

# 四种暖季型草坪植物的盐胁迫反应及其耐盐阈值

刘一明,程凤枝,王齐,胡玉咏,王兆龙\*

(上海交通大学草业科学研究所,上海 201101)

**摘要:**以百慕大‘Tifdwarf’、假俭草、海滨雀稗‘Salam’和结缕草4种暖季型草坪植物为材料,研究了不同盐(NaCl)浓度处理对草坪植物生长和生理的影响。结果表明,海滨雀稗耐盐性最好,海滨雀稗的目测质量、相对生长率、叶片相对含水量、叶绿素指数、光化学效率在600 mmol/L盐浓度处理36 d时分别下降了52.2%,76.2%,62.1%,59.4%和72.9%,相对电导率上升至71.5%,与其他3个草种相比,海滨雀稗各指标仍能维持较高的水平,膜伤害程度相对较小;结缕草耐盐性次之,600 mmol/L盐处理36 d时目测质量、相对生长率、叶片相对含水量、叶绿素指数、光化学效率分别下降了85.2%,85.3%,70.5%,73.9%和49.3%,相对电导率上升至81.8%,表现出较好的耐盐性;耐盐性表现很差的为百慕大和假俭草,在600 mmol/L盐浓度处理36 d时,2种草的各指标皆下降至0,膜伤害程度达到最大,草坪草已枯死。盐处理36 d时,将生长量与盐处理浓度建立回归方程,以生长量下降50%作为耐盐阈值的确定指标,求得4个草种的耐盐阈值分别为:假俭草222.4 mmol/L,百慕大232.4 mmol/L,结缕草374.8 mmol/L和海滨雀稗474.0 mmol/L。

**关键词:**暖季型草坪草;盐胁迫;耐盐阈值

**中图分类号:**Q945.78;S688.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2009)03-0192-08

\* 盐胁迫是限制草坪草生长的主要因素之一。据联合国粮农组织(FAO)2005年调查表明,全世界约有 $8 \times 10^8$  hm<sup>2</sup>的土地受到盐渍化的影响<sup>[1]</sup>。我国盐渍土总面积约 $1 \times 10^8$  hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>,主要分布在东部沿海及北方干旱地区,盐渍土给城市绿化特别是沿海城市的草坪建植带来了很大困难,研究草坪草对盐胁迫的反应,可以为不同含盐量的盐碱地区草坪的栽培种植提供理论依据。

目前,对暖季型草坪草盐胁迫下反应的研究已很多,主要集中在植株生长和生物量变化<sup>[3,4]</sup>、离子变化(Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>等)<sup>[5,6]</sup>及有机渗透调节物质(脯氨酸、甘氨酸甜菜碱)的变化上<sup>[7]</sup>,而较少从生理方面对暖季型草坪草盐胁迫反应进行综合研究,并且对耐盐阈值没有形成一个明确的研究方法。本研究以百慕大(*Cynodon dactylon* × *C. transadlensis*)、假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)、海滨雀稗(*Paspalum vaginatum*)和结缕草(*Zoysia matrella*)的生长变化,并结合其叶绿素指数、叶绿素荧光、叶片相对含水量及相对电导率等生理指标,研究了4个暖季型草坪草的抗盐性差异,以探讨不同盐浓度处理下暖季型草的盐胁迫反应及耐盐阈值,为不同盐碱地上草坪草的建植提供指导依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

参试的草坪草品种材料分别为百慕大、假俭草、海滨雀稗和结缕草,草坪材料取自上海交通大学草业科学研究所试验农场。

### 1.2 试验设计

从草坪试验田取生长均匀一致的百慕大、假俭草、海滨雀稗和结缕草成熟草皮,经流水洗净土壤后栽植于高15 cm,口径18.5 cm的塑料盆内。栽培基质为沙与土的混合基质,每盆基质5.0 kg。沙经清水冲洗后晾干,过筛(孔径为4 mm)后备用,按沙:土=2:1的体积比混匀装盆。草坪草定植后,于温度(25±3)℃,光周期为12 h的温室内养护管理。

\* 收稿日期:2008-08-07;改回日期:2008-11-04

基金项目:国家十一五科技支撑计划(2006BAD16B09-4,2006BAD01A19-3)和上海市科委项目(073119N02)资助。

作者简介:刘一明(1981-),男,山东沂水人,在读博士。E-mail: liuyiming@sytu.edu.cn

\* 通讯作者。E-mail: turf@sytu.edu.cn

草坪草在温室内培养 2 个月,此时草坪草已长满盆并非常健壮,将其修剪至相同高度,用 100,200,300,400,500 和 600 mmol/L 的 NaCl 溶液进行浇灌处理,盐处理设 3 次重复,不用盐处理为对照。共 96 盆。

