

四种暖季型草坪草对长期盐胁迫的生长反应

陈静波¹, 阎君^{1,2}, 张婷婷^{1,2}, 刘建秀¹, 郭海林^{1*}

(1. 江苏省中国科学院植物研究所, 江苏 南京 210014; 2. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095)

摘要:通过盐水灌溉法,研究了长期盐胁迫对4种暖季型草坪草优良新品系沟叶结缕草‘Z123’、结缕草‘Z080’、狗牙根‘C291’和海雀稗‘P006’生长的影响,以评价其抗盐性及对长期盐胁迫的适应性生长反应。结果表明,根据绿叶盖度和植株总干重,这4种草坪草的抗盐性依次为‘Z123’>‘P006’>‘C291’>‘Z080’。长期的盐胁迫显著抑制了‘Z123’和‘Z080’的叶重、枝条干重和枝条长度,而‘P006’和‘C291’在10~20 g/L以上的盐度下才受显著抑制。‘Z123’、‘C291’和‘P006’可以分别在20, 10和5 g/L以内的盐度下维持稳定的枝条数量,而‘Z080’在5 g/L下显著降低。5~10 g/L左右的低盐度对4种草坪草地下茎和根系生长的影响不显著,较高盐度下才受显著抑制,但‘P006’和‘C291’在5 g/L下具有更稳定的根系干重。长期盐胁迫不同程度地提高了4种草坪草的地下部分地上部分干重比,但抗盐越弱的草比值增加越快。不同草坪草的同一器官对盐胁迫的反应不一致,反应了其抗盐机制的差异。

关键词:长期盐胁迫;暖季型草坪草;生长反应;适应性

中图分类号:Q945.78;S540.34 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2008)05-0030-07

* 盐碱地是地球陆地上分布广泛的一种土地类型,约占陆地总面积的10%,其中我国有各类盐碱地约3 460万hm²,主要分布在内陆干旱地区和沿海地区^[1,2]。另外由于灌溉方法不当以及含盐的水(包括再生水)在生产和绿地中的应用,造成了土壤次生盐碱化^[3,4]。这些含盐量较高的土壤限制了农业生产和绿化的发展,因此选育抗盐的草种显得越来越重要^[1,5,6]。许多暖季型草坪草被认为是比较抗盐的品种,但存在种间和品种间的抗盐性及抗盐机制差异。Marcum和Murdoch^[7]研究表明,沟叶结缕草(*Zoysia matrella*)、海雀稗(*Paspalum vaginatum*)和钝叶草(*Stenotaphrum secundatum*)的抗盐性最强,狗牙根(*Cynodon dactylon* × *C. transvaalensis*)中等,结缕草(*Z. japonica*)对盐敏感,而假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)对盐非常敏感,并且认为沟叶结缕草、结缕草和狗牙根可以通过盐腺分泌盐离子来减轻体内盐分的积累,而且除假俭草外,其他草可以通过积累甜菜碱和脯氨酸来调节细胞质中的渗透压。周兴元和曹福亮^[8]对沟叶结缕草、结缕草和假俭草进行了用盐土盆栽的抗盐性研究,其结果表明抗盐较强的草可以维持较低的Na和较高的K。Qian等^[9]和李亚等^[10]研究均表明,结缕草属内抗盐性变异非常大,其中叶片细而短的沟叶结缕草和细叶结缕草(*Z. tenuifolia*)的抗盐性比较强。Marcum和Pessarakli^[11]对35个狗牙根品种的抗盐性研究表明,不同的狗牙根品种差异也很大,并且抗盐性与盐腺分泌能力成正相关。王红玲等^[12]研究了4个狗牙根品种,发现抗盐性为新农一号狗牙根>喀什狗牙根>C-3狗牙根>矮生天堂草。Zhao等^[13]对中国盐碱地的调查后认为沟叶结缕草、结缕草、海雀稗等植物属于盐生植物。

