

NaCl 胁迫对 6 种暖季型草坪草新选系生长的影响

陈静波¹, 阎君², 姜燕琴¹, 刘建秀^{1,①}, 郭海林¹

[1. 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; 2. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095]

摘要: 利用水培法研究了 NaCl 胁迫对沟叶结缕草(*Zoysia matrella* 'Z123')、结缕草(*Z. japonica* 'Z080')、狗牙根(*Cynodon dactylon* 'C291')、海雀稗(*Paspalum vaginatum* 'P006')、假俭草(*Eremochloa ophiuroides* 'E126')和钝叶草(*Stenotaphrum secundatum* 'S004') 6 种暖季型草坪草新选系生长的影响, 并对它们的抗盐能力进行了评价。结果表明, 随 NaCl 浓度的提高, 6 个选系的叶片枯黄率均增大, 但不同选系的变化幅度有显著差异; 6 个选系抗 NaCl 能力从强到弱依次为 'Z123'、'C291'、'P006'、'S004'、'Z080'、'E126'。5 g·L⁻¹ NaCl 对选系 'C291'、'S004' 和 'Z080' 地上部分和根系生长有促进作用, 而对选系 'Z123'、'P006' 和 'E126' 则有抑制作用; 随 NaCl 浓度的提高, 除选系 'E126' 的根冠比迅速下降外, 其他选系的根冠比均增加或缓慢下降; 各选系的枝叶含水量均随 NaCl 浓度提高而下降, 但选系 'S004'、'P006' 和 'E126' 的枝叶含水量均高于选系 'C291'、'Z123' 和 'Z080'。

关键词: NaCl 胁迫; 暖季型草坪草; 新选系; 生长; 抗盐性

中图分类号: Q945.78; S603.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2007)04-0047-06

Effect of NaCl stress on growth of six new selections of warm season turfgrasses CHEN Jing-bo¹, YAN Jun², JIANG Yan-qin¹, LIU Jian-xiu^{1,①}, GUO Hai-lin¹ (1. Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2007, 16(4): 47-52

Abstract: Effect of NaCl stress on growth of six new selections of warm season turfgrasses, including *Zoysia matrella* 'Z123', *Z. japonica* 'Z080', *Cynodon dactylon* 'C291', *Paspalum vaginatum* 'P006', *Eremochloa ophiuroides* 'E126' and *Stenotaphrum secundatum* 'S004', and their tolerances to NaCl stress were studied and assessed by hydroponic culture method. The results showed that leaf firing percentage of six selections all increased with NaCl concentration rising, but change ranges of different selections were significant difference. According to leaf firing percentage, tolerance of these selections to NaCl stress from strong to weak is 'Z123', 'C291', 'P006', 'S004', 'Z080', 'E126'. Growth of shoots and roots of 'C291', 'S004' and 'Z080' was stimulated and that of 'Z123', 'P006' and 'E126' was inhibited under 5 g·L⁻¹ NaCl stress. With NaCl concentration rising, root-shoot ratios of these selections were increased or decreased slowly except that of 'E126' decreased rapidly, moreover water content in shoots of six selections all decreased, but water content in shoots of 'S004', 'P006' and 'E126' was much higher than that in shoots of 'C291', 'Z123' and 'Z080'.

Key words: NaCl stress; warm season turfgrass; new selection; growth; salt tolerance

随着经济的发展和耕地的减少,人们越来越重视对沿海盐碱地的开发和利用^[1]。由于全球水资源缺乏,使绿地灌溉中再生水和盐渍水的应用量不断增加,加之冬季融雪盐的使用,造成土壤的次生盐碱化^[2]。种植抗盐性强的草坪草以抵抗较高盐度危害是盐碱地土壤改良的有效途径之一。除假俭草 [*Eremochloa ophiuroides* (Munro) Hackel] 外,多数暖季型草坪草,如沟叶结缕草 [*Zoysia matrella* (L.) Merr.]、结缕草 (*Z. japonica* Steud.)、狗牙根 [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.]、海雀稗 (*Paspalum*

vaginatum Sw.) 和钝叶草 [*Stenotaphrum secundatum* (Walter) Kuntze] 等均被认为是比较抗盐的暖季型草坪草^[3-5],并且已应用于一些盐渍化地区的绿化工程中^[6]。有研究表明,同一草种不同品种或品系的抗盐性有明显差异^[3],因此,需要对这些品种或