盐处理时,将盆浸入相应设计的盐浓度的盆里,当盆内基质完全饱和后取出,使盆内盐浓度均匀一致,等完全失去重力水、盆内水含量约为饱和持水量的 80% 时称重,作为对照基质的含水量标准,处理开始后每天对盆进行称重,并用蒸馏水补充因蒸腾蒸发而损失的水分,使盐处理浓度保持恒定。在盐处理后的第 6,12,18,24,30 和 36 天进行指标测定。

### 1.3 测定项目与测定方法

**1.3.1 草坪质量评定** 目测法,参照美国 NTEP 的标准,以草坪的色泽、密度、质地、均一性进行评分。最好质量为 9 级,死亡草坪为 0 级,6 级为可接受的正常草坪质量。

**1.3.2 生长量** 用直尺测量各草坪草的垂直生长高度。根据相对生长率的大小来比较草坪草的耐盐能力。相对生长率 = 处理垂直生长高度 / 对照垂直生长高度  $\times 100\%$ 。

**1.3.3 叶片相对含水量** 取草坪叶片样品(5~10 个叶),放入冰盒带回实验室,吸干表面水分,立即用万分之一的天平称其鲜重( $W_f$ );然后将其浸入装有蒸馏水的试管中封口浸泡 5 h,称其饱和重( $W_t$ );最后在 105℃ 的烘箱中杀青 30 min,80℃ 烘干 24 h 后称其干重( $W_d$ )。计算公式:叶片相对含水量 =  $(W_f - W_d) / (W_t - W_d) \times 100\%$ 。

**1.3.4 质膜透性** 用相对电导率的大小来表示细胞膜受伤害的程度。采用电导率法并加以改进。每次从处理盆内随机剪下功能叶片,放入预先准备好的冰盒内带回实验室。用去离子水冲试管,加 10 mL 去离子水,测初电导率  $S_0$  ( $S_0 < 0.4$ );将叶片用蒸馏水洗净,用吸水纸吸干叶片上的水分,然后准确称取 0.2 g,剪成 1 cm 的小段,置于已测初电导率值的试管中,振荡 24 h,然后用 DDS-320 型数显电导率仪(上海大普仪器有限公司生产)测其电导值  $S_1$ 。再将试管封口置沸水浴中 30 min 以杀死植物组织,取出试管后用自来水冷却至室温,摇匀后用电导仪测其电导值  $S_2$ 。相对电导率( $L$ ) =  $(S_1 - S_0) / (S_2 - S_0) \times 100\%$ 。

**1.3.5 光化学效率** 用 OS1-FL 型叶绿素荧光仪测定。

**1.3.6 叶绿素指数** 用 CM-1000 手持式叶绿素仪进行测量。

**1.3.7 耐盐阈值的确定** 植物的生长量是其耐盐能力的重要衡量指标<sup>[8~10]</sup>,多数研究均以植物生长量或生物量下降 50% 时的盐浓度作为其耐盐阈值<sup>[11~15]</sup>。本试验分别以盐处理 36 d 时的生长和生理指标进行分析,以不同盐浓度为自变量并建立回归方程,目测质量的耐盐阈值设为可接受目测质量值(6.0),相对生长率、叶片相对含水量、叶绿素指数和光化学效率均以下降到对照的 50% 来分别求得 4 个草种的耐盐阈值。

### 1.4 数据分析

采用 SAS 软件进行方差分析及最小显著差异性检验(LSD 法) ( $P < 0.05$ )。为了更直观而清楚的显示各盐浓度处理间草坪目测质量及草坪生长的差异显著性,本研究采用在图表上方标出  $LSD_{0.05}$  值的方法<sup>[16,17]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫对草坪草目测质量的影响

百慕大在 100 和 200 mmol/L 的盐浓度处理下目测质量的变化不显著(图 1),从 300 mmol/L 开始,百慕大目测质量达差异显著水平( $P < 0.05$ ),在 500 mmol/L 处理的第 18 天及 600 mmol/L 处理的第 12 天,百慕大目测质量下降至 0,此时百慕大已死亡。假俭草目测质量的变化趋势同百慕大基本一致。海滨雀稗在 100~300 mmol/L 的盐浓度处理下,目测质量变化不显著,从 400 mmol/L 开始,目测质量达差异显著水平( $P < 0.05$ ),600 mmol/L 盐浓度处理 36 d 时,目测质量下降至 4.3,下降了 52.2%。结缕草也从 400 mmol/L 开始,目测质量达差异显著水平( $P < 0.05$ ),600 mmol/L 盐浓度处理 36 d 时,结缕草目测质量下降至 1.3,下降了 85.2%。对 4 个草种目测质量进行比较可以看出,海滨雀稗耐盐性最好,其次为结缕草,百慕大和假俭草耐盐性最差。

### 2.2 盐胁迫对草坪草生长的影响

百慕大相对生长率的下降幅度从 200 mmol/L 的盐浓度处理开始全部达显著差异( $P < 0.05$ ),500 mmol/L 盐浓度处理的第 18 天及 600 mmol/L 盐浓度处理的第 12 天,百慕大相对生长率下降到 0,此时草坪草已枯死(图

