

灌溉绿地再生水全盐量对两种草坪草生长影响的研究

张楠¹, 季民¹, 张克强², 张洪生², 霍贞¹, 李军幸²

(1.天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072; 2.农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘要:城市绿地灌溉是再生水回用的主要途径,但我国目前尚无专门针对再生水绿地灌溉的水质控制标准。取再生水全盐量 975~7 100 mg·L⁻¹,对苗期高羊茅(*Festuca arundinacea* Schreb.)和早熟禾(*Poa pratensis* L.)进行水培试验,研究其生物量、光合速率、叶绿素总量、过氧化氢酶活性受再生水全盐量的影响。结果表明,随再生水中全盐量的增加,早熟禾的各项生理指标下降明显,高羊茅的抗逆性有所提高,表现为过氧化氢酶活性有增加的趋势。经数据分析得出再生水灌溉高羊茅、早熟禾,其全盐量应分别低于 1 900、1 400 mg·L⁻¹。

关键词:再生水; 全盐量; 灌溉绿地; 高羊茅; 早熟禾

中图分类号:X703 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)06-1229-04

Effects of Total Dissolved Solids of Reclaimed Water for Green Land Irrigation on Physiological Index of Two Kinds of Lawn Grass

ZHANG Nan¹, JI Min¹, ZHANG Ke-qiang², ZHANG Hong-sheng², HUO Zhen¹, LI Jun-xing²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Agro-environmental Protection Institute Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China)

Abstract: Green land irrigation is a main aspect of reclaimed water reuse. However, guidelines or standards of reclaimed water quality for green land irrigation have not yet been promulgated in China. In this research, the range of total dissolved solids (TDS) of reclaimed water was 975~7 100 mg·L⁻¹. The effects of TDS on biomass, photosynthetic rate, content of total chlorophyll and activity of catalase (CAT) of seedlings of *Festuca arundinacea* Schreb. and *Poa pratensis* L. were studied by using the hydroponics experiment. The results showed that all physiological indexes of *Poa pratensis* L. decreased sharply with the increasing concentrations of TDS in reclaimed water. The activity of CAT of *Festuca arundinacea* Schreb. went up under low concentrations of TDS and decreased under higher density, indicating that the adversity of *Festuca arundinacea* Schreb. increased in a way. The threshold values of TDS in reclaimed water irrigation for *Festuca arundinacea* Schreb. and *Poa pratensis* L. should be met TDS ≤1 900 mg·L⁻¹ and 1 400 mg·L⁻¹, respectively.

Keywords: reclaimed water; total dissolved solids; green land irrigation; *Festuca arundinacea* Schreb; *Poa pratensis* L

城市污水再生利用将成为缓解我国,特别是北方大城市水资源短缺和水污染严重的重要手段。随着城市绿地的快速发展,都市再生水灌溉绿地用水量约占再生水回用总量的 60%~70%。

收稿日期:2005-03-04

基金项目:国家 863 课题“都市再生水灌溉绿地水质控制指标及安全评价”(2002AA2Z428111)

作者简介:张楠(1977—),女,天津人,天津大学环境科学与工程学院在读博士。E-mail:tjunan@126.com

天津地区地理位置靠海,再生水中含盐量较高。纪庄子污水厂的二级水、CMF 出水总溶解性固体(TDS)平均值在 1 100 mg·L⁻¹左右;天津开发区污水处理厂二级水旱季的总溶解性固体和氯化物平均为 2 290、1 220 mg·L⁻¹,而雨季分别达 5 075、2250 mg·L⁻¹。

再生水中的盐分主要产生以下危害:盐度在植物根部聚集,造成其相对缺水,出现生长受阻、叶片变黄、根茎腐坏等症状;影响土壤渗透性,使土壤物理条

件降低,甚至板结^[2];随灌溉时间的延长,盐分对植物伤害有累积作用。而且常规的污水二级处理工艺无法脱盐,一般的深度处理工艺还会因为混凝带入混凝剂等可溶性盐,使总溶解性固体不降反增。如果采用反渗透法脱盐成本较高。

针对以上问题,需要有再生水灌溉绿地的水质控制指标以保证其回用安全。但是我国目前尚无专门针对再生水绿地灌溉的水质控制标准,与国外的再生水灌溉绿地分级水质控制(如美国加州 Title 22)比较,相差更远。

本文通过水培试验,研究再生水灌溉对2种景观草坪草——高羊茅、早熟禾生长的影响。在此基础上,确定以北京、天津为代表的北方半干旱都市绿地再生水灌溉的全盐量控制指标,为研究和制定符合我国国情的再生水灌溉绿地水质控制标准提供一定的理论和试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试水源

