

# NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗生长的影响

绳仁立<sup>1,2</sup>, 佟海英<sup>2,①</sup>, 柴 翠<sup>1</sup>, 黄苏珍<sup>2</sup>

[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:** 采用基质培养法, 用含 3.0、3.5、4.0、4.5 和 5.0 g · L<sup>-1</sup> NaCl 的 Knop 营养液进行胁迫处理, 对 5 个甜菊 (*Stevia rebaudiana* Bertoni) 品种幼苗的生长指标及其耐盐性进行了分析和评价。结果表明: 在 NaCl 胁迫条件下, 5 个品种幼苗地上部分和地下部分的干质量、株高、根长、叶片数、叶片长度、叶片宽度以及主茎节数和分枝数等生长指标均低于对照, 且随 NaCl 质量浓度的提高总体上呈逐渐降低的趋势, 但不同品种各指标的降幅存在明显差异。NaCl 胁迫对‘中山 3 号’和‘守田 2 号’幼苗地上部分和地下部分的干质量影响较小, 对‘中山 2 号’和‘守田 3 号’幼苗地上部分和地下部分的干质量有较大影响。在 NaCl 胁迫条件下, 5 个甜菊品种幼苗的根冠比均大于对照; ‘中山 2 号’和‘守田 3 号’幼苗的根冠比随 NaCl 质量浓度的提高呈先增大后减小的趋势, 并在 4.0 g · L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫条件下达到最大; 其他 3 个品种的根冠比均随 NaCl 质量浓度的提高呈现缓慢增加的趋势。NaCl 胁迫对根长的抑制作用小于株高, 对叶片长度的影响小于叶片宽度。相关性分析结果表明, 甜菊幼苗的叶片数和分枝数与地上部分干质量的相关性显著, 是导致地上部分干质量下降的重要原因。根据实验结果, 供试甜菊品种按耐盐性从强至弱依次排序为‘中山 3 号’、‘守田 2 号’、‘中山 4 号’、‘守田 3 号’和‘中山 2 号’, 其中‘中山 3 号’和‘守田 2 号’耐盐性较强且各项生长指标均相对良好, 可作为优良的甜菊耐盐种质资源进行深入研究。

**关键词:** 甜菊; 品种; NaCl 胁迫; 生长指标; 耐盐性

中图分类号: Q945.78; S682.1<sup>+</sup>9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2010)02-0060-08

**Effect of NaCl stress on seedling growth of different cultivars of *Stevia rebaudiana*** SHENG Ren-li<sup>1,2</sup>, TONG Hai-ying<sup>2,①</sup>, CHAI Cui<sup>1</sup>, HUANG Su-zhen<sup>2</sup> (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.* 2010, **19**(2): 60-67

**Abstract:** Using Knop nutrient solution containing 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 and 5.0 g · L<sup>-1</sup> NaCl as treating solutions, NaCl stress treatments were conducted by matrix culture method, and some growth indexes and salt tolerance of seedlings of five cultivars of *Stevia rebaudiana* Bertoni were analyzed and evaluated. The results show that growth indexes of seedlings of all cultivars, such as dry weight of above-ground and under-ground parts, seedling height, root length, leaf number, leaf length and width, node number of main stem and ramus number, all are lower in NaCl stress condition than those in the control, and generally appear gradually decreasing trend with NaCl concentration rising, but there are obvious differences in decreasing range of all indexes among different cultivars. NaCl stress has a relatively small effect on dry weight of above-ground and under-ground parts of ‘Zhongshan No. 3’ and ‘Shoutian No. 2’, and has a relatively great effect on that of ‘Zhongshan No. 2’ and ‘Shoutian No. 3’. Root/shoot ratio of seedlings is all higher in NaCl stress condition than that in the control. In which, root/shoot ratio of ‘Zhongshan No. 2’ and ‘Shoutian No. 3’ seedlings appears the trend of first increasing and then decreasing with NaCl concentration rising and reaches the highest in 4.0 g · L<sup>-1</sup> NaCl stress, while that of other three cultivars appears slowly increasing trend with NaCl concentration rising. The inhibition of NaCl stress to root length is smaller than that to seedling height, and that to leaf length is smaller than

收稿日期: 2009-10-27

基金项目: 江苏省科技支撑计划项目(BE2009322)

作者简介: 绳仁立(1984—), 男, 山东枣庄人, 硕士研究生, 主要从事观赏及经济植物抗性评价与利用研究。

①通信作者 E-mail: tonghaiying@yahoo.com.cn

that to leaf width. The result of correlation analysis shows that correlation of leaf number and ramus number with dry weight of above-ground part of *S. rebaudiana* seedling is significant, indicating the two indexes are important reasons leading to dry weight of above-ground part decreasing in NaCl stress condition. On this basis, the five cultivar's order of salt tolerance from strong to weak is 'Zhongshan No. 3', 'Shoutian No. 2', 'Zhongshan No. 4', 'Shoutian No. 3' and 'Zhongshan No. 2'. In which, both of 'Zhongshan No. 3' and 'Shoutian No. 2' have strong salt tolerance and relatively good growth indexes and can be further researched as *S. rebaudiana* germplasm resources with excellent salt tolerance.