2)。同百慕大一样,假俭草相对生长率的下降幅度也从 200 mmol/L 开始全部达显著差异( $P < 0.05$ ),在 500 mmol/L 盐浓度处理的第 18 天及 600 mmol/L 盐浓度处理的第 12 天,假俭草相对生长率下降到 0。海滨雀稗从 400 mmol/L 开始,相对生长率的下降幅度全部达显著差异( $P < 0.05$ ),在 600 mmol/L 盐浓度处理的 36 d,海滨雀稗相对生长率下降了 76.2%。结缕草也从 400 mmol/L 盐浓度处理开始,相对生长率的下降幅度全部达显著差异( $P < 0.05$ ),在 600 mmol/L 盐浓度处理的 36 d,结缕草相对生长率下降了 85.3%。对 4 个草种相对生长率进行比较,海滨雀稗相对生长率下降最慢,耐盐性表现最好,其次为结缕草,表现最差的为百慕大和假俭草。

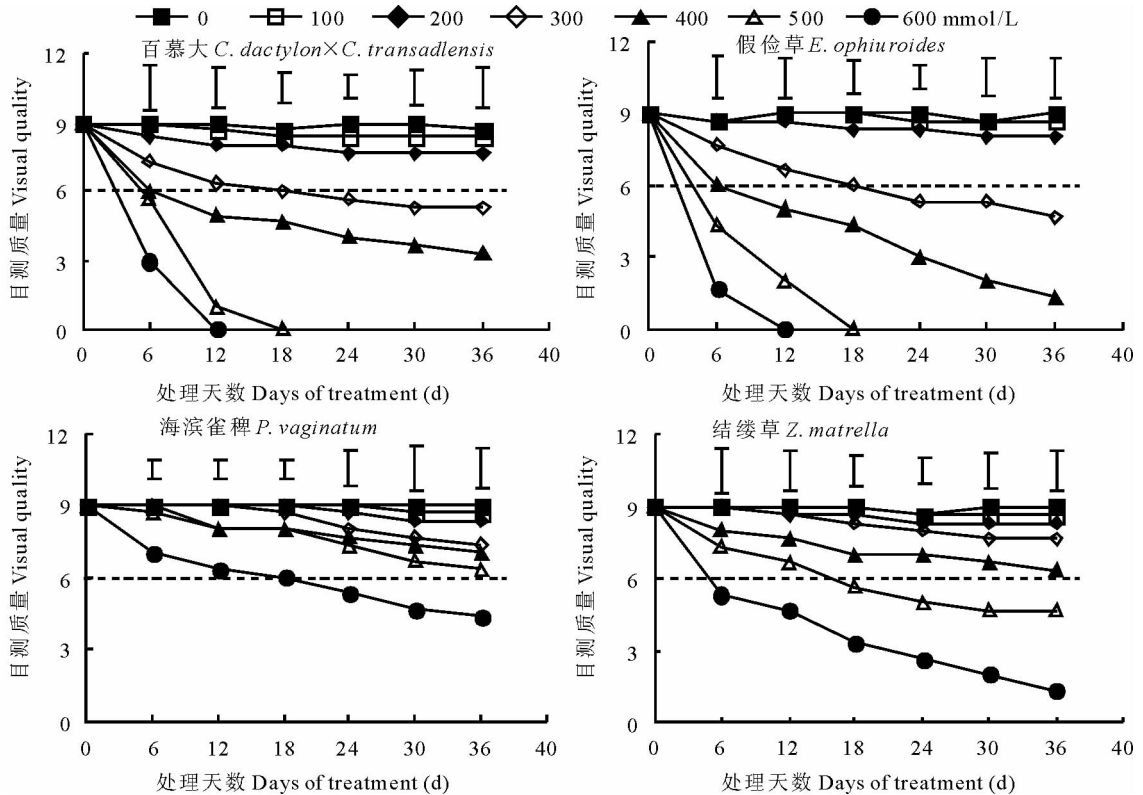


图 1 不同盐浓度处理对草坪草目测质量的影响

Fig. 1 Effects of salt concentrations on visual quality of 4 turfgrasses

表中各处理天数上方的竖线表示本处理天数时不同盐浓度处理间的差异显著性(LSD<sub>0.05</sub>值),下同 Vertical bars indicate LSD ( $P=0.05$ ) for treatment comparisons on a given day. The same below