采用2种水源:天津市纪庄子污水处理厂经过生物处理的二级水;天津市中水有限责任公司采用连续微滤法(CMF)处理的再生水,以下称CMF出水。

考虑到天津地区的再生水中的盐分以NaCl为主,故水培试验中,称取一定量的分析纯NaCl为溶质,用上述水源水为溶剂,配制系列全盐量浓度梯度的试验用水进行水培。每种处理做5个重复,即0、2 000、4 000、6 000和8 000 mg·L⁻¹。

1.1.2 供试草种

高羊茅(*Festuca arundinaces* Schreb.):具有建坪快、耐贫瘠土壤、尤其在灌溉的条件下耐盐碱^[3]的特点。

早熟禾(*Poa pratensis* L.),绿期长,北京地区应用较多。

以上草种均由北京林业大学草坪研究所提供。由于苗期草坪草对外界环境胁迫最为敏感,本研究均采用出苗1周左右的苗期草坪草进行试验。

1.2 试验方法

1.2.1 水培试验

根吸收植物对盐度十分敏感,盐度对根尖细胞伤害较大,所以本文采用水培试验。具体方法为:供试草种在一定温湿度条件下发芽,待幼苗高约5 cm时,将其轻轻起出,用清水冲洗根部。取200 mL烧杯,杯口

用双层纱布包裹,以保证通气良好,纱布上放一层直径5 cm的圆形定型滤纸,滤纸与纱布的中间分别扎小孔。将根部已洗净的幼苗数根,从滤纸与纱布的孔中穿出,根部浸在已倒入试验用水的烧杯中。滤纸上撒适量蛭石用以支撑,使幼苗直立。

为了防止因暴露于阳光下烧杯壁与烧杯底部滋生藻类而增加试验条件的不确定性,影响结果的准确性,每种情况所有的重复做完后,用不透明的黑色塑料布将烧杯侧面包裹好后再置于光照好的地点进行试验。

通过15 d的水培,陆生草坪草能够成活且生长较好,说明水培法是可行的。

1.2.2 植物生理生化指标的测定

考虑到水培试验的样本量有限,对地上、地下生物量,采用株高和根长与对照组的百分比间接表示;光合速率采用美国LI-6000型便携式光合速率仪测定;叶绿素总量、过氧化氢酶活性分别采用95%乙醇分光光度比色法和高锰酸钾滴定法测定。

试验中相关的水质指标监测均采用国标方法。

1.3 数据分析

试验结果采用统计软件进行方差分析。

2 结果分析

2.1 全盐量对2种草苗期生物量的影响

由图1可见,在再生水盐度的胁迫下,苗期高羊茅与早熟禾的正常生长都受负面影响。随全盐量(TDS)增加,地下相对生物量下降更明显。

相比之下,苗期早熟禾的地下生物量下降大于高羊茅。全盐量在2 000 mg·L⁻¹左右时,早熟禾的相对地下生物量降低到对照组50%,而高羊茅该指标在

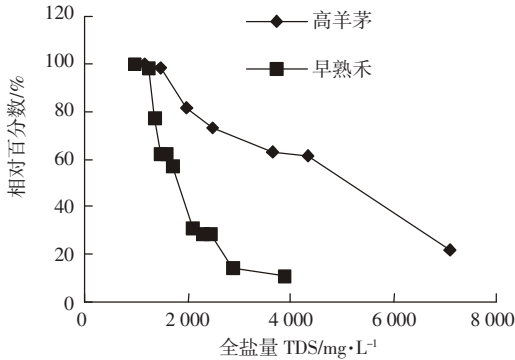


图1 二级水盐度对2种草地地下生物量影响

Figure 1 Effects of TDS on underground biomass of two kinds of lawn grass

5 000 mg·L⁻¹ 左右降幅 50%。相对地上生物量比对照降低 50%时对应的全盐量为:高羊茅约 6 000 mg·L⁻¹,早熟禾约 2 000 mg·L⁻¹。试验结果说明高羊茅的抗盐性明显强于早熟禾。

经生物统计分析,再生水盐度对 2 种草生物量的影响,分别在全盐量为 1 995、1 590 mg·L⁻¹ 时达到显著性水平。

2.2 全盐量对 2 种草苗期光合速率的影响

从表 1 可见,在 TDS=2 490 mg·L⁻¹ 时,苗期高羊茅的光合速率比对照组降低了 46.99%;而当 TDS=7 100 mg·L⁻¹ 时,该组 5 个重复,光合速率平均值仅有 0.029 1 mmolCO₂·m⁻²·s⁻¹,比对照组降低了 92.95%。而早熟禾凡 TDS 大于 2 000 mg·L⁻¹ 的组,光合速率就已经降至对照组的 50%以下。

表 1 CMF 出水全盐量对 2 种草光合速率的影响
Table 1 Effect of TDS on photosynthetic rate of two kinds of lawn grass