目前国内外虽然已经进行了许多暖季型草坪草的抗盐性研究,但这些研究结果多数是基于1~3个月、甚至几天的短期盐处理实验后得出的结论。由于暖季型草坪草是一类多年生植物,在盐碱地生长时,长期处于盐胁迫状态下,短期的盐处理实验结果与实际盐碱地的栽培结果可能会有较大的差异。另外,目前盐胁迫对暖季型草坪草生长的研究多数仅仅是研究了盐对枝条、根系的长度和重量的影响,而缺乏系统地研究盐对根、茎、叶不同器官的生长影响,尤其是叶片和地下茎。因此通过研究长期盐胁迫对草坪草不同器官及整个植株生长的影响,可能对探讨其抗盐性的评价、机理研究及在盐碱地的栽培管理有较大的指导意义。

* 收稿日期:2007-11-26;改回日期:2008-04-15

基金项目:江苏省高新技术研究项目(BG2006320)资助。

作者简介:陈静波(1977-),男,浙江余姚人,在读硕士。E-mail:chenjb19@163.com

* 通讯作者。E-mail:ghlmg@sina.com

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为 4 份暖季型草坪草:沟叶结缕草‘Z123’、结缕草‘Z080’、狗牙根‘C291’、海雀稗‘P006’,均为江苏省中国科学院植物研究所草业中心新选育的坪用价值较高的优良品系。所有材料均取自江苏省中国科学院植物研究所草业中心试验地(北纬 32°02′,东经 118°28′)。

1.2 试验方法

材料的培养和处理主要参考 Qian 和 Fu^[14]的方法并略做修改。2006 年 8 月下旬从试验地取生长均匀一致、直径 10 cm 的草皮块,用自来水冲洗干净后,种植于装有干净河沙的塑料管中(直径 10 cm,深 40 cm),放于玻璃温室内进行预培养。期间每 4 d 浇 1 次水,每星期做 1 次修剪,其中‘Z123’修剪高度 2 cm,其他草 3 cm。3 周后开始盐处理,处理的 NaCl 浓度为 0(对照),5,10,20,30,40 和 50 g/L,共 7 个水平,每个水平 3 个重复。采用盐水灌溉的方法,把 NaCl 配成上述浓度的盐水后定期定量地浇入管中。为减少盐分积累,各个浓度的盐水每 2 d 浇 1 次,每次每管 200 mL,盐水浇入管中后多余的盐水从管底自由排出。开始盐处理时为减少盐冲击效应,盐浓度以每 2 d 5 g/L 的浓度逐步增加。

盐水处理 6 周后进行 1 次修剪,修剪下的枝叶弃之不用。其后由于气温降低,草坪草基本停止生长,但由于温室的保护作用,对照及部分盐度下的草坪草没有完全枯黄。此时盐水改为每周浇 1 次,并停止施肥,直到第 2 年 3 月中旬气温回升时恢复正常盐水浇灌和施肥。6 月中旬结束试验(约 9 个月的盐胁迫),记录绿叶盖度(目测估计绿叶覆盖管口的面积占管口总面积的百分比),然后对存活部分记数每盆枝条的数量,随机取 10 片从顶部倒数第 3 叶(成熟健壮的功能叶)测定叶片干重,并随机取 10 个枝条测量长度,以及地上部分枝条、地下茎和根系的干重。

整个试验在温室内进行,自然光照,冬季不加温。试验期间除冬季外,每 8 d 施 1 次复合肥(江苏省常州中农化肥有限公司,9 N-9 P₂O₅-7 K₂O),每月用量为 267 kg/hm²。

1.3 数据整理和统计分析

用 SPSS 13.0 对数据进行 Duncan 多重比较和 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 长期盐胁迫对地上部分生长的影响

2.1.1 绿叶盖度 结果显示(表 1),长期盐胁迫下,不同草坪草的绿叶盖度有显著变化。‘Z123’在 20 g/L 盐度范围内维持绿叶盖度 100%不变,在 50 g/L 时死亡,其抗盐性最强;‘P006’的表现与‘Z123’类似,抗盐性很强,但在 30 g/L 时的绿叶盖度比‘Z123’要低,在 40 g/L 时基本上死亡;再次为‘C291’,在 10 g/L 盐度范围内绿叶盖度不变,在 30 g/L 时基本上死亡;‘Z080’抗盐性最差,在 5 g/L 时即受到伤害,绿叶盖度下降到 90%,在 20 g/L 时死亡。

2.1.2 叶片生长 对经过长期盐胁迫后草坪草第 2 年新生的叶片研究表明(表 1),结缕草属的‘Z123’和‘Z080’叶重随盐度增加呈下降趋势,而海雀稗‘P006’和狗牙根‘C291’则在低盐度下(5~10 g/L 左右)叶片生长受到轻微促进,较高盐度下才显著抑制其生长。