### 2.3 盐胁迫对草坪草叶片相对含水量的影响

盐处理 36 d 时,4 个草种的叶片相对含水量在 100 mmol/L 的盐浓度时都达到显著差异( $P < 0.05$ )(图 3),说明 4 个草种的叶片相对含水量对盐胁迫的响应较快。盐处理 36 d 时,随着盐浓度的升高,4 个草种的叶片相对含水量都急剧下降,当盐浓度升到 500 mmol/L 时,百慕大与假俭草的叶片相对含水量都下降至 0,草坪草处于死亡状态,而海滨雀稗和结缕草在 500 mmol/L 盐浓度处理下,叶片相对含水量分别下降了 58.4% 和 60.9%,600 mmol/L 时,海滨雀稗和结缕草叶片相对含水量则分别下降了 62.1% 和 70.5%。可以看出,在 4 个草种中海滨雀稗叶片相对含水量下降相对较慢,耐盐性表现最好,结缕草次之,百慕大和假俭草叶片相对含水量下降最快。

### 2.4 盐胁迫对草坪草叶片叶绿素指数的影响

叶绿素指数可以反映叶绿素含量的多少。盐处理 36 d,百慕大和假俭草在 100 mmol/L 的盐浓度处理时叶绿素指数达到显著差异(图 4),结缕草在 200 mmol/L 时达到显著差异,海滨雀稗在 300 mmol/L 时达到显著差异,说明百慕大和假俭草的叶绿素含量对盐胁迫的响应较快,海滨雀稗的叶绿素含量对盐胁迫的响应最慢。盐处理 36 d 时,百慕大和假俭草随盐浓度的升高,叶绿素指数急剧下降,盐浓度为 500 mmol/L 时,2 种草的叶绿素指

数都下降至 0, 草坪草已枯死, 海滨雀稗和结缕草随盐浓度的升高, 叶绿素指数也呈明显下降趋势, 但下降幅度比百慕大和假俭草要小, 并且在 600 mmol/L 的盐浓度处理下, 海滨雀稗和结缕草叶绿素指数分别下降了 59.4% 和 73.9%, 2 种草仍处于存活状态。较其他 3 个草种, 海滨雀稗叶绿素指数下降最慢, 耐盐性表现最好, 结缕草也表现出较好的耐盐性, 百慕大和假俭草耐盐性最差。