**Key words:** *Stevia rebaudiana* Bertoni; cultivar; NaCl stress; growth index; salt tolerance

甜菊(*Stevia rebaudiana* Bertoni)又名甜叶菊、甜草,为菊科(Compositae)多年生草本植物,原产于巴拉圭、巴西等地,甜菊的茎、叶中含有很高的甜味成分,在原产地已有数百年的食用历史。研究证实,甜菊茎和叶中所含的甜味成分甜菊糖苷不仅甜度高、热量低,而且对高血糖和肥胖症等具有一定的辅助治疗及保健功效,因此,甜菊已成为继甘蔗(*Saccharum officinarum* L.)和甜菜(*Beta vulgaris* L.)之后最具有开发前途的天然糖源,并被广泛应用于食品、饮料和医药等行业<sup>[1-2]</sup>。20世纪70年代,甜菊被引入并开始在中国栽培种植,目前中国的甜菊栽培面积已经达到2万余公顷,是世界甜菊原料生产大国。在耕地面积有限的情况下,甜菊栽培面积的继续扩大势必给粮食耕作面积的稳定带来威胁。

目前,全国有2千多万公顷的盐碱地和7百多万公顷的盐渍化土地,约为可耕地面积的20%<sup>[3]</sup>,此外,还有大面积的沿海滩涂,且其面积仍在继续扩大,这些土地是我国重要的后备土地资源,具有巨大的开发潜力和广阔的开发前景。已有的研究表明,种植北美海蓬子(*Salicornia bigelovii* Torr.)<sup>[4]</sup>、菊芋(*Helianthus tuberosus* L.)<sup>[5]</sup>和海滨锦葵[*Kosteletzkya virginica* (L.) Presl]<sup>[6-7]</sup>等耐盐经济植物(作物)是利用滩涂及盐碱地的有效途径<sup>[8]</sup>。

甜菊是一种新型的糖料经济作物,如能利用滩涂及盐碱地等非农用耕地进行种植,必然将推动其种植面积的进一步扩大,对盐碱地及沿海滩涂的开发利用具有重要的意义,但目前对甜菊耐盐碱性的研究国内外鲜见报道。为此,作者采用基质培养法,以5个甜菊栽培品种为实验材料,对NaCl胁迫条件下甜菊不同品种幼苗的生长状况进行了研究,旨在筛选出甜菊耐盐品种并为耐盐甜菊优良品种的培育提供基础资料,也为在盐碱地及沿海滩涂推广种植甜菊提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试的5个甜菊品种分别为'中山2号'、'中山3号'、'中山4号'、'守田2号'和'守田3号'。其中,前3个品种为江苏省·中国科学院植物研究所(南京中山植物园)培育的甜菊品种,后2个品种来源于安徽省明光市莲花甜菊有限公司(引自日本)。

### 1.2 方法

1.2.1 甜菊幼苗预培养方法 培养基质为珍珠岩和河沙按体积比2:1均匀混合的复合基质。2009年5月初选取茎粗、苗高和生根数基本一致的甜菊不同品种扦插幼苗,移栽至盛有等量复合基质的瓦盆(高20 cm、直径15 cm)中,置于江苏省·中国科学院植物研究所玻璃温室内,用1/2Knop营养液<sup>[9]</sup>进行预培养。

1.2.2 NaCl胁迫处理方法 经过一段时间的预培养后,在Knop营养液中加入一定量的固体NaCl,使Knop营养液中NaCl的最终质量浓度分别达到3.0、3.5、4.0、4.5和5.0 g·L<sup>-1</sup>,将NaCl处理液以均匀浇灌的方式足量加入栽培基质中,视天气情况3~4 d浇灌1次,以不添加NaCl的Knop营养液为对照。每盆4株,每处理3盆(即为3次重复)。NaCl胁迫处理30 d后测量各项生长指标。

1.2.3 生长指标测定方法 NaCl胁迫处理30 d后进行生长指标的测定。先分别统计各处理组甜菊单株的叶片数以及主茎上的所有分枝数和节数;然后从植株茎基部至顶端等距离划分成上、中、下3部分,从每部分中任选3片叶(共9片叶),用直尺分别测量每片叶最长及最宽处的长度,其平均值即为叶片长度和叶片宽度;每个处理任意选取9株苗,用直尺分别测量株高和根长,结果取平均值。取每一处理的所有植株,用自来水冲洗干净,再用去离子水洗净全株并吸干表面水分,将地上部分和地下部分分开,分别置

于 110 °C 烘箱中杀青 15 min, 再于 80 °C 干燥箱中烘干至恒质量, 分别称取干质量并计算根冠比, 计算公式为: 根冠比 = 地下部分干质量 / 地上部分干质量。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 和 SPSS 11.5 软件对实验数据进行统计分析, 并进行相关性和差异显著性分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗干质量的影响