高羊茅		早熟禾	
TDS /mg·L ⁻¹	光合速率 /mmolCO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹	TDS /mg·L ⁻¹	光合速率 /mmolCO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹
1 100	0.284 2	975	0.303 7
1 490	0.281 7	1 340	0.252 6
2 005	0.248 1 **	1 610	0.213 6
2 490	0.128 9 **	1 855	0.174 6 *
3 675	0.071 3 **	2 050	0.116 8 *
4 370	0.047 0 **	2 220	0.085 1 **
7 100	0.029 1 **	2 380	0.039 4 **

再生水全盐量对苗期 2 种草光合速率的影响分别在 TDS=2 005 和 2 220 mg·L⁻¹ 时达到极显著的水平。

盐胁迫可以通过抑制光合作用间接影响植物生长,且盐度越大作用时间越长影响越大。但盐胁迫使植物光合作用下降的原因尚未形成统一的认识。一般认为可能是以下主要原因:盐胁迫引起渗透胁迫,导致水势及气孔导度降低,限制 CO₂ 到达光合作用部位;盐胁迫下叶片内的可溶性糖浓度增加,糖利用率减低,反馈抑制光合作用;引起离子积累,离子亏缺造成伤害^[5]。

2.3 全盐量对 2 种草苗期叶绿素总量的影响

试验结果显示,随再生水盐度加大,苗期高羊茅与早熟禾的叶绿素含量都有所下降,但早熟禾的降幅明显大于高羊茅。CMF 出水,高羊茅在 TDS=2 005 mg·L⁻¹,叶绿素总量比对照组降低 11.61%,TDS=2 490 mg·L⁻¹,比对照组降低 24.24%;早熟禾 TDS=1 855 mg·

L⁻¹,叶绿素总量比对照组降低 24.52%,TDS=2 380 mg·L⁻¹,比对照组降低 89.65%,TDS 大于 2 940 mg·L⁻¹ 的组全部死亡。

2 种草叶绿素下降的趋势从图 2 中可明显看出。曲线拟合后斜率分别为:早熟禾 $k=3\,333$,高羊茅 $k=833$ 。可见早熟禾叶绿素的降幅明显大于高羊茅,说明其耐盐性相对较差。

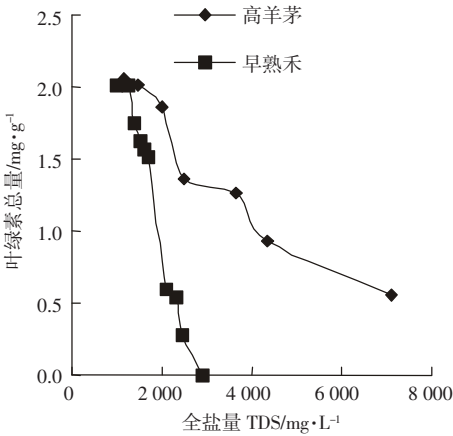


图 2 再生水全盐量对两种草叶绿素的影响
Figure 2 Effects of TDS on content of chlorophyll of two kinds of lawn grass

叶绿素含量的变化程度,反映了再生水盐度胁迫下草坪草生长受影响程度。该值可作为植物耐盐碱的指标,且叶绿素含量下降幅度与品种耐盐性负相关。盐胁迫时植物体内的活性氧含量增加,进而导致叶绿体膜与细胞质膜透性增大,使叶绿体及细胞物质外溢,影响正常代谢功能。而且,NaCl 可以促进叶绿素酶的活性增强,使叶绿素分解^[6]。

生物统计分析后得出,再生水盐度对 2 种草叶绿素含量的影响,分别在全盐量为 1 995、1 710 mg·L⁻¹ 时达到显著性水平。

2.4 全盐量对 2 种草苗期过氧化氢酶活性的影响

氧化性物质是导致植物逆境伤害的重要因素,抗逆性强的植物通过提高氧化酶的活性,抵御环境胁迫引起的氧化胁迫。抗氧化酶系统有过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)等,本文测定了再生水盐度胁迫下 2 种草过氧化氢酶活性的变化。

2 种苗期草坪草过氧化氢酶活性的试验结果区别很大。苗期高羊茅,过氧化氢酶活性有明显的先增加后降低的趋势,在中等浓度时达到最大值,之后降低;早熟禾无上述升高的过程,随盐度加大呈直线下降趋势,并且降幅也大于高羊茅,直至完全死亡酶活