收稿日期: 2007-04-05

基金项目: 江苏省高新技术研究项目(BG2006320)

作者简介: 陈静波(1977-),男,浙江余姚人,硕士研究生,主要从事暖季型草坪草抗盐性研究。

① 通讯作者 E-mail: turfunit@yahoo.com.cn

品系进行抗盐性评价,从中筛选出抗盐性较强的品种或品系。此外,对植物而言,盐碱地是比较特殊、恶劣的生境,生长在盐碱地中的植物在生长过程中经常受到渗透胁迫和离子毒害,因此,盐碱地中生长的植物与正常生境中的植物有一定差异。

江苏省·中国科学院植物研究所草业研究中心已收集1 000多份暖季型草坪草种质资源,经过一系列选育手段,已选育出一些坪用价值较高的新选系。作者以6个新选系为实验材料,研究了NaCl胁迫对这些新选系生长的影响,初步探讨了这些新选系对NaCl胁迫的生长响应,并对它们的抗性进行了评价,以期为抗盐优质草坪草新品种的选育及其在盐渍地区的栽培管理提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的6种暖季型草坪草分别为沟叶结缕草(*Zoysia matrella* 'Z123')、结缕草(*Z. japonica* 'Z080')、狗牙根(*Cynodon dactylon* 'C291')、海雀稗(*Paspalum vaginatum* 'P006')、假俭草(*Eremochloa ophiuroides* 'E126')和钝叶草(*Stenotaphrum secundatum* 'S004'),均为江苏省·中国科学院植物研究所草业研究中心新选育的坪用价值较高的优良选系。

1.2 方法

1.2.1 预培养 2006年7月初,分别在试验地(北纬32°02'、东经118°28')里选取各选系当年新生的匍匐茎,剪取大小一致的单节,扦插于装有砂壤土的穴盘中,常规管理。8月中旬,挑选生长一致的植株移栽至装有石英砂的花盆(直径6 cm,高5 cm)内,每盆3株。将花盆悬挂于周转箱上,置于温室内,用全量Hoagland培养液进行预培养。每个周转箱装45 L培养液,使培养液刚好接触盆底。每周更换1次培养液,24 h不断通气。每天检查液面高度,适当补充水分,使液面高度保持恒定。预培养约2周后,对地上部分进行修剪,修剪高度为2.5 cm。1个月后进行NaCl胁迫处理,处理前按原修剪高度进行修剪,同时剪去盆底以外的根系。

1.2.2 NaCl胁迫处理 在Hoagland营养液中加入不等量固体NaCl,使培养液中NaCl的终浓度分别为0(对照)、5、10、20、30、40和50 g·L⁻¹,每处

理3次重复。为防止NaCl的急性伤害,第1次加NaCl时以每天2.5 g·L⁻¹的浓度逐渐增加,直至所需浓度,更换培养液时可一次性加入固体NaCl至所需浓度。胁迫处理期间,按预培养期间的管理方法进行日常管理,但不进行修剪。

1.2.3 测定方法 胁迫处理6周后,目测黄叶面积占总叶面积的百分比,即为叶片枯黄率。以枝叶和根系的原修剪位置为基点,分别测定最长枝条和根系的长度;再沿此位置剪下枝叶,立即称取修剪枝叶的鲜质量;80℃烘24 h后,称取修剪枝叶的干质量,同时沿盆底剪下根系,烘干后称取盆外根系的干质量;最后把花盆内的植株分成枝叶和根系2部分,烘干后称取干质量,再分别与上述修剪枝叶和盆外根系合并成枝叶总干质量和根系总干质量。

1.3 数据计算方法和统计分析

分别按照下列公式计算枝叶相对含水量和根冠比:枝叶含水量=[(修剪枝叶鲜质量-修剪枝叶干质量)/修剪枝叶鲜质量]×100%;根冠比=根系总干质量/枝叶总干质量。除叶片枯黄率、枝叶含水量和根冠比外,各处理组测得的指标数值分别与各自的对照进行比较,转换成相对值后再进行方差分析。