2.1.3 枝条生长 长期盐胁迫下,4 种草坪草的枝条干重、长度和数量随盐度增加基本上呈下降趋势(表 2)。低盐度(5~10 g/L 左右)对‘C291’和‘P006’的枝条生长影响不显著,盐度继续升高时生长量迅速下降;‘Z123’在低盐度下除枝条数量有所增加外,枝条干重和长度即受到较大抑制,但在高盐度下抑制程度比‘C291’和‘P006’小,仍保持较高的枝条干重和枝条数量,表现出较强的抗盐性;‘Z080’则对盐比较敏感,随盐度增加枝条生长量迅速下降。

枝条干重与绿叶盖度的相关性比较高,除‘Z080’为显著水平外($P < 0.05$),其他 3 种草均达到极显著水平($P < 0.01$)(表 3)。枝条长度、数量和叶重是影响枝条干重的几个主要因素,其与枝条干重的相关性均较高,多数在 0.9 左右。但不同草种间存在差异,盐胁迫下‘P006’的枝条干重主要受枝条长度影响,其次为枝条数量,而叶重影响较小;‘Z123’主要也受枝条长度影响,其次为叶重和枝条数量;‘C291’和‘Z080’则主要受枝条数量影响,叶重和枝条长度的影响也很大(表 3)。

表 1 盐胁迫下 4 种草坪草的绿叶盖度和叶重

Table 1 Green leaf coverage and dry leaf weight of four turfgrasses under salt stress

盐度 Salinity (g/L)	不同草坪草的绿叶盖度				不同草坪草的单叶干重			
	Green leaf coverage of different turfgrasses (%)				Dry leaf weight of different turfgrasses (mg)			
	Z123	P006	C291	Z080	Z123	P006	C291	Z080
0	100±0.00 a	100±0.00 a	100±0.00 a	100±0.00 a	2.5±0.26 a	7.9±0.45 a	2.9±0.23 a	8.6±0.97 a
5	100±0.00 a	100±0.00 a	100±0.00 a	90±4.58 b	1.8±0.15 b	8.5±0.99 a	3.1±0.17 a	5.7±0.21 b
10	100±0.00 a	100±0.00 a	100±0.00 a	33±9.45 c	1.6±0.25 bc	8.5±1.48 a	3.3±0.21 a	4.9±0.38 b
20	100±0.00 a	100±0.00 a	57±6.03 b	0±0.00 d	1.3±0.12 c	7.8±1.36 a	2.2±0.06 b	—
30	83±2.65 b	28±11.55 b	3±2.65 c	0±0.00 d	0.8±0.06 d	5.3±0.90 b	1.2±0.35 c	—
40	13±3.22 c	3±1.00 c	0±0.00 c	0±0.00 d	0.8±0.06 d	—	—	—
50	0±0.00 d	0±0.00 c	0±0.00 c	0±0.00 d	—	—	—	—
F 值 Value	2 413.29**	370.85**	1191.15**	383.38**	43.55**	4.45*	40.95**	31.37**

注: 同列相同的字母表示在 0.05 水平下差异不显著; * 和 ** 分别表示差异显著性达到 0.05 水平和 0.01 水平。下同。

Note: Means followed by the same letter in the same column are not significantly different ($P < 0.05$); *, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. The same below.

