidz. (B) under condition of NaHCO_3 stress with different concentrations

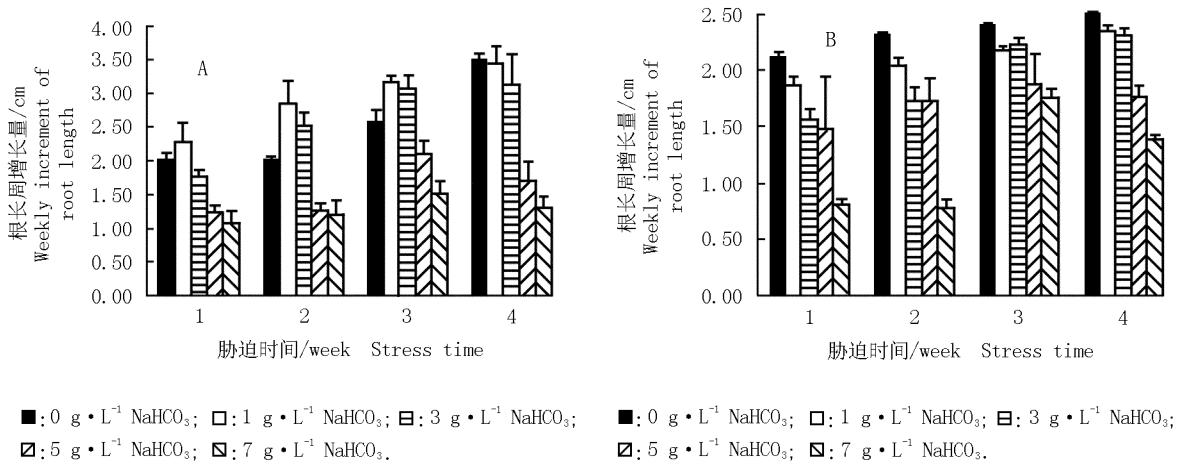


图4 在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下喜盐鸢尾 (A) 和马蔺 (B) 根长周增长量的比较
 Fig. 4 Comparison of weekly increment of root length of *Iris halophila* Pall. (A) and *I. lactea* var. *chinensis* (Fisch.) Koidz. (B) under condition of NaHCO_3 stress with different concentrations

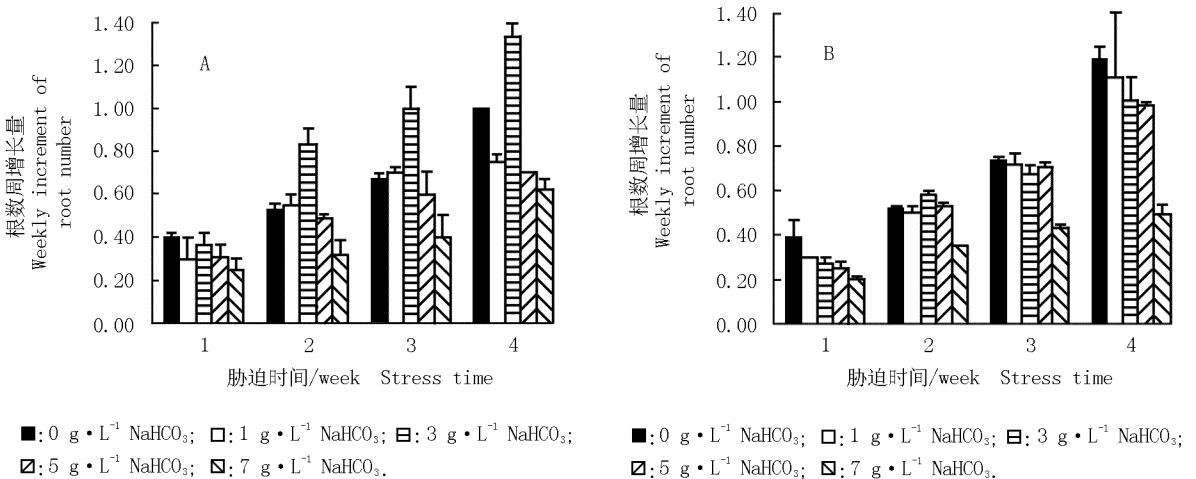


图5 在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下喜盐鸢尾 (A) 和马蔺 (B) 根数周增长量的比较
 Fig. 5 Comparison of weekly increment of root number of *Iris halophila* Pall. (A) and *I. lactea* var. *chinensis* (Fisch.) Koidz. (B) under condition of NaHCO_3 stress with different concentrations