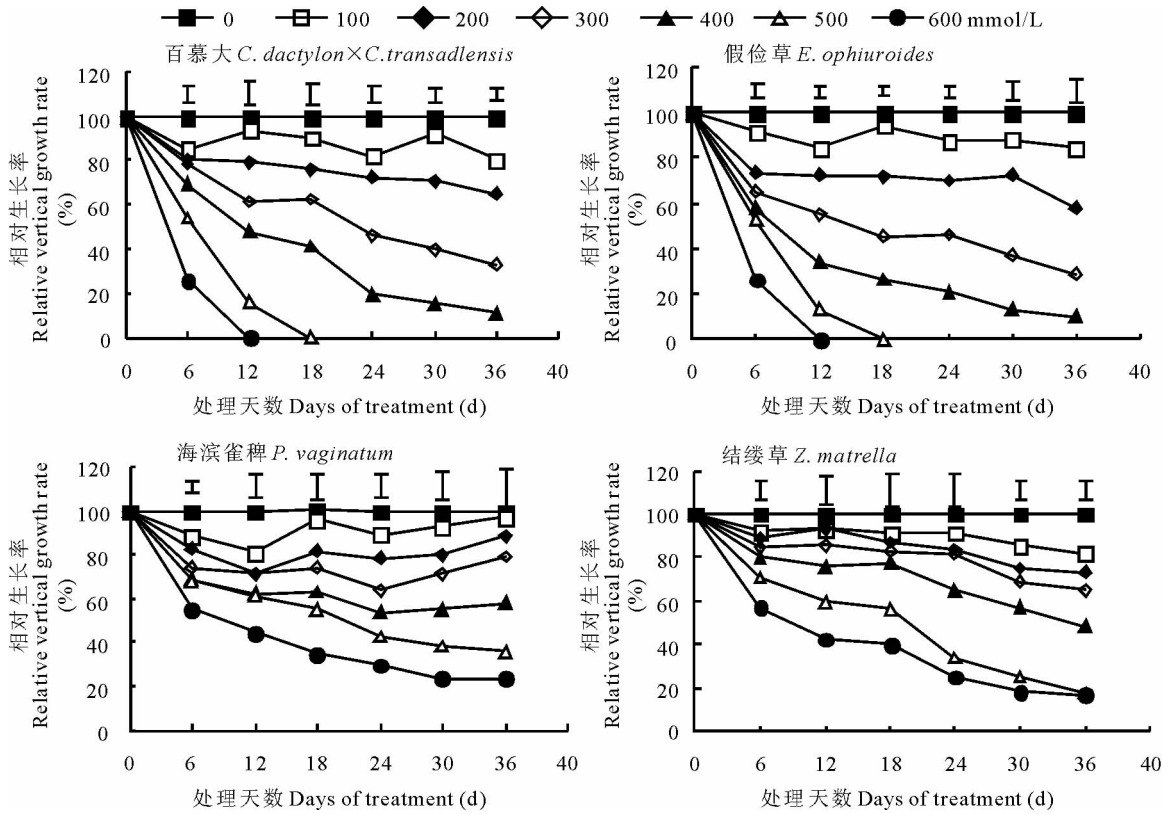


图 2 不同盐浓度处理对草坪草生长的影响

Fig. 2 Effect of different NaCl treatment on the shoot growth of turfgrass

### 2.5 盐胁迫对草坪草叶片光化学效率的影响

叶绿素荧光是 PS II 最大光化学量子产量, 其变化代表 PS II 光化学效率的变化, 叶绿素荧光信号能快速灵敏地反映植物生理状态, 可直接或间接了解光合作用过程<sup>[18]</sup>。盐处理 36 d 时, 随盐浓度处理的提高, 4 个暖季型草光化学效率都呈明显下降趋势(图 5)。百慕大和假俭草随着盐浓度的升高光化学效率迅速下降, 在 500 mmol/L 的盐浓度处理时光化学效率皆下降至 0, 而海滨雀稗和结缕草在 500 mmol/L 的盐浓度处理时光化学效率分别下降 49.3% 和 63.3%。海滨雀稗光化学效率下降最慢, 结缕草下降相对较慢, 假俭草和百慕大光化学效率下降最快。

### 2.6 盐胁迫对草坪草叶片膜透性的影响

处理 36 d 时, 盐胁迫对 4 个草种相对电导率的影响显著 ( $P < 0.05$ ) (图 6), 都呈不断升高的趋势, 并且 4 个草种在 100 mmol/L 的盐浓度处理时都达到差异显著水平 ( $P < 0.05$ ), 说明 4 个草种的相对电导率对盐胁迫的响应较快。盐处理 36 d 时, 百慕大和假俭草随盐浓度的升高, 相对电导率迅速升高, 在 300 mmol/L 时相对电导率分别为 57.0% 和 61.2%, 表明此时膜伤害程度已非常严重, 盐浓度为 500 mmol/L 时, 2 种草的相对电导率上升到最大, 草坪草已枯死, 海滨雀稗和结缕草随盐浓度的升高, 相对电导率也呈明显升高趋势, 升高幅度比百慕大和假俭草小, 海滨雀稗和结缕草在 300 mmol/L 的盐浓度处理时, 相对电导率仅为 37.3% 和 42.4%, 显著低于百慕大和假俭草。

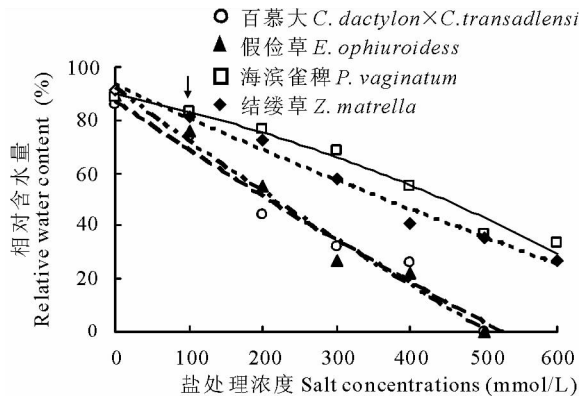


图3 盐梯度处理 36 d 对草坪草叶片相对含水量的影响

Fig. 3 Effect of different NaCl treatment on the RWC of turfgrass

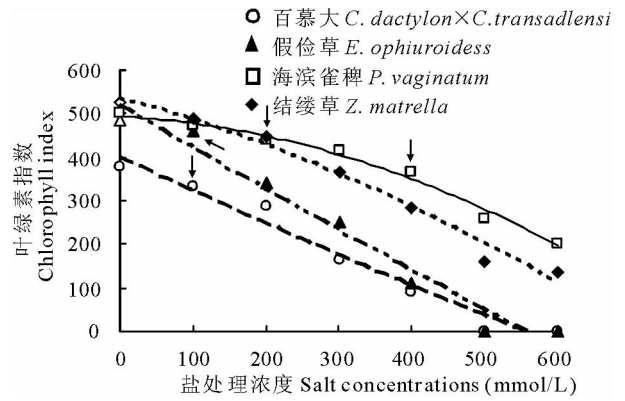


图4 不同盐浓度处理 36 d 对草坪草叶片叶绿素指数的影响

Fig. 4 Effect of different salt treatment on the leaf chlorophyll index of turfgrass

↓表示与对照相比出现差异显著的起始浓度( $P < 0.05$ ),下同 ↓ Indicate data differed significantly at  $P < 0.05$  with control, the same below