在不同质量浓度 NaCl 胁迫条件下, 5 个甜菊品种幼苗地上部分和地下部分的干质量分别见表 1 和表 2。由表 1 可以看出, 随 NaCl 质量浓度的提高, 不同甜菊品种幼苗的地上部分干质量均呈逐渐下降的趋势, 且各品种间差异明显。在 3.0 ~ 5.0 g · L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫条件下, ‘中山 2 号’、‘中山 4 号’和‘守田 3 号’幼苗地上部分的干质量均显著低于对照 ( $P < 0.05$ )。在 3.0 ~ 3.5 g · L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫条件下, ‘守田 2 号’幼苗地上部分的干质量也低于对照, 但差异不

显著, 而当 NaCl 质量浓度提高至 4.0 ~ 5.0 g · L<sup>-1</sup> 时, ‘守田 2 号’幼苗地上部分的干质量显著低于对照; 在 3.0 ~ 4.0 g · L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫条件下, ‘中山 3 号’幼苗地上部分的干质量也低于对照, 但差异不显著; 当 NaCl 质量浓度提高至 4.5 ~ 5.0 g · L<sup>-1</sup> 时, 尽管‘中山 3 号’幼苗地上部分的干质量也显著低于对照, 但降幅相对最小。在 5.0 g · L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫条件下, ‘中山 3 号’和‘守田 2 号’幼苗地上部分干质量分别比对照降低了 38.10% 和 53.13%, 降幅最小; ‘中山 4 号’幼苗地上部分的干质量则比对照降低了 63.60%, 降幅次之; 而‘中山 2 号’和‘守田 3 号’幼苗地上部分的干质量分别比对照降低了 72.68% 和 68.83%, 降幅最大。

由表 2 可见, 在 3.0 g · L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫条件下, 除‘中山 3 号’幼苗地下部分的干质量比对照略有增加外, 其他品种幼苗的地下部分干质量均较对照不同程度降低, 其中, ‘中山 2 号’和‘守田 3 号’地下部分干质量显著低于对照。随 NaCl 胁迫浓度的提高 (3.5 ~ 5.0 g · L<sup>-1</sup>), 各品种幼苗地下部分的干质量均逐渐

表 1 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗地上部分干质量的影响 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Effect of NaCl stress on dry weight of above-ground part of seedling of different cultivars of *Stevia rebaudiana* Bertoni ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

NaCl 质量浓度/g · L <sup>-1</sup> Conc. of NaCl	地上部分干质量/g Dry weight of above-ground part				
	中山 2 号 Zhongshan No. 2	中山 3 号 Zhongshan No. 3	中山 4 号 Zhongshan No. 4	守田 2 号 Shoutian No. 2	守田 3 号 Shoutian No. 3
0.0 (CK)	0.465 ± 0.04a	0.420 ± 0.03a	0.684 ± 0.07a	0.943 ± 0.08a	0.446 ± 0.06a
3.0	0.352 ± 0.02b	0.399 ± 0.03a	0.526 ± 0.05b	0.817 ± 0.08a	0.332 ± 0.05b
3.5	0.243 ± 0.02c	0.396 ± 0.03a	0.431 ± 0.04c	0.753 ± 0.08a	0.279 ± 0.05c
4.0	0.240 ± 0.02c	0.386 ± 0.03ab	0.396 ± 0.04c	0.654 ± 0.06b	0.245 ± 0.03d
4.5	0.208 ± 0.01cd	0.282 ± 0.02b	0.267 ± 0.03cd	0.462 ± 0.06c	0.238 ± 0.03d
5.0	0.127 ± 0.01e	0.260 ± 0.03bc	0.249 ± 0.04d	0.442 ± 0.04c	0.139 ± 0.03e

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

表 2 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗地下部分干质量的影响 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Effect of NaCl stress on dry weight of under-ground part of seedling of different cultivars of *Stevia rebaudiana* Bertoni ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

NaCl 质量浓度/g · L <sup>-1</sup> Conc. of NaCl	地下部分干质量/g Dry weight of under-ground part				
	中山 2 号 Zhongshan No. 2	中山 3 号 Zhongshan No. 3	中山 4 号 Zhongshan No. 4	守田 2 号 Shoutian No. 2	守田 3 号 Shoutian No. 3
0.0 (CK)	0.071 ± 0.02a	0.055 ± 0.02a	0.101 ± 0.03a	0.088 ± 0.02a	0.107 ± 0.03a
3.0	0.045 ± 0.01b	0.060 ± 0.02a	0.086 ± 0.02ab	0.082 ± 0.02a	0.085 ± 0.02b
3.5	0.039 ± 0.01b	0.052 ± 0.02a	0.056 ± 0.02c	0.070 ± 0.01ab	0.067 ± 0.02c
4.0	0.036 ± 0.01bc	0.049 ± 0.02ab	0.039 ± 0.01cd	0.053 ± 0.01b	0.066 ± 0.01c
4.5	0.032 ± 0.01c	0.042 ± 0.02b	0.027 ± 0.01d	0.052 ± 0.01c	0.064 ± 0.01c
5.0	0.015 ± 0.01d	0.032 ± 0.01c	0.023 ± 0.01d	0.048 ± 0.01c	0.036 ± 0.01d

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

降低,其中,‘中山2号’、‘中山4号’和‘守田3号’幼苗地下部分干质量均显著低于对照,而‘中山3号’和‘守田2号’地下部分干质量仅在受到 $4.0 \sim 5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 胁迫处理后显著低于对照,且降幅均比其他3个品种小。