数据整理采用EXCEL 2000软件,使用SPSS 13.0软件进行方差分析和相关性分析。

2 结果和分析

2.1 NaCl胁迫对叶片枯黄率的影响

盐胁迫下,盐离子在植物体内不断积累,对植物叶片造成离子毒害,使叶片呈烧焦状枯黄^[3]。所有草坪草的枯黄症状均先从老叶开始。在较高NaCl浓度条件下,抗盐性差的种类的中上部叶片也开始黄化,并最终死亡,而抗盐性强的种类的叶片则仍保持绿色。

研究发现,随NaCl浓度的提高,6个选系的叶片枯黄率均不断增加,详细结果见表1。由表1可见,随NaCl浓度的提高,假俭草'E126'的叶片枯黄率迅速增加,并在10 g·L⁻¹ NaCl胁迫条件下枯死,说明假俭草'E126'对NaCl胁迫较敏感。结缕草'Z080'在30 g·L⁻¹ NaCl胁迫条件下枯死,说明其抗NaCl胁迫的能力也较差。而在0~20 g·L⁻¹ NaCl胁迫条件下,沟叶结缕草'Z123'、狗牙根'C291'和海雀稗'P006'叶片枯黄率都很低,且差异

不显著;在 50 g · L⁻¹ NaCl 胁迫条件下,选系 ‘Z123’、‘C291’ 和 ‘P006’ 植株均未枯死,尤其是 ‘Z123’ 的叶片枯黄率仅为 26.67%,说明这 3 个选系抗 NaCl 胁迫的能力很强。在 0 ~ 10 g · L⁻¹ NaCl 胁迫条件下,钝叶草 ‘S004’ 的叶片枯黄率较小,但在 NaCl 浓度高于 10 g · L⁻¹ 的条件下,其叶片枯黄率迅速提高,直至在 50 g · L⁻¹ NaCl 胁迫条件下植株枯死,‘S004’ 抗 NaCl 胁迫的能力中等。

2.2 NaCl 胁迫对根系生长的影响

NaCl 胁迫条件下,6 种暖季型草坪草新选系的根系生长情况不同,详细结果见表 2 和表 3。由表 2 可见,狗牙根 ‘C291’、沟叶结缕草 ‘Z123’、钝叶草 ‘S004’、结缕草 ‘Z080’ 和海雀稗 ‘P006’ 的相对根系长度表现为:低浓度 NaCl 胁迫下增加或基本不变,高浓度 NaCl 胁迫下降低,说明这些选系对 NaCl 胁迫的抵抗能力较强,且低浓度 NaCl 对根系伸长有诱导作用,如在 10 g · L⁻¹ NaCl 胁迫条件下,狗牙根

‘C291’ 的相对根系长度最长(124.97%)。假俭草 ‘E126’ 的相对根系长度则随 NaCl 浓度的提高而急剧减小,说明 ‘E126’ 对 NaCl 胁迫较敏感,抗 NaCl 胁迫的能力较差。

由表 3 可以发现,在 5 g · L⁻¹ NaCl 胁迫条件下,狗牙根 ‘C291’、钝叶草 ‘S004’ 和结缕草 ‘Z080’ 的相对根系修剪干质量均高于对照,分别为 132.52%、170.50% 和 125.00%;而海雀稗 ‘P006’ 和沟叶结缕草 ‘Z123’ 的相对根系修剪干质量则略小于对照,分别为 91.67% 和 98.50%。NaCl 浓度从 5 g · L⁻¹ 增至 30 g · L⁻¹,钝叶草 ‘S004’ 和结缕草 ‘Z080’ 的相对根系修剪干质量迅速减小,而海雀稗 ‘P006’ 和沟叶结缕草 ‘Z123’ 的相对根系修剪干质量的减小则比较缓慢。说明随 NaCl 浓度的提高,相对根系修剪干质量下降缓慢的选系抗 NaCl 胁迫的能力可能相对较强。高浓度 NaCl 胁迫条件下,保持较大的根系生物量有利于植物吸收水分和营养。

表 1 NaCl 胁迫对 6 种暖季型草坪草新选系叶片枯黄率的影响
Table 1 Effect of NaCl stress on leaf firing percentage of six new selections of warm season turfgrasses