表 2 盐胁迫下 4 种草坪草的枝条生长

Table 2 Shoot growth of four turfgrasses under salt stress

指标 Indicator	盐度 Salinity (g/L)	草种 Turfgrass			
		Z123	P006	C291	Z080
枝条干重 Dry shoot weight (g)	0	12.63±2.19 a	18.03±0.55 a	14.37±0.37 a	9.76±0.56 a
	5	9.81±0.56 b	17.20±1.17 a	14.30±0.28 a	4.12±0.74 b
	10	9.36±0.41 b	13.38±0.21 b	12.28±0.76 b	2.53±0.20 c
	20	6.51±0.28 c	6.84±0.43 c	5.16±1.46 c	—
	30	4.01±0.39 d	2.42±1.19 d	0.10±0.10 d	—
	40	0.50±0.19 e	0.09±0.03 e	—	—
	F 值 Value	62.59**	318.08**	206.45**	143.83**
枝条长度 Shoot length (cm)	0	18.96±0.35 a	33.99±4.09 a	22.81±0.61 a	23.17±2.72 a
	5	15.05±1.36 b	32.80±3.84 a	20.32±1.54 a	17.13±1.03 b
	10	12.54±0.43 c	30.81±1.09 a	22.47±1.28 a	12.53±0.24 c
	20	6.88±0.27 d	22.21±1.65 b	15.28±0.43 b	—
	30	4.28±0.51 e	9.14±1.74 c	4.34±3.95 c	—
	40	2.95±0.11 f	3.75±0.28 d	—	—
	F 值 Value	294.86**	78.17**	44.20**	29.99**
枝条数量 Shoot number (个 No.)	0	915.3±68.34 a	183.3±30.09 a	148.7±7.10 a	246.7±28.11 a
	5	978.7±83.35 a	149.7±6.51 ab	142.0±9.50 a	86.3±23.59 b
	10	989.3±130.40 a	137.0±14.42 b	133.7±26.58 a	64.7±14.22 b
	20	837.3±110.56 a	141.7±24.71 b	53.7±12.66 b	—
	30	566.7±77.05 b	59.0±22.54 c	3.7±3.51 c	—
	40	89.7±39.32 c	4.3±1.53 d	—	—
F 值 Value	45.56**	35.44**	61.10**	57.42**	

2.2 长期盐胁迫对地下部分生长的影响

不同草种在盐胁迫下地下茎生长和根系生长反应不同(表 4)。就地下茎而言,‘C291’在盐度达 10 g/L 时显著降低,‘P006’在盐度达 20 g/L 时开始显著下降,‘Z123’在盐度为 30 g/L 时才开始下降,而‘Z080’在 0~10 g/L 盐度内差异不显著。就根系而言,‘P006’和‘C291’的根系干重在 5 g/L 的盐水灌溉下比对照略有升高,其后分别在 20 和 10 g/L 时才较对照有显著下降;而‘Z123’和‘Z080’随灌溉水的盐度增加,根系干重一直呈下降趋势,并分别在 20 和 5 g/L 时较对照有显著下降。与‘P006’相比较,‘Z123’在 40 g/L 时仍有较高的根系干重。

表 3 4 种草坪草枝条干重与其他地上部分生长指标之间的相关性

Table 3 Correlations between dry shoot weight and other above-ground growth indicators in four turfgrasses

项目	草种	绿叶盖度	枝条长度	枝条数量	叶重
Item	Turfgrass	Green leaf coverage	Shoot length	Shoot number	Dry leaf weight
枝条干重 Dry shoot weight	Z123	0.809**	0.940**	0.885**	0.902**
	P006	0.852**	0.960**	0.877**	0.636*
	C291	0.973**	0.919**	0.987**	0.905**
	Z080	0.756*	0.894**	0.977**	0.953**

表 4 盐胁迫下 4 种草坪草的地下部分生长

Table 4 Below-ground growth of four turfgrasses under salt stress

盐度 Salinity (g/L)	不同草坪草的地下茎干重 Dry rhizome weight of different turfgrasses (g)				不同草坪草的根系干重 Dry root weight of different turfgrasses (g)			
	Z123	P006	C291	Z080	Z123	P006	C291	Z080
0	8.18±2.58 a	6.56±0.77 a	12.07±2.64 a	8.66±0.97 a	1.20±0.84 a	3.12±0.14 a	1.71±0.19 a	0.62±0.26 a
5	7.89±2.24 ab	5.83±1.78 ab	10.76±0.79 a	7.69±0.79 a	0.83±0.27 abc	3.19±0.90 a	1.74±0.33 a	0.29±0.20 ab
10	7.75±0.87 ab	5.81±1.65 ab	8.21±0.19 b	6.81±1.13 a	0.95±0.08 ab	2.78±0.33 a	1.16±0.30 b	0.15±0.01 b
20	5.35±1.52 ab	4.22±1.17 bc	4.73±0.83 c	—	0.29±0.02 bc	1.28±0.21 b	0.42±0.15 c	—
30	4.94±1.14 b	2.18±0.42 cd	0.53±0.77 d	—	0.24±0.06 c	0.56±0.14 bc	0.12±0.12 c	—
40	1.28±0.32 c	1.11±0.80 d	—	—	0.16±0.03 c	0.11±0.06 c	—	—
F 值 Value	7.77**	10.13**	37.04**	2.70	4.32*	33.37**	31.04**	4.61