性降为零,见图3。经曲线拟合后,苗期早熟禾过氧化氢酶活性随再生水全盐量变化的趋势为:

$$\text{二级水 } y = -0.003\,9x + 11.333 \quad (r^2 = 0.941\,4)$$

$$\text{CMF 出水: } y = -0.003\,6x + 10.517 \quad (r^2 = 0.963\,8)$$

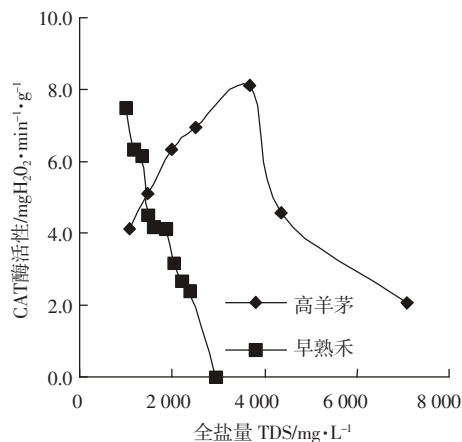


图3 再生水(CMF出水)对两种草CAT酶活性影响

Figure 3 Effects of TDS on the activity of CAT of two kinds of lawn grass

从图3直观反映出二者趋势的不同。苗期高羊茅在再生水盐度约4000 mg·L⁻¹以下时,CAT酶活性有显著升高的过程,呈显著正相关:

$$y = 0.001\,5x + 2.845\,5 \quad r^2 = 0.941\,9$$

当浓度TDS=2005 mg·L⁻¹时,CAT酶活性比对照组增加54.89%;TDS=3675 mg·L⁻¹时,CAT酶活性比对照组增加97.98%。说明TDS<4000 mg·L⁻¹范围内,其抗氧化能力增强,这是植物在一定的逆境胁迫下产生的适应性反应。

植物的抗氧化能力越强,说明其对逆境的适应性越强,活性氧积累越少,细胞质膜受到的伤害就越轻。但是这种适应性也是有限度的,表现在CAT酶活性不是无限制增加。单盐胁迫下草坪草易发生离子吸收拮抗的作用,Na⁺离子含量高时,其他离子的吸收受很大影响^[7]。草类相对耐盐性的高低与茎中Na⁺离子含量呈显著负相关,与盐腺Na⁺分泌率、盐腺密度正相关。草类盐腺的主要作用是在其受到盐胁迫时排出Na⁺离子,降低体内Na⁺离子含量,使其具有一定的拒盐与排盐能力以免受伤害。耐盐品种体内Na⁺离子含量明显低于不耐盐品种^[8]。

有研究证实,盐胁迫可引起幼苗细胞膜伤害,导致膜透性增加。膜透性增加越大,伤害越严重,耐盐能力越弱,反之则越强^[9]。植物一般通过以下方式限制盐

离子在体内积累:细胞内离子分层,根皮层排除,木质部薄壁细胞重新吸收并转移至枯萎叶片,通过盐腺排出体外^[10]。

本试验涉及的2种草坪草的耐盐机制还需要进一步研究。关于再生水中盐分随灌溉时间积累对植物的长久伤害作用及其对土壤结构和地下水的影响,目前正在进行田间试验,结果尚待进一步分析。

3 结论

(1)通过以上试验,再生水灌溉绿地对景观草坪草生长有显著影响。随着再生水全盐量的增加,2种景观草坪草的生物量、光合速率、叶绿素总量均呈下降趋势。

(2)2种草相比,高羊茅对再生水全盐量的适应性明显强于早熟禾,突出表现为过氧化氢酶活性有增加的趋势,说明其抗逆性有适应性的增加。但这种适应性也是有限的。

(3)综合植物生理生化指标的统计分析结果,再生水灌溉高羊茅与早熟禾,其全盐量应分别低于1900、1400 mg·L⁻¹。

参考文献:

- [1] 张继光,李健,陈双星,等.污水脱盐处理大规模回用的工艺技术研究[J].给水排水,2001,27(10):1-6.
- [2] 王琳,王宝贞.分散式污水处理与回用[M].北京:化学工业出版社,2003.127-128.
- [3] 张志国,李德伟.现代草坪管理学[M].北京:中国林业出版社,2002.42-43.
- [4] 李合生.现代植物生理学.[M].北京:高等教育出版社,2003.415-420.
- [5] 杨富裕,周禾.草坪草抗盐性研究进展[J].草原与草坪,2001,92(1):10-13.
- [6] Niu X, Bressan R A, Hasegawa P M, et al. Ion Homeostasis in NaCl stress environments[J]. *Plant Physiol*, 1995, 33(9): 735-742.
- [7] Flowers T J, Yeo A R. Breeding for Salinity Resistance in Crop Plants[J]. *Plant Physiol*, 1995, 33(9): 875-884.
- [8] Sylvie Renault, Clare Croser, Jennifer A, et al. Effects of NaCl and Na₂SO₄ on Red-oiser Dogwood seedling[J]. *Plant and Soil*, 2001, 233(2): 261-268.
- [9] 孙国荣,严秀峰.盐胁迫对星星草幼苗保护酶系统的影响[J].草地学报,2001,9(1):34-37.
- [10] 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.