NaCl 浓度/g · L ⁻¹ NaCl concentration	不同选系的叶片枯黄率/% ¹⁾ Leaf firing percentage of different selections ¹⁾					
	Z123	C291	P006	S004	Z080	E126
0	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	0.00a	1.67a
5	2.33a	0.00a	0.00a	0.00a	12.00a	80.00b
10	3.00a	0.00a	8.33a	5.00a	48.33b	100.00b
20	4.33a	3.67a	11.00a	43.33b	56.67	100.00b
30	10.67a	15.00b	41.67b	58.33c	100.00c	100.00b
40	25.00b	28.33c	48.33b	93.33d	100.00c	100.00b
50	26.67b	60.00d	70.00b	100.00d	100.00c	100.00b
F	11.28 **	50.17 **	12.18 **	231.11 **	18.21 **	23.37 **

¹⁾ Z123: 沟叶结缕草 ‘Z123’ *Zoysia matrella* ‘Z123’; C291: 狗牙根 ‘C291’ *Cynodon dactylon* ‘C291’; P006: 海雀稗 ‘P006’ *Paspalum vaginatum* ‘P006’; S004: 钝叶草 ‘S004’ *Stenotaphrum secundatum* ‘S004’; Z080: 结缕草 ‘Z080’ *Z. japonica* ‘Z080’; E126: 假俭草 ‘E126’ *Eremochloa ophiuroides* ‘E126’。同列中的不同字母表示差异显著 (P < 0.05) The different letters in the same column indicate the significant difference (P < 0.05). **: P < 0.01.

表 2 NaCl 胁迫对 6 种暖季型草坪草新选系相对根系长度的影响
Table 2 Effect of NaCl stress on relative root length of six new selections of warm season turfgrasses

NaCl 浓度/g · L ⁻¹ NaCl concentration	不同选系的相对根系长度/% ¹⁾ Relative root length of different selections ¹⁾					
	Z123	C291	P006	S004	Z080	E126
0	100.00 ± 31.98	100.00 ± 15.72	100.00 ± 15.07	100.00 ± 14.86	100.00 ± 39.11	100.00 ± 27.11
5	98.84 ± 17.23	120.61 ± 6.52	92.22 ± 14.21	150.59 ± 18.02	143.23 ± 20.48	22.57 ± 6.95
10	98.14 ± 18.14	124.97 ± 11.50	86.45 ± 19.26	72.82 ± 35.98	100.00 ± 68.66	0.00 ± 0.00
20	50.58 ± 6.87	83.36 ± 5.40	69.89 ± 21.11	0.00 ± 0.00	27.10 ± 18.67	0.00 ± 0.00
30	14.15 ± 6.24	26.02 ± 9.41	25.60 ± 3.93	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
40	15.78 ± 3.14	22.85 ± 5.11	15.06 ± 3.76	2.82 ± 4.89	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
50	16.71 ± 2.78	18.49 ± 4.72	8.53 ± 1.78	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

¹⁾ Z123: 沟叶结缕草 ‘Z123’ *Zoysia matrella* ‘Z123’; C291: 狗牙根 ‘C291’ *Cynodon dactylon* ‘C291’; P006: 海雀稗 ‘P006’ *Paspalum vaginatum* ‘P006’; S004: 钝叶草 ‘S004’ *Stenotaphrum secundatum* ‘S004’; Z080: 结缕草 ‘Z080’ *Z. japonica* ‘Z080’; E126: 假俭草 ‘E126’ *Eremochloa ophiuroides* ‘E126’。

表3 NaCl胁迫对6种暖季型草坪草新选系相对根系修剪干质量的影响
Table 3 Effect of NaCl stress on relative root clipping dry weight of six new selections of warm season turfgrasses