2.3 长期盐胁迫对整个植株生长的影响

2.3.1 植株总干重 随盐度增加不同草种的植株总干重有不同程度的下降,其中‘Z080’在盐度为 5 g/L 时植株总干重较对照显著降低,‘P006’和‘C291’在 10 g/L 时显著下降,‘Z123’在 20 g/L 时才显著下降(表 5)。

植株总干重由枝条干重、地下茎干重和根系干重 3 部分组成,这 3 个组分均与其呈极显著的正相关,相关系数都在 0.8 以上,而且植株总干重与影响枝条干重的 3 个指标(枝条长度、枝条数量和叶重)也呈极显著的正相关,说明这些指标均能不同程度地影响植株总干重(表 6)。另外绿叶盖度也与植株总干重呈显著的正相关,表明两者在盐胁迫后变化的一致性,并且分别以这 2 个指标对 4 种草坪草进行抗盐性评价,其结果也是一致的,均表现出‘Z123’具有最高的抗盐性,其次为‘P006’和‘C291’,而‘Z080’抗盐性最差。

2.3.2 地下部分和地上部分干重比 结果显示(表 5),虽然盐在一定程度上抑制 4 种草坪草地上部分和地下部分(包括地下茎和根系)的生长,但地下部分和地上部分干重比却随盐度增加均呈上升趋势,并且越是抗盐性弱的品种,相同盐度下其比值增加速度越快。抗盐的草坪草‘Z123’和‘P006’在 40 g/L 的盐度下地下部分和地上部分干重比才有显著的增加,而抗盐性弱的草坪草‘Z080’在 5 g/L 的低盐度胁迫下就有显著增加。

3 结论与讨论

根据长期盐胁迫下 4 种草坪草的绿叶盖度和植株总干重变化,初步认为其抗盐性依次为‘Z123’>‘P006’>‘C291’>‘Z080’。在本试验中,‘Z123’和‘P006’能够适应 20 g/L 的盐水长期灌溉,‘C291’能够适应 10 g/L 的盐水长期灌溉,而‘Z080’不能适应 5 g/L 以上的盐水长期灌溉。虽然‘Z123’、‘P006’和‘C291’在维持绿叶盖度 100%不变的盐度下地上部分生长量有所下降,但枝条长度的部分抑制降低了草坪高度,反而减少了草坪的修剪

表 5 盐胁迫下 4 种草坪草的植株总干重及地下部分和地上部分干重比

Table 5 Total dry plant weight and the ratios of belowground aboveground weight of four turfgrasses under salt stress

盐度 Salinity (g/L)	不同草坪草的植株总干重				不同草坪草的地下部分和地上部分干重比 The ratios			
	Total dry plant weight of different turfgrasses (g)				of belowground aboveground weight of different turfgrasses			
	Z123	P006	C291	Z080	Z123	P006	C291	Z080
0	22.00±5.36 a	27.71±0.91 a	28.14±2.61 a	19.04±1.74 a	0.731±0.16 a	0.538±0.06 a	0.959±0.19 a	0.948±0.07 a
5	18.53±1.86 a	26.21±3.58 a	26.79±0.68 a	12.11±0.64 b	0.899±0.29 a	0.520±0.12 a	0.874±0.04 a	1.987±0.46 b
10	18.05±1.23 a	21.97±1.80 b	21.65±1.21 b	9.49±1.32 b	0.927±0.05 a	0.642±0.14 a	0.764±0.03 a	2.746±0.27 c
20	12.14±1.34 b	12.34±1.69 c	10.30±2.22 c	—	0.872±0.26 a	0.800±0.17 a	1.021±0.20 a	—
30	9.19±1.36 b	5.15±1.73 d	0.75±0.97 d	—	1.293±0.25 a	1.279±0.46 a	5.981±3.05 b	—
40	1.93±0.30 c	1.31±0.88 e	—	—	3.186±1.61 b	14.171±8.81 b	—	—
F 值 Value	26.21 **	95.63 **	141.03 **	42.06 **	5.54 **	6.95 **	10.53 **	25.03 **