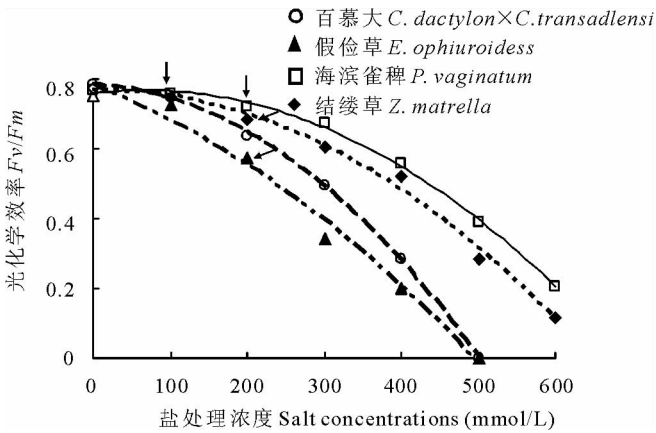


图5 盐梯度处理 36 d 对草坪草叶片光化学效率的影响

Fig. 5 Effect of different NaCl treatment on the  $F_v/F_m$  of turfgrass

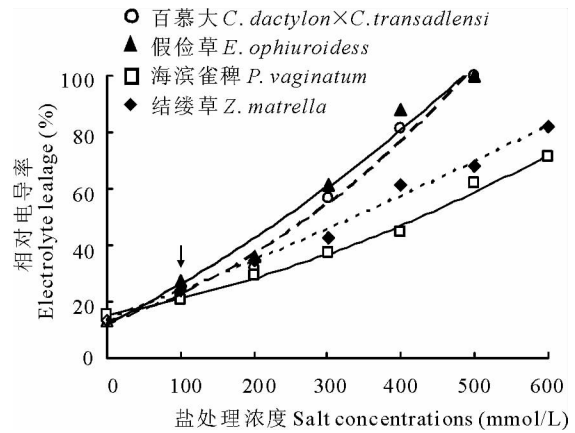


图6 盐梯度处理 36 天对草坪草叶片相对电导率的影响

Fig. 6 Effect of different NaCl treatment on the electricity conductivity of turfgrass

## 2.7 耐盐阈值的确定

4 个草种所求得的各项指标耐盐阈值中,都以生长量求得的耐盐阈值为最小(表 1),说明以生长量下降 50% 时的盐浓度作为该草种的耐盐阈值比较可靠,因此,4 个草种的耐盐阈值分别为:假俭草 222.4 mmol/L,百慕大 232.4 mmol/L,结缕草 374.8 mmol/L,海滨雀稗 474.0 mmol/L。

## 3 讨论

植物在土壤盐分过多的条件下表现为吸水困难,生物膜破坏,光合速率下降,叶绿素破坏等生理代谢紊乱,最终导致植物生长受到抑制<sup>[19]</sup>。本研究发现,随着盐处理浓度的升高及处理时间的延长,各草坪草的目测质量和相对生长率都呈明显下降趋势。百慕大和假俭草的目测质量和相对生长率随着盐处理浓度的升高及时间的延长下降迅速,至盐处理 36 d,盐浓度处理大于 300 mmol/L 时假俭草和百慕大生长不良及死亡,在 500 mmol/L 盐浓度处理的 18 d 和 600 mmol/L 盐浓度处理的 12 d,百慕大和假俭草的目测质量都下降为 0,草坪草达死亡状态;而海滨雀稗和结缕草目测质量和相对生长率随着浓度的升高及时间的延长下降相对较慢,在盐浓度 600 mmol/L 处理 36 d 时,2 种草仍维持存活状态,从而说明海滨雀稗和结缕草具有较高的耐盐性。

4 个草种的叶片相对含水量和相对电导率在 100 mmol/L 的处理时都达到显著差异,说明此浓度已对 4 个草坪草产生水分胁迫和膜伤害,其原因可能是叶片相对含水量是植物细胞正常生理活动的基础,当植物受各种逆境

胁迫时往往会引起叶片相对含水量的下降,盐胁迫首先会降低植物吸收水分的能力而导致低生长速度,造成的水分亏缺即“生理干旱”效应,然后钠离子进入蒸腾流而逐渐伤害蒸腾作用中叶片的细胞造成单盐毒害或过量  $\text{Na}^+$  毒害,最后导致草坪草叶绿素含量的下降,从而使草坪草光合效率的随之下降<sup>[1,20~22]</sup>。

表 1 4 个草种 36 d 各指标与盐浓度间的回归

Table 1 Linear regression of four species parameters (measured at the end of experiment, 36 d after treatment) vs. salt concentration