NaCl 浓度/ $g \cdot L^{-1}$ NaCl concentration	不同选系的相对根系修剪干质量/% ¹⁾ Relative root clipping dry weight of different selections ¹⁾					
	Z123	C291	P006	S004	Z080	E126
0	100.00 ± 19.09	100.00 ± 25.65	100.00 ± 4.12	100.00 ± 29.55	100.00 ± 43.30	100.00 ± 20.35
5	98.50 ± 19.09	132.52 ± 20.39	91.67 ± 10.91	170.50 ± 21.58	125.00 ± 43.30	7.69 ± 0.00
10	88.89 ± 17.35	158.25 ± 13.76	55.76 ± 27.04	84.67 ± 58.07	125.00 ± 86.60	0.00 ± 0.00
20	62.50 ± 4.17	74.27 ± 10.09	28.57 ± 7.14	0.00 ± 0.00	25.00 ± 43.30	0.00 ± 0.00
30	16.67 ± 7.22	10.19 ± 2.91	9.52 ± 2.06	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
40	9.72 ± 4.81	14.08 ± 4.45	7.14 ± 3.57	0.38 ± 0.66	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
50	5.56 ± 2.41	4.37 ± 0.00	4.76 ± 2.06	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

¹⁾ Z123: 沟叶结缕草 'Z123' *Zoysia matrella* 'Z123'; C291: 狗牙根 'C291' *Cynodon dactylon* 'C291'; P006: 海雀稗 'P006' *Paspalum vaginatum* 'P006'; S004: 钝叶草 'S004' *Stenotaphrum secundatum* 'S004'; Z080: 结缕草 'Z080' *Z. japonica* 'Z080'; E126: 假俭草 'E126' *Eremochloa ophiuroides* 'E126'.

比较发现,在不同浓度 NaCl 胁迫条件下,6 个选系根系修剪干质量的变化情况与相对根系长度的变化规律基本一致,两者相关性非常高,相关系数高达 0.922,达到极显著水平($P < 0.01$),说明相对根系修剪干质量下降可能与 NaCl 抑制根系伸长有关。

2.3 NaCl 胁迫对枝叶生长的影响

与根系生长情况类似,狗牙根 'C291'、海雀稗 'P006' 和钝叶草 'S004' 的相对枝叶长度及沟叶结缕草 'Z123'、狗牙根 'C291' 和钝叶草 'S004' 的相对枝叶修剪干质量均表现为低浓度 NaCl 下增加、高浓度 NaCl 下降的趋势,详细研究结果见表 4 和表 5。在 $5 g \cdot L^{-1}$ NaCl 胁迫条件下,狗牙根 'C291'、海雀稗 'P006' 和钝叶草 'S004' 的相对枝叶长度均达到最大值,分别为 110.20%、108.04% 和 136.87%,明显高于对照,而其余选系的相对枝叶长度则低于对照;沟叶结缕草 'Z123'、狗牙根 'C291' 和钝叶草 'S004' 的相对枝叶修剪干质量也分别达到最大值

116.73%、102.84% 和 152.10%,并高于对照,而其余选系的相对枝叶长度则低于对照。相关分析结果表明,相对枝叶长度与相对枝叶修剪干质量的相关系数为 0.889,达到极显著水平($P < 0.01$),说明枝叶长度减小可能是造成地上部分干质量下降的主要原因之一。

研究发现,随 NaCl 浓度的提高,6 个选系的枝叶含水量均呈相似的下降趋势,但在 $5 g \cdot L^{-1}$ NaCl 胁迫条件下,海雀稗 'P006' 和狗牙根 'C291' 的枝叶含水量比对照略有增加或基本不变(表 6)。研究结果表明,不同选系的枝叶含水量存在一定差异,黍亚科的钝叶草 'S004'、海雀稗 'P006' 和假俭草 'E126' 的枝叶含水量一直保持较高水平,虎尾草亚科的结缕草 'Z080' 和沟叶结缕草 'Z123' 的枝叶含水量则一直保持较低水平,而同样属于虎尾草亚科的狗牙根 'C291' 的枝叶含水量则处于中等水平,但更接近于黍亚科的 3 个选系。

表4 NaCl胁迫对6种暖季型草坪草新选系相对枝叶长度的影响
Table 4 Effect of NaCl stress on relative shoot length of six new selections of warm season turfgrasses