表 6 4 种草坪草植株总干重与其他主要生长指标之间的相关性

Table 6 Correlations between total dry plant weight and other mainly growth indicators in four turfgrasses

项目 Item	草种 Turfgrass	绿叶盖度 Green leaf coverage	枝条干重 Dry shoot weight	地下茎干重 Dry rhizome weight	根系干重 Dry root weight	枝条数量 Shoot number	枝条长度 Shoot length	叶重 Dry leaf weight
植株总干重 Total dry plant weight	Z123	0.815 **	0.815 **	0.946 **	0.859 **	0.894 **	0.900 **	0.853 **
	P006	0.866 **	0.993 **	0.933 **	0.983 **	0.892 **	0.960 **	0.642 **
	C291	0.959 **	0.992 **	0.982 **	0.946 **	0.976 **	0.913 **	0.888 **
	Z080	0.768 *	0.980 **	0.806 **	0.851 **	0.937 **	0.846 **	0.955 **

管理,降低了维护成本。‘Z123’在维持绿叶盖度 100%不变的盐度下,仍能保持枝条数量基本不变,因此可以在一定程度上维持草坪密度不受影响。

暖季型草坪草整个植株的生物量由地上部分生物量、地下茎生物量和根系生物量组成的,长期盐胁迫下整个植株生物量下降是这 3 部分的生物量下降的综合表现。长期盐胁迫抑制了这 4 种暖季型草坪草的地上部分和地下茎的生长,没有发生低盐度诱导其生长增加的现象。在一些盐胁迫 2~3 个月以内的短期实验中,对一定浓度的盐胁迫是否能够诱导地上部分生长的结论有矛盾,Dudeck 等^[15,16]的研究结果表明,盐不能诱导狗牙根和海雀稗的地上部分生长增加,与本试验结果一致,但 Ramakrishnan 和 Nagpal^[17]、Pessarakli 和 Touchane^[18]以及陈静波等^[19]研究发现低盐度促进其地上部分生长。Qian 等^[9]对结缕草属内的一些品种和其杂交后代的研究表明,不同供试材料的反应不一致,短期盐处理既有促进地上部分生长的现象发生,也有抑制现象存在。本试验中长期盐胁迫也不同程度地抑制了 4 种草坪草根系生长,但在 5 g/L 时轻微促进了狗牙根和海雀稗的根系生长。多数的短期盐胁迫试验均表明,低盐度的胁迫能促进狗牙根、海雀稗、结缕草和沟叶结缕草根系生长,且增加幅度较大^[9,15~18]。陈静波等^[19]同样发现 5 g/L 左右的低盐度短期胁迫促进了‘C291’和‘Z080’的根系生长,而对‘Z123’的影响不显著,这与本试验结果不一致。因此推测短期的低盐度胁迫诱导根系生长,可能是这些植物对外界盐逆境的一种短期的应激反应,而这种反应不能在长期盐水灌溉下维持。另外这种反应持续时间长短可能也与不同物种的抗盐机制有关。结缕草属植物通过叶片上的盐腺分泌盐分是其主要抗盐机制^[20],而这一过程需要消耗大量能量^[21],这必然导致分配到根系的能量(光合产物)减少,因此长期盐胁迫后根系生长量减少,而没有分泌能力的海雀稗和分泌能力比较弱的狗牙根^[7]可以把较多能量分配到根系,用于维持其生长,因此长期低盐胁迫对根系生长基本上没有影响。

总的来看,地上部分对盐的敏感性比地下部分强,随盐度增加地下部分和地上部分干重比呈增加趋势,甚至在一些较高盐度下,这个比值超过 1,即地下部分的生长量超过了地上部分。保持相对较高的地下部分生物量,反映了这些植物的一种抗盐机制。通过减缓根系生长量下降,可以最大限度地保持植物对营养物质和水分的吸

收,减轻由于盐胁迫引起的营养失调和生理干旱。而在一些研究中也表明,暖季型草坪草的地下茎可以贮藏养分和水分,在其抗寒性、抗旱性中具有重要作用^[22,23]。本试验的结果说明地下茎可能在暖季型草坪草的抗盐性中也起重要作用。