实验结果显示, $3.0 \sim 5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 胁迫处理对甜菊不同品种幼苗的生长有不同程度的抑制作用,其中,甜菊品种‘中山3号’和‘守田2号’耐 NaCl 胁迫的能力相对较强,其地上部分和地下部分的生长量受 NaCl 胁迫影响较小,而‘中山2号’和‘守田3号’耐 NaCl 胁迫的能力相对较弱,NaCl 胁迫对其地上部分和地下部分的生长量有较大的影响。

## 2.2 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗根冠比的影响

在 NaCl 胁迫条件下甜菊不同品种幼苗的根冠比变化见表3。由表3可看出,随 NaCl 胁迫浓度的提高,甜菊不同品种幼苗的根冠比均大于对照,但不同品种间存在一定差异。其中,‘中山2号’和‘守田3

号’根冠比的变化趋势相近,在 $3.0 \sim 4.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 胁迫处理条件下均随 NaCl 质量浓度的提高逐渐增大,NaCl 质量浓度超过 $4.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,根冠比逐渐减小;在 $4.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 胁迫条件下,‘中山2号’和‘守田3号’根冠比达到峰值,分别为0.188和0.306。其他3个品种的根冠比则均随 NaCl 胁迫浓度的提高呈现缓慢增大的趋势。

一般来说,在逆境胁迫条件下植物根冠比的变化趋势能够在一定程度上反映植物抗逆性的差异,因而,推测‘中山3号’、‘中山4号’和‘守田2号’幼苗根冠比的缓慢增大可能与它们具有较强的耐盐性有一定的相关性。而‘中山2号’和‘守田3号’根冠比随 NaCl 质量浓度的提高表现出的“先增大后减小”的现象,则与高质量浓度 NaCl 胁迫对这2个品种的伤害加重、进而影响植株地上部分干物质的积累有关,也间接说明了这2个品种对 NaCl 胁迫较敏感。

表3 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗根冠比的影响( $\bar{X} \pm SD$ )

Table 3 Effect of NaCl stress on root/shoot ratio of seedling of different cultivars of *Stevia rebaudiana* Bertoni ( $\bar{X} \pm SD$ )

NaCl 质量浓度/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ Conc. of NaCl	根冠比 Root/shoot ratio				
	中山2号 Zhongshan No. 2	中山3号 Zhongshan No. 3	中山4号 Zhongshan No. 4	守田2号 Shoutian No. 2	守田3号 Shoutian No. 3
0.0 (CK)	0.079±0.02	0.097±0.02	0.080±0.02	0.062±0.02	0.180±0.05
3.0	0.089±0.02	0.119±0.03	0.094±0.03	0.096±0.03	0.219±0.05
3.5	0.140±0.03	0.125±0.04	0.097±0.04	0.097±0.03	0.304±0.09
4.0	0.188±0.05	0.142±0.06	0.146±0.06	0.100±0.03	0.306±0.08
4.5	0.140±0.03	0.149±0.06	0.154±0.07	0.107±0.03	0.272±0.07
5.0	0.120±0.02	0.182±0.06	0.170±0.05	0.127±0.04	0.230±0.06

## 2.3 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗株高和根长的影响

在 NaCl 胁迫条件下5个甜菊品种幼苗的株高和根长分别见表4和表5。结果显示,甜菊不同品种幼苗的株高和根长均随 NaCl 质量浓度的提高呈逐渐下降的趋势。

由表4可见,在 $3.0 \sim 5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 胁迫条件下,‘中山2号’、‘守田3号’和‘守田2号’幼苗的株高均显著小于对照( $P < 0.05$ ),其中在 $3.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 胁迫条件下前2个品种幼苗的株高降幅最大,分别达到了15.97%和14.85%。当 NaCl 质量浓度提高至 $4.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,‘中山4号’幼苗的株高也显著小于对照;只有受到高于 $4.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 胁迫时‘中山3号’幼苗的株高才显著小于对照。在 $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl

胁迫条件下,‘中山2号’和‘守田3号’幼苗的株高降幅仍最大,分别较对照下降了71.30%和58.13%;‘中山4号’幼苗的株高也较对照下降了44.06%;而‘守田2号’和‘中山3号’幼苗的株高降幅最小,分别较对照下降了38.74%和38.93%。

由表5可看出,在 $3.0 \sim 5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 胁迫条件下,5个品种幼苗的根长均小于对照,但在 $3.0 \sim 4.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 胁迫处理组中不同品种根长与对照的差异显著性各有不同。而在 $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 胁迫条件下,5个品种幼苗的根长均显著小于对照,其中,‘中山4号’幼苗根长的下降幅度较小,其他4个品种幼苗的根长均急剧下降,以‘守田3号’和‘中山2号’幼苗根长的下降幅度最大,降幅分别达到47.15%和47.31%。综合比较后显示,不同质量浓度 NaCl 胁迫

表 4 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗株高的影响 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 4 Effect of NaCl stress on seedling height of different cultivars of *Stevia rebaudiana* Bertoni ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