NaCl 浓度/ $g \cdot L^{-1}$ NaCl concentration	不同选系的相对枝叶长度/% ¹⁾ Relative shoot length of different selections ¹⁾					
	Z123	C291	P006	S004	Z080	E126
0	100.00 ± 5.63	100.00 ± 14.78	100.00 ± 18.14	100.00 ± 12.92	100.00 ± 4.56	100.00 ± 5.57
5	91.05 ± 10.10	110.20 ± 27.89	108.04 ± 14.30	136.87 ± 4.93	87.64 ± 11.22	29.48 ± 5.87
10	69.40 ± 8.96	74.15 ± 3.71	60.08 ± 12.27	70.35 ± 17.09	58.62 ± 11.60	0.00 ± 0.00
20	51.49 ± 0.00	34.06 ± 5.22	43.08 ± 3.77	25.52 ± 3.55	55.46 ± 6.06	0.00 ± 0.00
30	47.02 ± 7.76	11.25 ± 5.49	20.55 ± 0.39	20.65 ± 2.84	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
40	44.03 ± 8.48	6.51 ± 1.15	16.34 ± 0.91	4.72 ± 0.68	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
50	54.48 ± 15.72	5.16 ± 0.44	14.23 ± 9.93	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

¹⁾ Z123: 沟叶结缕草 'Z123' *Zoysia matrella* 'Z123'; C291: 狗牙根 'C291' *Cynodon dactylon* 'C291'; P006: 海雀稗 'P006' *Paspalum vaginatum* 'P006'; S004: 钝叶草 'S004' *Stenotaphrum secundatum* 'S004'; Z080: 结缕草 'Z080' *Z. japonica* 'Z080'; E126: 假俭草 'E126' *Eremochloa ophiuroides* 'E126'.

表5 NaCl胁迫对6种暖季型草坪草新选系相对枝叶修剪干质量的影响

Table 5 Effect of NaCl stress on relative shoot clipping dry weight of six new selections of warm season turfgrasses

NaCl 浓度/g · L ⁻¹ NaCl concentration	不同选系的相对枝叶修剪干质量/% ¹⁾ Relative shoot clipping dry weight of different selections ¹⁾					
	Z123	C291	P006	S004	Z080	E126
0	100.00 ± 4.92	100.00 ± 18.92	100.00 ± 16.73	100.00 ± 42.50	100.00 ± 23.06	100.00 ± 11.88
5	116.73 ± 9.42	102.84 ± 14.61	74.47 ± 23.74	152.10 ± 25.45	57.22 ± 9.28	9.29 ± 1.27
10	97.05 ± 22.17	82.04 ± 9.99	29.84 ± 10.20	72.22 ± 54.89	26.76 ± 11.07	0.00 ± 0.00
20	66.54 ± 13.52	33.55 ± 3.28	12.87 ± 3.06	5.10 ± 1.56	17.97 ± 3.97	0.00 ± 0.00
30	25.98 ± 8.52	7.34 ± 1.51	6.88 ± 2.97	4.81 ± 0.67	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
40	20.08 ± 7.68	7.15 ± 2.42	6.15 ± 2.63	4.72 ± 0.63	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
50	14.37 ± 4.15	3.72 ± 0.98	4.48 ± 2.28	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

¹⁾ Z123: 沟叶结缕草 'Z123' *Zoysia matrella* 'Z123'; C291: 狗牙根 'C291' *Cynodon dactylon* 'C291'; P006: 海雀稗 'P006' *Paspalum vaginatum* 'P006'; S004: 钝叶草 'S004' *Stenotaphrum secundatum* 'S004'; Z080: 结缕草 'Z080' *Z. japonica* 'Z080'; E126: 假俭草 'E126' *Eremochloa ophiuroides* 'E126'.

表6 NaCl胁迫对6种暖季型草坪草新选系枝叶含水量的影响

Table 6 Effect of NaCl stress on shoot water content of six new selections of warm season turfgrasses

NaCl 浓度/g · L ⁻¹ NaCl concentration	不同选系的枝叶含水量/% ¹⁾ Shoot water content of different selections ¹⁾					
	Z123	C291	P006	S004	Z080	E126
0	66.35 ± 0.25	79.43 ± 0.80	84.11 ± 0.54	87.16 ± 0.40	66.77 ± 1.41	83.14 ± 0.18
5	64.46 ± 0.55	79.37 ± 0.64	85.72 ± 0.47	86.13 ± 0.26	63.11 ± 0.41	80.92 ± 0.28
10	63.85 ± 0.89	77.00 ± 1.94	82.28 ± 0.97	84.22 ± 0.59	64.26 ± 0.23	
20	62.37 ± 0.43	72.26 ± 1.46	79.69 ± 0.52	77.79 ± 0.20	61.18 ± 2.36	
30	61.60 ± 0.95	70.19 ± 1.77	76.99 ± 1.77	75.57 ± 2.29		
40	58.87 ± 1.94	68.94 ± 0.63	74.33 ± 1.63	68.22 ± 0.15		
50	58.82 ± 2.73	68.48 ± 1.54	76.66 ± 0.86			