草种 Turfgrass species	指标 Parameters	回归方程 Regression equation	阈值 Threshold (mmol/L)
百慕大 <i>C. dactylon</i> × <i>C. transadlensis</i>	目测质量 Visual quality	$y = -4E-05x^2 + 0.0008x + 8.6786$	261.4
	生长量 Growth amount	$y = 0.0002x^2 - 0.2832x + 104.81$	232.4
	相对含水量 Relative water content	$y = 4E-05x^2 - 0.1872x + 86.843$	251.0
	叶绿素指数 Chlorophyll index	$y = 0.0001x^2 - 0.7855x + 399.84$	295.4
	光化学效率 $F_v/F_m$	$y = -3E-06x^2 - 9E-05x + 0.784$	364.4
假俭草 <i>E. ophiuroides</i>	目测质量 Visual quality	$y = -3E-05x^2 - 0.0061x + 9.369$	243.9
	生长量 Growth amount	$y = 0.0001x^2 - 0.2652x + 104.03$	222.4
	相对含水量 Relative water content	$y = 4E-05x^2 - 0.2021x + 91.622$	246.9
	叶绿素指数 Chlorophyll index	$y = 8E-05x^2 - 0.9781x + 518$	299.9
海滨雀稗 <i>P. vaginatum</i>	光化学效率 $F_v/F_m$	$y = -1E-06x^2 - 0.0008x + 0.7818$	305.9
	目测质量 Visual quality	$y = -1E-05x^2 - 0.001x + 8.9127$	488.2
	生长量 Growth amount	$y = -0.0002x^2 - 0.038x + 101.46$	474.0
	相对含水量 Relative water content	$y = -7E-05x^2 - 0.0587x + 89.784$	499.4
结缕草 <i>Z. matrella</i>	叶绿素指数 Chlorophyll index	$y = -0.0007x^2 - 0.0898x + 493.65$	554.3
	光化学效率 $F_v/F_m$	$y = -2E-06x^2 + 5E-05x + 0.7662$	551.2
	目测质量 Visual quality	$y = -3E-05x^2 + 0.0046x + 8.7381$	418.0
	生长量 Growth amount	$y = -5E-05x^2 - 0.1153x + 98.51$	374.8
结缕草 <i>Z. matrella</i>	相对含水量 Relative water content	$y = 2E-05x^2 - 0.1264x + 92.961$	404.6
	叶绿素指数 Chlorophyll index	$y = -0.0004x^2 - 0.4557x + 535.82$	440.0
	光化学效率 $F_v/F_m$	$y = -2E-06x^2 + 0.0003x + 0.7595$	496.4

注:耐盐阈值为目测质量下降至 6,其他指标下降 50%时求得的盐浓度值。

Note: The salinity tolerance thresholds are the salt concentrations when the visual quality decreased to 6, and the other indexes decreased to 50%.

暖季型草坪草的盐胁迫反应有多种表现。Marcum 和 Murdoch<sup>[7]</sup> 研究发现,百慕大和结缕草可通过盐腺泌盐来避免盐害;海滨雀稗、沟叶结缕草、钝叶草、百慕大、日本结缕草随盐浓度的升高体内甘氨酸甜菜碱和脯氨酸的含量不断升高,还有些耐盐暖季型草坪草则通过吸收少量盐离子、维持低的  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  减少盐胁迫的伤害。本研究结果表明,耐盐草坪草能维持较高的叶绿素指数、光化学效率、叶片相对含水量及较轻的膜伤害,而不耐盐的草坪草叶绿素指数、光化学效率、叶片相对含水量下降迅速,膜伤害程度严重。4 个暖季型草在盐处理 36 d 时,草坪草叶片相对含水量、叶绿素指数和光化学效率都随着盐浓度的升高呈明显的下降趋势,质膜透性随着盐浓度的升高呈明显升高趋势,百慕大和假俭草在 500 和 600 mmol/L 盐浓度处理 36 d 时,叶绿素指数、光化学效率、叶片相对含水量皆下降为 0,相对电导率上升至最大值,此时 2 种草已处于死亡状态,而海滨雀稗和结缕草在盐浓度 600 mmol/L 处理 36 d 时仍维持存活状态,海滨雀稗耐盐性表现最好,结缕草也相对耐盐,最不耐盐的为百慕大和假俭草。

生长受到抑制是植物对盐胁迫的综合反应,也是植物耐盐性的最优评价指标<sup>[15]</sup>。本试验以盐处理 36 d 时的测定指标与处理盐浓度为参数建立回归方程,最后发现以生长量下降 50%求得的耐盐阈值为最小浓度,因此可

以作为耐盐阈值的确定指标。最后求得 4 个草种的耐盐阈值为别为:百慕大 232.4 mmol/L,假俭草 222.4 mmol/L,结缕草 374.8 mmol/L,海滨雀稗 474.0 mmol/L。由此可见,海滨雀稗耐盐性最强,其次为结缕草,百慕大和假俭草耐盐阈值相差不大,耐盐表现最差。所求得的耐盐阈值可为不同盐碱地草坪草的建值提供更为准确的指导依据。