NaCl 质量浓度/ $g \cdot L^{-1}$ Conc. of NaCl	株高/cm Seedling height				
	中山 2 号 Zhongshan No. 2	中山 3 号 Zhongshan No. 3	中山 4 号 Zhongshan No. 4	守田 2 号 Shoutian No. 2	守田 3 号 Shoutian No. 3
0.0 (CK)	23.80±0.60a	28.10±1.16a	30.80±0.91a	34.77±1.45a	26.27±0.64a
3.0	20.00±0.29b	27.33±0.88a	29.60±1.30a	32.08±1.67b	22.37±1.13b
3.5	17.80±0.60b	26.27±2.35a	27.00±1.85a	29.74±1.42c	19.10±1.07bc
4.0	16.00±0.67bc	24.53±2.00a	25.80±0.55b	28.36±1.48c	18.90±1.96bc
4.5	10.60±0.70d	21.83±1.97b	19.77±2.56b	24.87±0.78d	18.05±1.95c
5.0	6.83±1.99e	17.16±1.39b	17.23±1.21b	21.30±1.04d	11.00±0.76d

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

表 5 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗根长的影响 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 5 Effect of NaCl stress on root length of seedling of different cultivars of *Stevia rebaudiana* Bertoni ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

NaCl 质量浓度/ $g \cdot L^{-1}$ Conc. of NaCl	根长/cm Root length				
	中山 2 号 Zhongshan No. 2	中山 3 号 Zhongshan No. 3	中山 4 号 Zhongshan No. 4	守田 2 号 Shoutian No. 2	守田 3 号 Shoutian No. 3
0.0 (CK)	8.73±0.12a	8.83±0.33a	12.37±0.41a	13.10±2.42a	13.00±1.25a
3.0	7.97±0.33b	8.53±0.23a	12.00±1.32ab	12.75±1.98ab	10.83±1.59ab
3.5	7.90±0.35b	7.50±0.46a	9.93±0.35abc	12.67±2.02ab	10.96±0.26ab
4.0	7.13±0.19c	7.85±0.32a	9.50±0.32bc	11.17±1.86ab	8.90±0.80bc
4.5	6.20±0.22d	7.29±0.11ab	8.97±0.29c	10.73±0.90ab	8.80±0.31bc
5.0	4.60±0.35e	5.97±0.91b	8.78±1.17c	8.20±0.65b	6.87±0.29c

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

对供试 5 个甜菊品种幼苗根长生长的抑制作用小于株高。

## 2.4 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗叶片生长状态的影响

以叶片数、叶片长度及宽度作为衡量叶片生长状态的指标,对不同质量浓度 NaCl 胁迫条件下甜菊不同品种幼苗叶片生长状态进行对比,结果见表 6、表 7 和表 8。

由表 6 可看出,随 NaCl 胁迫浓度的提高,甜菊不

同品种幼苗的叶片数均呈逐渐下降的趋势。在较低质量浓度( $3.0 g \cdot L^{-1}$ ) NaCl 胁迫条件下,除‘中山 3 号’外,其他 4 个品种幼苗的叶片数均显著低于对照 ( $P<0.05$ )。在  $5.0 g \cdot L^{-1}$  NaCl 胁迫条件下,‘中山 2 号’和‘守田 3 号’的叶片数下降幅度最大,较对照分别下降了 80.76% 和 75.00%,而‘守田 2 号’叶片数的降幅相对最小,仅较对照下降了 42.86%。综合分析结果显示,在不同质量浓度 NaCl 胁迫条件下,5 个甜菊品种幼苗叶片数的变化趋势与地上部分干质量

表 6 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗叶片数的影响 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 6 Effect of NaCl stress on leaf number of seedling of different cultivars of *Stevia rebaudiana* Bertoni ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

NaCl 质量浓度/ $g \cdot L^{-1}$ Conc. of NaCl	叶片数 Leaf number				
	中山 2 号 Zhongshan No. 2	中山 3 号 Zhongshan No. 3	中山 4 号 Zhongshan No. 4	守田 2 号 Shoutian No. 2	守田 3 号 Shoutian No. 3
0.0 (CK)	34.67±4.41a	32.00±0.44a	38.67±0.67a	51.33±0.65a	42.00±0.50a
3.0	24.00±2.02b	30.37±3.52a	32.00±1.15b	44.00±0.58b	24.67±3.71b
3.5	21.87±1.17c	29.33±4.01ab	31.67±3.18b	40.67±1.45b	24.00±1.33c
4.0	15.67±2.33bc	28.67±1.33ab	29.00±3.79b	35.00±2.65bc	23.33±3.18d
4.5	13.33±1.07c	18.00±0.33b	16.33±0.33c	32.67±1.67c	18.33±2.73de
5.0	6.67±3.52d	11.83±4.37bc	14.00±1.00d	29.33±1.12c	10.50±1.76e

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

表7 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗叶片长度的影响 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 7 Effect of NaCl stress on leaf length of seedling of different cultivars of *Stevia rebaudiana* Bertoni ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