¹⁾ Z123: 沟叶结缕草 'Z123' *Zoysia matrella* 'Z123'; C291: 狗牙根 'C291' *Cynodon dactylon* 'C291'; P006: 海雀稗 'P006' *Paspalum vaginatum* 'P006'; S004: 钝叶草 'S004' *Stenotaphrum secundatum* 'S004'; Z080: 结缕草 'Z080' *Z. japonica* 'Z080'; E126: 假俭草 'E126' *Eremochloa ophiuroides* 'E126'.

2.4 NaCl胁迫对根冠比的影响

随 NaCl 胁迫浓度的提高,狗牙根 'C291'、海雀稗 'P006'、钝叶草 'S004' 和结缕草 'Z080' 的根冠比基本呈逐渐上升的变化趋势(表7),而在 5 g · L⁻¹ NaCl 胁迫条件下,假俭草 'E126' 的根冠比显著低于

对照,与其叶片枯黄率极高及相对枝叶长度较小有一定的相关性。与其他抗 NaCl 胁迫能力较强的选系不同,沟叶结缕草 'Z123' 的根冠比随 NaCl 胁迫浓度的提高呈现缓慢下降的趋势,表明不同选系抗 NaCl 胁迫的机制有一定差异。

表7 NaCl胁迫对6种暖季型草坪草新选系根冠比的影响

Table 7 Effect of NaCl stress on root-shoot ratio of six new selections of warm season turfgrasses

NaCl 浓度/g · L ⁻¹ NaCl concentration	不同选系的根冠比 ¹⁾ Root-shoot ratio of different selections ¹⁾					
	Z123	C291	P006	S004	Z080	E126
0	0.137 ± 0.02	0.086 ± 0.01	0.090 ± 0.01	0.210 ± 0.03	0.119 ± 0.01	0.232 ± 0.04
5	0.107 ± 0.01	0.101 ± 0.01	0.130 ± 0.02	0.200 ± 0.02	0.171 ± 0.05	0.087 ± 0.01
10	0.116 ± 0.01	0.123 ± 0.02	0.290 ± 0.10	0.268 ± 0.08	0.216 ± 0.06	
20	0.115 ± 0.02	0.138 ± 0.01	0.225 ± 0.04	0.306 ± 0.06	0.217 ± 0.03	
30	0.098 ± 0.03	0.168 ± 0.04	0.328 ± 0.07	0.241 ± 0.07		
40	0.102 ± 0.01	0.181 ± 0.07	0.335 ± 0.09	0.306 ± 0.01		
50	0.104 ± 0.01	0.180 ± 0.05	0.447 ± 0.12			

¹⁾ Z123: 沟叶结缕草 'Z123' *Zoysia matrella* 'Z123'; C291: 狗牙根 'C291' *Cynodon dactylon* 'C291'; P006: 海雀稗 'P006' *Paspalum vaginatum* 'P006'; S004: 钝叶草 'S004' *Stenotaphrum secundatum* 'S004'; Z080: 结缕草 'Z080' *Z. japonica* 'Z080'; E126: 假俭草 'E126' *Eremochloa ophiuroides* 'E126'.