### 参考文献:

- [1] Munns R. Genes and salt tolerance: Bringing them together[J]. *New Phytologist*, 2005, 167: 645-663.
- [2] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 303.
- [3] 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.
- [4] 陈静波, 阎君, 张婷婷, 等. 四种暖季型草坪草对长期盐胁迫的生长反应[J]. *草业学报*, 2008, 17(5): 30-36.
- [5] 陈平, 席嘉宾. 海滨型野生假俭草的盐胁迫效应研究[J]. *中山大学学报*, 2006, 45(5): 85-92.
- [6] Marcum K B, Anderson S J, Engelke M K. Salt gland ion secretion: A salinity tolerance mechanism among five Zoysiagrass species[J]. *Crop Science*, 1998, 38: 806-810.
- [7] Marcum K B, Murdoch C L. Salinity tolerance mechanisms of six  $C_4$  turfgrasses[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1994, 119: 779-784.
- [8] Maas E V. Salt tolerance of plants[J]. *Applied Agricultural Research*, 1986, 1: 12-26.
- [9] Kuiper P J C, Kuiper D, Schuit J. Root functioning under stress conditions: An introduction[J]. *Plant Soil*, 1988, 111: 249-258.
- [10] Mladenova Y I. Influence of salt stress on primary metabolism of *Zea mays* L. seedlings of model genotypes[J]. *Plant Soil*, 1990, 123: 217-224.
- [11] Qian Y L, Fu J M. Response of creeping bentgrass to salinity and mowing management: Carbohydrate availability and ion accumulation[J]. *HortScience*, 2005, 40: 2170-2174.
- [12] Qian Y L, Wilhelm S J, Marcum K B. Comparative responses of two Kentucky bluegrass cultivars to salinity stress[J]. *Crop Science*, 2001, 41: 1895-1900.
- [13] Suplick-Ploense M R, Qian Y L, Read J C. Relative NaCl tolerance of Kentucky bluegrass, Texas bluegrass and their hybrids[J]. *Crop Science*, 2002, 42(6): 2025-2030.
- [14] Alshammary S F, Qian Y L, Wallner S J. Growth response of four turfgrass species to salinity[J]. *Agricultural Water Management*, 2004, 66(1): 97-111.
- [15] Levitt J. *Response of Plants to Environmental Stress*[M]. New York: Academic Press, 1980.
- [16] Xu Q Z, Huang B R, Wang Z L. Differential effects of lower day and night soil temperatures on shoot and root growth of creeping bentgrass[J]. *HortScience*, 2003, 38(3): 449-454.
- [17] Fu J M, Huang B R. Involvement of antioxidants and Lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2000, 10: 698-710.
- [18] 吕芳德, 徐德聪, 侯红波. 5 种红山茶叶绿素荧光特性的比较研究[J]. *经济林业研究*, 2003, 21(4): 4-7.
- [19] 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.
- [20] 赵昕, 赵敏桂, 谭会娟, 等. NaCl 胁迫对盐芥和拟南芥  $K^+$ 、 $Na^+$  吸收的影响[J]. *草地学报*, 2007, 16(4): 21-24.
- [21] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. *Plant, Cell and Environment*, 2002, 25: 239-250.
- [22] Lee G J, Carrow R N, Duncan R R. Growth and water relations responses to salt stress in halophytic seashore paspalum ecotypes[J]. *Science Horticulture*, 2004, 104: 221-236.

### Salinity stress responses and tolerance thresholds in four warm-season turfgrasses

LIU Yi-ming, CHENG Feng-zhi, WANG Qi, HU Yu-yong, WANG Zhao-long

(Institute of Turfgrass Sciences, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 201101, China)

**Abstract:** Four warm-season turfgrass species [Bermudagrass ‘Tifdwarf’ (*Cynodon dactylon* × *C. transadlensis*), Centipedegrass (*Eremochloa ophiuroides*), Seashore Paspalum ‘Salam’ (*Paspalum vaginatum*), and Zoysiagrass (*Zoysia matrella*)] were grown in PVC pots under a series of NaCl concentrations to study the salinity stress responses of turfgrass growth and physiological parameters. Seashore Paspalum showed the best salinity tolerance. The visual quality, relative growth rate, relative water content, chlorophyll index, and  $Fv/Fm$  decreased 52.2%, 76.2%, 62.1%, 59.4%, and 72.9%, respectively after 36 d at 600 mmol/L NaCl, but the electrolyte leakage increased to 71.5%. The cell membrane damage in Seashore Paspalum was the lowest of the three species. Zoysiagrass also showed good salinity tolerance, with decreases in visual quality, relative growth rate, relative water content, chlorophyll index, and  $Fv/Fm$  of 85.2%, 85.3%, 70.5%, 73.9%, and 49.3%, respectively after 36 d at 600 mmol/L NaCl, and with an increase in electrolyte leakage of 81.8%. Bermudagrass and Centipedegrass showed the lowest salinity tolerance with treatment of 600 mmol/L NaCl and both species were dead after 36 d. The salinity tolerance thresholds of four turfgrass species were determined using linear regression of plant growth rate against NaCl concentration. After 36 d treatment plant growth rate was reduced to 50% of the control. The tolerance thresholds are Centipedegrass 222.4 mmol/L, Bermudagrass 232.4 mmol/L, Zoysiagrass 374.8 mmol/L, and Seashore paspalum 474.0 mmol/L.

**Key words:** warm-season turfgrass; salt stress; threshold salinity