NaCl 质量浓度/ $g \cdot L^{-1}$ Conc. of NaCl	叶片长度/cm Leaf length				
	中山 2 号 Zhongshan No. 2	中山 3 号 Zhongshan No. 3	中山 4 号 Zhongshan No. 4	守田 2 号 Shoutian No. 2	守田 3 号 Shoutian No. 3
0.0 (CK)	5.70±0.95a	4.90±0.42a	5.90±0.42a	8.17±0.12a	5.01±0.65a
3.0	4.70±0.49a	4.67±0.17a	5.53±0.74ab	7.67±0.88b	4.86±0.35b
3.5	4.57±0.58a	4.72±0.15a	4.95±0.59b	7.43±0.12b	4.23±0.32c
4.0	4.77±0.38a	4.70±0.49a	4.40±0.38b	7.40±0.40b	3.80±0.25d
4.5	4.00±0.40a	4.33±0.17b	4.23±0.12c	6.83±0.17c	3.67±0.33d
5.0	3.50±0.47ab	3.63±0.30c	4.00±0.23d	6.70±0.58c	2.53±0.38e

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

表8 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗叶片宽度的影响 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 8 Effect of NaCl stress on leaf width of seedling of different cultivars of *Stevia rebaudiana* Bertoni ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

NaCl 质量浓度/ $g \cdot L^{-1}$ Conc. of NaCl	叶片宽度/cm Leaf width				
	中山 2 号 Zhongshan No. 2	中山 3 号 Zhongshan No. 3	中山 4 号 Zhongshan No. 4	守田 2 号 Shoutian No. 2	守田 3 号 Shoutian No. 3
0.0 (CK)	2.03±0.33a	1.87±0.44a	1.80±0.06a	2.28±0.12a	1.93±0.22a
3.0	1.50±0.17a	1.37±0.17a	1.47±0.18b	1.93±0.30b	1.80±0.10b
3.5	1.40±0.20a	1.40±0.12a	1.53±0.23b	2.03±0.30a	1.37±0.88c
4.0	1.30±0.15a	1.32±0.10a	1.40±0.15b	1.90±0.58b	1.40±0.10c
4.5	1.06±0.17ab	1.20±0.12b	1.26±0.20b	1.86±0.18b	1.27±0.67c
5.0	0.87±0.13ab	1.20±0.13b	1.16±0.33b	1.73±0.33b	1.03±0.23d

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

的变化趋势相近,二者的相关系数为 0.920,相关性极显著。这一现象在一定程度上说明:在 NaCl 胁迫条件下,甜菊幼苗叶片数下降可能是导致其地上部分干质量下降的最重要原因。

从表 7 和表 8 可见,在 NaCl 胁迫条件下,5 个甜菊品种幼苗的叶片长度和叶片宽度均不同程度下降,其中叶片长度的下降趋势比叶片宽度缓慢;而在各胁迫处理组中不同品种幼苗的叶片长度和叶片宽度与对照的差异显著性各有不同,但总体上看,各胁迫处理组中‘中山 4 号’、‘守田 2 号’和‘守田 3 号’幼苗的叶片长度和叶片宽度基本上都与对照间存在显著差异( $P<0.05$ )。

实验结果说明,在 NaCl 胁迫条件下,由于甜菊幼苗叶片延展的减少使光合有效叶面积减小,加之新叶发生数量及生长量的减少,导致甜菊幼苗地上部分干质量减小。

## 2.5 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗主茎节数及分枝数的影响

主茎节数和分枝数是决定植物产量的主要农艺性状之一。不同质量浓度 NaCl 胁迫条件下,5 个甜菊

品种幼苗的主茎节数和分枝数见表 9 和表 10。结果表明,在不同质量浓度 NaCl 胁迫条件下,甜菊不同品种幼苗的主茎节数和分枝数均不同程度减少,且总体上均随 NaCl 质量浓度的提高而逐渐减少,但在各胁迫处理组中不同品种幼苗主茎节数和分枝数与对照的差异显著性各有不同。‘中山 2 号’、‘中山 3 号’、‘中山 4 号’和‘守田 3 号’4 个品种本身正常的主茎节数和分枝数基本接近,分别约为 5~6 和 6~8,在受到 NaCl 胁迫后,这 4 个品种的主茎节数和分枝数的减小幅度基本接近且均相对较小;而‘守田 2 号’本身正常的主茎节数和分枝数均明显多于前 4 个品种,在受到 NaCl 胁迫后,其主茎节数和分枝数相对于其他供试品种变化较大。说明 NaCl 胁迫对甜菊不同品种主茎节数和分枝数的影响与品种本身的特性也有一定的关系。

相关性分析结果显示,在 NaCl 胁迫条件下,5 个甜菊品种幼苗分枝数与地上部分干质量的相关系数高达 0.828,相关性显著。据此推测,NaCl 胁迫条件下甜菊幼苗分枝数的下降可能是导致其地上部分干质量下降的另一个重要因素。

表 9 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗主茎节数的影响 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 9 Effect of NaCl stress on node number of seedling main stem of different cultivars of *Stevia rebaudiana* Bertoni ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