3 结论和讨论

绿叶面积比率是评价草坪质量的关键指标,而叶片枯黄率则是最常用的抗盐评价指标^[3,7]。根据叶片枯黄率的变化,6种暖季型草坪草新选系的抗NaCl胁迫能力从大到小排序依次为沟叶结缕草‘Z123’、狗牙根‘C291’、海雀稗‘P006’、钝叶草‘S004’、结缕草‘Z080’、假俭草‘E126’。虽然在浓度大于 $30\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl的胁迫条件下,选系‘Z123’、‘C291’和‘P006’植株的生长受到严重抑制,但在 $50\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl胁迫6周后均未枯死,故可认为‘Z123’、‘C291’和‘P006’3个选系的抗盐性较强,能抵抗短期的高盐度胁迫,可在轻微盐碱化土壤中栽培,但若要在海边高盐碱地上进行推广应用,则仍需进行进一步的高盐碱地田间实验。

研究发现, $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl胁迫对多数抗盐性强的草坪草选系的生长有促进作用,表现为根系和茎长度较长、生物量增加;当NaCl浓度提高到一定程度($10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)时,草坪草生长受到抑制。该结果与Dudeck等^[5]对8个狗牙根品种抗盐性研究的结果相似。

研究结果表明,6个选系的枝叶含水量均随NaCl浓度提高而下降,可能是由于NaCl溶液的渗透胁迫造成植株吸水困难,使植物体内水分含量下降所致。不同选系的枝叶含水量差异与各选系的遗传因素及抗NaCl胁迫能力均有一定关系。枝叶中含有的较多水分能够在一定程度上稀释根系吸收的盐分,降低地上部分细胞内的离子浓度,从而减轻盐害。枝叶含水量与草坪草耐盐性的关系仍需大量实验证明。

多数抗盐性较强的草坪草的根冠比随NaCl浓度提高而增加,说明NaCl胁迫下草坪草对光合产物的分配与正常条件下有异,分配到根系的光合产物相对增多,促进了根系的生长,有利于盐胁迫下根系吸收作用的增强,提高抗盐性,这也可能是部分植物抗盐的机制之一。抗NaCl胁迫能力非常强的沟叶结缕草‘Z123’的根冠比随NaCl浓度提高而缓慢下

降,与其他抗NaCl胁迫能力强的选系有一定差异,该现象与抗盐机制不同有一定相关性,周兴元等^[8]的研究也发现类似现象。Marcum等研究发现,沟叶结缕草叶片的盐腺有很强的分泌能力,是其主要的抗盐机制^[7],而盐腺的代谢活动需要消耗大量ATP^[9],因此,沟叶结缕草‘Z123’可能将更多的光合产物用于盐腺的代谢活动,从而使分配到根系的光合产物量相对减少,详细情况有待进一步研究证实。周兴元等^[8]认为,盐胁迫下根冠比缓慢下降是草坪草抗盐的特征,是判别草坪草抗盐性的良好指标。但本研究结果表明,根冠比增加或缓慢下降都是植物抗盐性强的表现,并且只能将供试的6个选系分为对NaCl胁迫敏感(假俭草‘E126’)和对NaCl胁迫有一定抗性2种类型,但不能作为抗盐性评价的量化指标,因此,根冠比不是草坪草抗盐评价的良好指标。

参考文献:

- [1] 姚瑞玲,方升佐. NaCl胁迫及钙调节对青钱柳根部组织离子分布的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2007, 16(2): 22-26.
- [2] Marcum K B. Use of saline and non-potable water in the turfgrass industry: constraints and developments [J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 80: 132-146.
- [3] Qian Y L, Engelke M C, Foster M J V. Salinity effects on zoysiagrass cultivars and experimental lines [J]. *Crop Science*, 2000, 40: 488-492.
- [4] 李亚,耿蕾,刘建秀. 中国结缕草属植物抗盐性评价[J]. 草地学报, 2004, 12(1): 8-11.
- [5] Dudeck A E, Singh S, Giordano C E, et al. Effects of sodium chloride on *Cynodon* turfgrasses [J]. *Agronomy Journal*, 1983, 75: 927-930.
- [6] Duncan R R, Carrow R N. *Seashore Paspalum: the Environmental Turfgrass* [M]. Chelsea, MI: Ann Arbor Press, 2000. 97-123.
- [7] Marcum K B, Anderson S J, Engelke M C. Salt gland ion secretion: a salinity tolerance mechanism among five zoysiagrass species [J]. *Crop Science*, 1998, 38: 806-810.
- [8] 周兴元,曹福亮. NaCl胁迫对几种暖季型草坪草的影响[J]. 草原与草坪, 2005(4): 66-69.
- [9] Lüttge U. Structure and function of plant glands [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1971, 22: 23-44.