叶片是植物光合作用的主要器官。逆境下尽量保持植物原有的叶面积,可能减少逆境对其光合作用的影响。禾本科的小麦(*Triticum aestivum*)、玉米(*Zea mays*)、高粱(*Sorghum bicolor*)等非盐生植物的叶片在盐胁迫下一般表现出叶重下降的现象^[24,25]。本试验中,长期盐胁迫下结缕草属的‘Z080’和‘Z123’的叶重显著下降,而‘C291’和‘P006’分别在 10 和 20 g/L 的盐度范围内叶重不受影响,甚至略有增加的趋势。从细胞水平看,叶片变小是由于细胞分裂和细胞体积增大受抑制,使细胞数量下降和体积变小引起的^[24]。从生理上看,细胞变小可能是由细胞膨压变小^[26]、细胞壁变硬^[27]、K、Ca、Mg 等营养离子缺乏^[28]等原因造成的。在盐胁迫对叶片重量的影响中,本试验中‘C291’和‘P006’的结果与其他植物的结果有差异,是由于物种差异引起的,还是由于植物对盐胁迫不同时间段产生的伤害性反应或适应性反应上的差异引起的,还需要进一步从解剖结构和生理等角度的试验来验证。狗牙根‘C291’和海雀稗‘P006’在较低盐度的长期胁迫下能够维持叶重基本不变,能够减少盐胁迫引起的叶面积下降,从而减少光合作用的下降,提高其抗盐性,是其对长期盐胁迫的一种适应性生长反应。

从草种角度看,不同草种的同一器官对盐胁迫的反映不一致。5~10 g/L 左右的低盐度下,狗牙根‘C291’和海雀稗‘P006’的枝条干重、枝条长度、叶重和根系干重基本不受盐度的影响,甚至略有促进生长,其后随盐度增加则迅速下降,而结缕草属‘Z123’和‘Z080’的上述指标则在所有盐度下均呈直线下降,即使在 5 g/L 左右的低盐度下,生长已经明显受到抑制。结缕草‘Z080’在所有盐度下生长量下降最迅速,表现出较弱的抗盐性,而沟叶结缕草‘Z123’生长量下降比较缓慢,尤其是在较高盐度下,生长抑制程度反而没有狗牙根‘C291’和海雀稗‘P006’大,表现出较强的抗盐性。因此较高盐度下维持相对较高的生长量,是抗盐性强的一种标志。长期盐胁迫下不同草坪草同一器官的反映不一致,可能是由于不同草坪草抗盐机制差异引起的。

参考文献:

- [1] 吴欣明,王运琦,刘建宁,等. 羊茅属植物耐盐性评价及其对盐胁迫的生理反应[J]. 草业学报,2007,16(6):67-73.
- [2] 张飞,丁建丽,塔西甫拉提·特依拜,等. 干旱区典型绿洲土壤盐渍化特征分析——以渭干河—库车河三角洲为例[J]. 草业学报,2007,16(4):34-40.
- [3] Qian Y L, Mecham B. Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways[J]. *Agronomy Journal*,2005,97:717-721.
- [4] 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.
- [5] 张耿,高洪文,王赞,等. 偃麦草属植物苗期耐盐性指标筛选及综合评价[J]. 草业学报,2007,16(4):55-61.
- [6] 李品芳,杨志成. NaCl 胁迫下高羊茅生长及 K⁺、Na⁺ 吸收与运输的动态变化[J]. 草业学报,2005,14(4):58-64.
- [7] Marcum K B, Murdoch C L. Salinity tolerance mechanisms of six C₄ turfgrasses[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*,1994,119:779-784.
- [8] 周兴元,曹福亮. 盐胁迫对草坪草金属离子吸收及分配的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2005,29(6):31-34.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Marcum K B, Pessarakli M. Salinity tolerance and salt gland excretion efficiency of bermudagrass turf cultivars[J]. *Crop Science*,2006,46:2571-2574.
- [12] 王红玲,阿不来提·阿不都热依木,齐曼. Na₂SO₄ 胁迫下狗牙根 K⁺、Na⁺ 离子分布及其抗盐性的评价[J]. 中国草地,2004,26(5):37-42.
- [13] Zhao K, Fan H, Ungar I A. Survey of halophyte species in China[J]. *Plant Science*,2002,163:491-498.
- [14] Qian Y L, Fu J M. Responses of creeping bentgrass to salinity and mowing management: Carbohydrate availability and ion ac-

cumulation[J]. Hort Science, 2005, 40(7): 2170-2174.