NaCl 质量浓度/ $g \cdot L^{-1}$ Conc. of NaCl	主茎节数 Node number of main stem				
	中山 2 号 Zhongshan No. 2	中山 3 号 Zhongshan No. 3	中山 4 号 Zhongshan No. 4	守田 2 号 Shoutian No. 2	守田 3 号 Shoutian No. 3
0.0 (CK)	6.00±2.65a	6.00±0.10a	5.43±0.23a	9.30±0.33a	5.67±0.33a
3.0	4.67±1.15a	4.33±0.15a	5.32±0.19b	8.33±0.30b	5.00±0.58b
3.5	3.67±0.22a	4.00±0.10a	5.44±0.12a	8.00±0.25a	5.00±0.36c
4.0	3.30±0.20a	3.66±0.10a	5.11±0.11b	7.33±0.33b	4.33±0.34c
4.5	3.00±0.22ab	4.00±0.10b	4.31±0.19b	5.33±0.33b	4.67±0.33c
5.0	3.00±0.10ab	3.00±0.10b	3.68±0.33b	5.16±0.41b	3.67±0.33d

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

表 10 NaCl 胁迫对甜菊不同品种幼苗分枝数的影响 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 10 Effect of NaCl stress on ramus number of seedling of different cultivars of *Stevia rebaudiana* Bertoni ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

NaCl 质量浓度/ $g \cdot L^{-1}$ Conc. of NaCl	分枝数 Ramus number				
	中山 2 号 Zhongshan No. 2	中山 3 号 Zhongshan No. 3	中山 4 号 Zhongshan No. 4	守田 2 号 Shoutian No. 2	守田 3 号 Shoutian No. 3
0.0 (CK)	6.67±0.67a	7.50±1.08a	6.40±0.75a	11.25±1.49a	7.00±1.00a
3.0	4.11±0.11b	6.25±0.96a	5.25±0.48b	9.58±1.16b	3.75±1.32b
3.5	3.67±0.17c	4.50±0.47b	4.75±1.41c	8.75±0.48c	3.75±0.25c
4.0	3.11±0.11c	3.80±1.06ab	4.33±1.84c	8.25±0.63c	3.50±0.63c
4.5	2.16±0.17c	3.25±1.25b	2.25±0.65d	5.32±0.96d	2.75±0.75d
5.0	0.83±0.44d	2.00±1.50c	1.25±0.95d	4.07±1.48d	1.00±0.15e

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

### 3 讨论和结论

前人常把植物的生物量和株高作为评价大麦 (*Hordeum vulgare* L.)、小麦 (*Triticum aestivum* L.)、水稻 (*Oryza sativa* L.) 和番茄 (*Lycopersicon esculentum* Miller) 等植物耐盐能力的基本指标<sup>[10-14]</sup>; Vicente 等<sup>[15]</sup>和 Levitt 等<sup>[16]</sup>则认为,生物量是植物对盐胁迫响应的综合体现,是评价植物耐盐性最具代表性的可靠指标。作者采用干质量这一主要指标对供试的 5 个甜菊品种的耐盐性进行评价,结果表明,在 NaCl 胁迫条件下,甜菊不同品种幼苗地上部分和地下部分的干质量均降低,各品种间的耐盐性差异体现在以下 2 个方面:其一,在 NaCl 质量浓度相对较低的胁迫条件下,耐盐性较弱的品种其干质量显著低于对照,这种差异具有统计学意义,而耐盐性较强的品种其干质量也低于对照,但不具有统计学意义;其二,在 NaCl 质量浓度相对较高的胁迫条件下,耐盐性强的品种干质量的降幅小于耐盐性差的品种。据此推断甜菊品种‘中山 3 号’的耐盐性相对最强,‘守田 2 号’次之,

‘中山 4 号’的耐盐性相对较弱,而‘守田 3 号’和‘中山 2 号’则属于 NaCl 敏感型品种;按耐盐性从强至弱依次排序为‘中山 3 号’、‘守田 2 号’、‘中山 4 号’、‘守田 3 号’和‘中山 2 号’。此外,在 NaCl 胁迫条件下,‘中山 3 号’和‘守田 2 号’2 个甜菊品种表现出相对较优的农艺性状,因此,可作为良好的甜菊耐盐种质资源进行进一步的应用研究。

在 NaCl 胁迫条件下,5 个甜菊品种的株高和根长均受到明显抑制,但根冠比却逐渐增大,这与盐胁迫条件下其他植物的表现一致<sup>[10,17-18]</sup>。研究者普遍认为,NaCl 胁迫改变了植株地上部分和地下部分干物质的分配比例,且地上部分受伤害的程度大于地下部分,这是植物对胁迫条件的适应性反应。盐敏感型甜菊品种的根冠比在 NaCl 胁迫浓度较低时增大、在 NaCl 胁迫浓度较高时减小,而耐盐型甜菊品种的根冠比则随 NaCl 胁迫浓度的提高缓慢增大,这一研究结论与前人报道的结果相似。曹帮华等<sup>[19]</sup>认为,在浓度相对高的盐胁迫条件下,耐盐性强的刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.) 品种地上部分的营养状况相对好于盐敏感型刺槐品种,这是维持其根冠比增大的原因。在