幅有明显差异,且在 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下处理 1~3 周和在 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下处理 2 周和 3 周,喜盐鸢尾根长增长量均明显高于对照;而在 5 和 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下,2 种植物的根长增长量在处理的 1~3 周逐渐增加,处理第 4 周则有所降低;说明低浓度 NaHCO_3 在一定胁迫时期内对喜盐鸢尾根系伸长有一定的促进作用,但用较高浓度 NaHCO_3 胁迫处理较长时间则能延缓 2 种植物根长的生长。

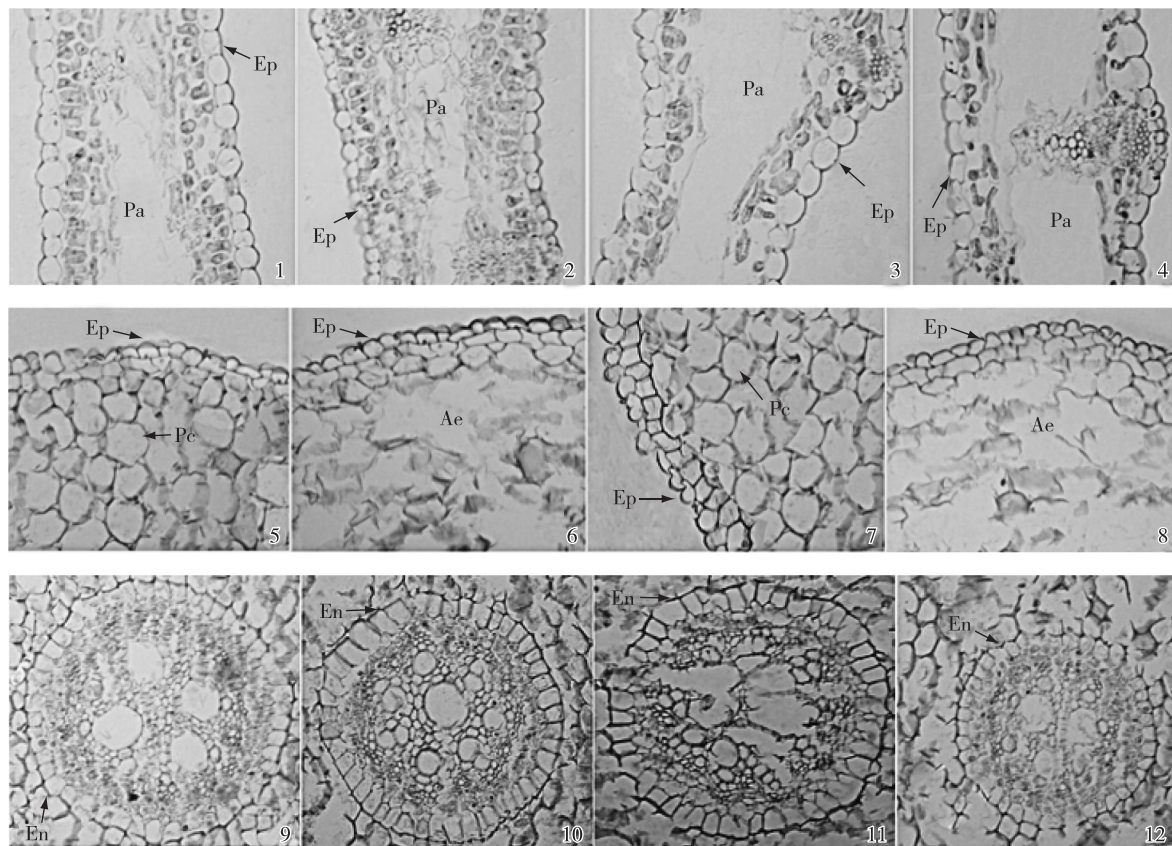
在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺的根数周增长量均随胁迫时间延长逐渐增加,但增幅有明显差异。在 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下

处理 2 周和 3 周、在 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下处理 2~4 周,喜盐鸢尾根数的增长量均明显高于对照;而在其他处理条件下各时段喜盐鸢尾根数的增长量均小于对照;且在各处理条件下 4 周内马蔺根数的增长量总体上低于对照。表明较低浓度 NaHCO_3 对喜盐鸢尾根数的增加无明显影响且有一定的促进作用,但 NaHCO_3 胁迫对马蔺根数的增加有一定的延缓作用。

2.2 NaHCO_3 胁迫对 2 种植物解剖结构的影响

在 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 条件下胁迫处理 28 d,喜盐鸢尾和马蔺叶片和根系解剖结构的变化见图 6。

由叶片解剖结构(图6-1~4)可见:马蔺叶肉细



Ep: 表皮细胞 Epidermal cell; Pa: 通气道 Parichnos; Pc: 薄壁细胞 Parenchyma cell; Ae: 通气组织 Aerenchyma; En: 内皮层细胞 Endodermal cell.