- [15] Dudeck A E, Singh S, Giordano C E, *et al.* Effects of sodium chloride on *Cynodon turfgrasses*[J]. Agronomy Journal, 1983, 75: 927-930.
- [16] Dudeck A E, Peacock C H. Effects of salinity on seashore *Paspalum turfgrasses*[J]. Agronomy Journal, 1985, 77: 47-50.
- [17] Ramakrishnan P S, Nagpal R. Adaptation to excess salts in an alkaline soil population of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. [J]. Journal of Ecology, 1973, 61: 369-381.
- [18] Pessarakli M, Touchane H. Growth responses of bermudagrass and seashore *Paspalum* under various levels of sodium chloride stress[J]. Journal of Food Agriculture and Environment, 2006, 4(3&4): 240-243.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Lüttge U. Structure and function of plant glands[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1971, 22: 23-44.
- [22] 李亚, 凌萍萍, 刘建秀, 等. 中国结缕草属植物(*Zoysia* spp.)地下部分分布和形态类型的多样性[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(2): 39-44.
- [23] 郑玉红, 刘建秀, 陈树元. 我国狗牙根种质资源根状茎特征的研究[J]. 草业学报, 2003, 12(2): 76-81.
- [24] Hu Y, Schmidhalter U. Effect of salinity on the composition, number and size of epidermal cells along the mature blade of wheat leaves[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2007, 49(7): 1016-1023.
- [25] Volkmar K M, Hu Y, Steppuhn H. Physiological responses of plants to salinity, a review[J]. Canadian journal of plant science, 1998, 78(1): 19-27.
- [26] Tomos D, Pritchard J. Biophysical and biochemical control of cell expansion in roots and leaves[J]. Journal of Experimental Botany, 1994, 45: 1721-1731.
- [27] Neumann P M, Azaizeh H, Leon D. Hardening of root cell walls: A growth inhibitory response to salinity stress[J]. Plant, Cell & Environment, 1994, 17(3): 303-309.
- [28] Bernstein N, Silk W K, Läuchli A. Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress: Possible role of some mineral elements in growth inhibition[J]. Planta, 1995, 196(4): 699-705.

Growth responses of four warm season turfgrasses to long-term salt stress

CHEN Jing-bo¹, YAN Jun^{1,2}, ZHANG Ting-ting^{1,2}, LIU Jian-xiu¹, GUO Hai-lin¹

(1. Institute of Botany, Jiangsu Province & Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China;

2. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The need for saline-tolerant turfgrasses is increasing because of the turfgrass establishment on highly saline soil in arid and seashore regions or the increased utilization of saline water for greenland irrigation. The salinity tolerance and the growth responses of four new selections of warm season turfgrasses (*Zoysia matrella*) ‘Z123’, *Z. japonica* ‘Z080’, *Cynodon dactylon* ‘C291’, and *Paspalum vaginatum* ‘P006’) to long-term salt stress were evaluated. Based on green leaf coverage and total dry weight the salinity tolerance of these turfgrasses decreased in the order: ‘Z123’ > ‘P006’ > ‘C291’ > ‘Z080’. Leaf weight, dry shoot weight and shoot length of ‘Z123’ and ‘Z080’ were significantly decreased after long-term salt stress, while those of ‘P006’ and ‘C291’ were not affected until salinities were higher than 10–20 g/L. ‘Z123’, ‘C291’ and ‘P006’ maintained stable shoot numbers under 20, 10 and 5 g/L stress respectively. There was a significant decrease in ‘Z080’ at 5 g/L stress. Dry rhizome weights and dry root weights of the four turfgrasses were not significantly affected at low salinities (about 5–10 g/L), however, dry root weight was more stable in ‘C291’ and ‘P006’ at 5 g/L. The ratios of underground biomass to aboveground biomass of the four turfgrasses all increased with increased salinities, a trend that was quicker in lower salinity tolerance turfgrass. The same organs of the four turfgrasses had different responses to salt stress and different mechanisms for salinity tolerance.

Key words: long-term salt stress; warm season turfgrass; growth response; adaptation