本实验中,‘守田3号’和‘中山2号’2个甜菊品种在NaCl质量浓度相对较高的胁迫条件下根冠比减小,叶片快速枯黄,表现出较弱的耐盐性。

NaCl胁迫条件下甜菊不同品种幼苗的各项生长指标(叶片数、叶片长度和宽度、主茎节数和分枝数)均下降,而不同指标受NaCl胁迫的抑制程度有明显差异。相关性分析结果显示甜菊叶片数与地上部分干质量的相关性较高,这与舒世珍等<sup>[20]</sup>的研究结论相似。Grieve等<sup>[21]</sup>认为,光合作用积累的干物质主要分配到叶片中,盐胁迫通过抑制叶原基的发生和减少单株植物的光合面积间接造成植物碳同化量减少。因此,作者认为,在NaCl胁迫条件下甜菊幼苗能够保持相对较多的叶片数,这是耐盐性强的性状特征。但程广有等<sup>[22]</sup>就水稻耐盐碱性进行研究时得出的结论与作者的这一结论相矛盾,这可能与不同种类(品种)及其不同生育阶段光合产物的运转分配特性差异有关<sup>[23]</sup>。在NaCl胁迫条件下,与其他生长指标相比,甜菊幼苗主茎节数受NaCl胁迫的影响相对较小,这一结论与盐胁迫条件下大豆[*Glycine max* (L.) Merr.]苗期的生长特征<sup>[24]</sup>一致。有关甜菊苗期营养生长特性与耐盐性的关系有待进一步的实验研究。

#### 参考文献:

- [1] Geuns J M. Stevioside[J]. *Phytochemistry*, 2003, 64(5): 913-921.
- [2] 黄耀亚. 甜叶菊茎叶生药性状及组织的研究[J]. *吉林农业大学学报*, 1986, 8(02): 21-26.
- [3] 阮成江, 谢庆良. 盐胁迫下沙棘的渗透调节效应[J]. *植物资源与环境学报*, 2002, 11(2): 45-47.
- [4] Glenn E, Miyamoto S, Moore D, et al. Water requirements for cultivating *Salicornia bigelovii* Torr. with seawater on sand in a coastal desert environment [J]. *Journal of Arid Environments*, 1997, 36(4): 711-730.
- [5] 刘兆普, 隆小华, 刘玲, 等. 海岸带滨海盐土资源发展能源植物资源的研究[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(1): 9-14.
- [6] 何祯祥, 王伟, 阮成江, 等. 江苏省耐盐生物质能源植物选育和生物柴油制备研究[J]. *生物质化学工程*, 2006, 40(B12): 335-340.
- [7] 尹增芳, 何祯祥, 王丽霞, 等. NaCl胁迫下海滨锦葵种子萌发和幼苗生长过程的生理特性变化[J]. *植物资源与环境学报*, 2006, 15(1): 14-17.
- [8] 赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 33-35.
- [9] 韩玉林, 马汇泉, 辛惠普, 等. 甜叶菊无土育苗的研究[J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 1993, 7(1): 25-29.
- [10] 罗庆云, 於丙军, 刘友良. 大豆苗期耐盐性鉴定指标的检验[J]. *大豆科学*, 2001, 20(3): 177-182.
- [11] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 278.
- [12] 赵锁芳, 窦延玲. 小麦耐盐性鉴定指标及其分析评价[J]. *西北农业大学学报*, 1998, 26(6): 80-85.
- [13] 祁栋灵, 韩龙植, 张三元. 水稻耐盐/碱性鉴定评价方法[J]. *植物遗传资源学报*, 2005, 6(2): 226-231.
- [14] Walter L. 植物生理生态学[M]. 翟志席, 郭玉海, 马永泽, 译. 北京: 中国农业大学出版社, 1997: 305.
- [15] Vicente O, Boscaiu M, Naranjo M Á, et al. Responses to salt stress in the halophyte *Plantago crassifolia* (Plantaginaceae) [J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 58(4): 463-481.
- [16] Levitt J. Response of Plants to Environmental Stress [M]. New York: Academic Press, 1980: 365-434.
- [17] 陈静波, 阎君, 姜燕琴, 等. NaCl胁迫对6种暖季型草坪草新选系生长的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2007, 16(4): 47-52.
- [18] 吴雪霞, 朱为民, 陈建林, 等. 外源NO对NaCl胁迫下番茄幼苗生长及相关物质含量的影响[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(9): 216-220.
- [19] 曹帮华, 郁万文, 吴丽云, 等. 盐胁迫对刺槐无性系生长和离子吸收、运输、分配的影响[J]. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2005, 36(3): 353-358.
- [20] 舒世珍, 王万忠. 甜菊数量性状变异及与产量关系[J]. *作物学报*, 1988(02): 167-173.
- [21] Grieve C M, Lesch S M, Maas E V, et al. Leaf and spikelet primordia initiation in salt-stressed wheat [J]. *Crop Science*, 1993, 33: 1286-1292.
- [22] 程广有, 许文会, 黄永秀, 等. 水稻品种耐盐碱性的研究[J]. *延边农学院学报*, 1995, 17(4): 195-201.
- [23] Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes[J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1980, 31: 149-190.
- [24] 常汝镇, 陈一舞, 邵桂花, 等. 盐对大豆农艺性状及籽粒品质的影响[J]. *大豆科学*, 1994, 13(2): 101-105.