1-2. 马蔺叶片解剖结构 Leaf anatomical structure of *I. lactea* var. *chinensis*; 1. 对照组 Control group; 2. 处理组 Treatment group. 3-4. 喜盐鸢尾叶片解剖结构 Leaf anatomical structure of *I. halophila*; 3. 对照组 Control group; 4. 处理组 Treatment group. 5-6. 马蔺根表皮解剖结构 Anatomical structure of root epidermis of *I. lactea* var. *chinensis*; 5. 对照组 Control group; 6. 处理组 Treatment group. 7-8. 喜盐鸢尾根表皮解剖结构 Anatomical structure of root epidermis of *I. halophila*; 7. 对照组 Control group; 8. 处理组 Treatment group. 9-10. 马蔺根维管束结构 Structure of vascular bundle in root of *I. lactea* var. *chinensis*; 9. 对照组 Control group; 10. 处理组 Treatment group. 11-12. 喜盐鸢尾根维管束结构 Structure of vascular bundle in root of *I. halophila*; 11. 对照组 Control group; 12. 处理组 Treatment group.

图6 正常和 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下马蔺和喜盐鸢尾叶片及根系解剖结构的比较

Fig. 6 Comparison of anatomical structure of leaf and root of *Iris lactea* var. *chinensis* (Fisch.) Koidz. and *I. halophila* Pall. under $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ stress and normal conditions

胞相对发达,有2~4层,且排列紧密,在整个叶片中占据较大比例;喜盐鸢尾叶片的通气道所占比例较大,叶肉细胞1~2层,在叶片中所占比例相对较小。与对照相比,在 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下喜盐鸢尾和马蔺叶的表皮细胞排列紧密,染色加深,说明在胁迫条件下二者的叶表皮细胞出现细胞壁加厚现象。

由根系解剖结构(图6-5~12)可见:喜盐鸢尾和马蔺的成熟根均为肉质根,有2层表皮细胞(图6-5~8);在 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下,二者根的表皮细胞壁加厚,皮层中薄壁细胞几乎全部破裂形成通气组织(图6-6,8),且内皮层细胞染色加深,但维管束结构未发生明显变化(图6-10,12)。

观察结果表明:在 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 胁迫条件下喜

盐鸢尾和马蔺的叶片和根系解剖结构均没有受到明显破坏,仅叶片及根表皮细胞的细胞壁增厚,这一变化也许是这2种植物抵御 NaHCO_3 胁迫的机制之一。

3 讨论和结论

植物可通过改变自身的组织结构和外部形态以及调节机体的生理机能等实现对盐碱胁迫环境的适应^[16],即植物的抗逆性是形态和生理适应性的综合表现,前者包括植株形态和组织细胞结构的变化。本研究中,在不同质量浓度 NaHCO_3 胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺植株的株高、叶数、叶宽、根长和根数均有不同程度的增长,并且大部分指标低于对照,说明2种

植物的整体植株形态受到一定影响,但并未发生明显的伤害性变化。解剖结构观察结果表明:在7 g·L⁻¹ NaHCO₃胁迫条件下喜盐鸢尾和马蔺叶和根的解剖结构均未受到明显损伤,说明喜盐鸢尾和马蔺对不高于7 g·L⁻¹的NaHCO₃胁迫均具有较强的耐性。

植物根系不但是吸收养分和水分的器官,还是同化、转化或合成多种物质的重要器官^[17],其生长发育和活力状况对植物的耐盐能力至关重要^[18]。在逆境条件下,植物能够感应外界胁迫,并通过自身的调节系统使之在生理和形态上发生适应性反应,以增强植物在胁迫条件下的生存能力^[19]。根系表皮细胞是植物对盐碱环境的第1道防线,在盐碱环境中,根系反应敏感,更容易对土壤变化作出相应的反应^[20]。本研究中,在不同浓度NaHCO₃胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺根系的生长状况与对照的差异总体上小于地上部分,说明二者根系的生长优于地上部分。

从根解剖结构来看,在7 g·L⁻¹NaHCO₃胁迫条件下,喜盐鸢尾和马蔺根系的表皮细胞壁变厚,不但能阻止根系组织内水分向外流失,还能阻止外界大量的盐离子进入根系^[21],首先从最外层阻止部分盐碱离子对植物根系的伤害。根内皮层也有一定程度的加厚,同样从上述两方面发挥作用,相对减少了通过维管束向地上部运输的离子数量,进而减轻盐碱胁迫对地上部的伤害^[21]。喜盐鸢尾和马蔺根系内大量薄壁细胞破裂形成通气组织,减少了氧气从地上部向渍水或缺氧根系运输的阻力,从而保证了根代谢过程中对氧气的需求。通气组织对于湿生和盐生植物的生长具有重要意义,是植物对低氧环境的主要适应策略之一^[22],发达的通气组织也是盐生植物的重要解剖学特征之一。因而推测根系内薄壁细胞破裂形成通气组织可能是喜盐鸢尾和马蔺耐盐碱的机制之一。

叶是植物进行光合作用产生能量的重要器官,也是植物对环境变化最敏感的器官。马蔺的叶肉细胞较喜盐鸢尾发达,不但有利于叶片进行充分的光合作用以产生充足能量,还有利于各器官生物量的不断增大;而喜盐鸢尾叶片的通气道所占比例较大,有利于植株进行呼吸作用。虽然喜盐鸢尾和马蔺为同科同属植物,但叶的解剖结构存在一定差异,说明二者在解剖结构上可能具有不同的耐盐碱机制。

参考文献:

[1] 颜宏,赵伟,盛艳敏,等. 碱胁迫对羊草和向日葵的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1497-1501.

- [2] HARTUNG W, LEPORT L, RATCLIFFE R G, et al. Abscisic acid concentration, root pH and anatomy do not explain growth differences of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and lupin (*Lupinus angustifolius* L.) on acid and alkaline soils [J]. *Plant and Soil*, 2002, 240: 191-199.
- [3] 石德成,殷丽娟. 盐(NaCl)与碱(Na₂CO₃)对星星草胁迫作用的差异[J]. 植物学报, 1993, 35(2): 144-149.
- [4] MUNNS R. Genes and salt tolerance: bringing them together[J]. *New Phytologist*, 2005, 167: 645-663.
- [5] 迟春明,王志春. 磷石膏改善苏打碱土理化性质效果分析[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2373-2375.
- [6] 陈竹生,聂华堂,计玉,等. 柑桔种质的耐盐性鉴定[J]. 园艺学报, 1992, 19(4): 289-295.
- [7] 吴凯,周晓阳. 环境胁迫对植物超微结构的影响[J]. 山东林业科技, 2007(3): 79-83.
- [8] 周三,韩军丽,赵可夫. 泌盐盐生植物研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(5): 496-501.
- [9] 公维昌,庄丽,赵文勤,等. 两种盐生植物解剖结构的生态适应性[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6764-6771.
- [10] 陆静梅,李建东,景德章. 星星草 *Puccinellia tenuiflora* (Turcz.) Scribn. et Merr. 解剖研究[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 1994(1): 63-66.
- [11] 韦存虚,张军,王建军,等. 星星草营养器官适应盐胁迫的结构特征[J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(1): 51-56.
- [12] WAISEL Y. *Biology of Halophytes* [M]. New York: Academic Press, 1972.
- [13] 张明轩,黄苏珍,绳仁立,等. NaCl胁迫对马蔺生长及生理生化指标的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20(1): 46-52.
- [14] 韩玉林. 铅与盐胁迫对喜盐鸢尾生长及生理抗性的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(8): 1649-1653.
- [15] 李和平. 植物显微技术[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2009.
- [16] 白文波,李品芳. 盐胁迫对马蔺生长及K⁺、Na⁺吸收与运输的影响[J]. 土壤, 2005, 37(4): 415-420.
- [17] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 20-35, 114.
- [18] 王素平,郭世荣,李璟,等. 盐胁迫对黄瓜幼苗根系生长和水分利用的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1883-1888.
- [19] 冯锋,张福锁,杨新泉. 植物营养研究: 进展与展望[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 12-21.
- [20] LYNCH J. Root architecture and plant productivity [J]. *Plant Physiology*, 1995, 109: 7-13.
- [21] 王桂芹. 不同生态环境马蔺植物体解剖结构比较[J]. 内蒙古民族大学学报: 自然科学版, 2002, 17(2): 127-129.
- [22] COLMER T D. Aerenchyma and an inducible barrier to radial oxygen loss facilitate root aeration in upland, paddy and deep-water rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Annals of Botany*, 2003, 91: 301-309.

(责任编辑: 佟金凤)