

再生水灌溉草坪观赏品质及其综合评价

彭致功 杨培岭 任树梅 王勇

(中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要 为了缓解城市水资源紧张状况,扩大污水资源化力度,确保高质量的都市草坪,在永乐店试验站进行了再生水灌溉草坪的试验研究。采用7种水分处理:清水适宜灌、混合适宜灌、再生水充分灌、再生水适宜灌、再生水轻微干旱胁迫、再生水中度干旱胁迫、再生水重度干旱胁迫,其相应灌溉下限分别为田间持水量70%、70%、80%、70%、60%、50%、40%,灌水定额相同。研究表明:不同灌溉水质下,与再生水适宜灌和混合适宜灌处理相比,试验后期清水适宜灌坪草叶宽减小,分蘖减少,颜色、盖度及均一性分值降低;再生水灌溉不同水分处理下,整个生育期内草坪的观赏品质随土壤水分含量的增大而提高;模糊综合评判结果显示,再生水充分灌模式下草坪观赏品质综合表现最好,清水适宜灌较再生水轻微干旱胁迫稍差,再生水重度干旱胁迫最差。

关键词 再生水; 草地早熟禾; 观赏品质; 模糊综合评判

中图分类号 S 275.9;S 312

文章编号 1007-4333(2006)05-0081-07

文献标识码 A

Effects of irrigation of reclaimed water on ornamental quality and its comprehensive evaluation

Peng Zhigong, Yang Peiling, Ren Shumei, Wang Yong

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract In order to relax the tension of urban water resources, expand the reuse of reclaimed water and ensure a good quality of urban lawn, the pot experiments of blue grass irrigated with reclaimed water were conducted. Seven irrigation treatments, proper irrigation with fresh water, proper irrigation with a ratio of 1 to 1 of fresh and reclaimed water, full irrigation with reclaimed water, proper irrigation with reclaimed water, light water stress irrigation with reclaimed water, medium water stress irrigation with reclaimed water and severe water stress irrigation with reclaimed water, were conducted. Their irrigation start-points are 70%, 70%, 80%, 70%, 60%, 50% and 40% field water capacity (fc), respectively. For the seven treatments, irrigation amount for an irrigation event is the same. The experimental results showed that the leaf width irrigated with fresh water was narrower than that irrigated with reclaimed water; the tiller density irrigated with fresh water smaller than that irrigated with reclaimed water; the color rating irrigated with fresh water lower than that irrigated with reclaimed water and the rating of vegetational coverage and the rating of uniformity had the same variation law between treatments irrigated with different water qualities as the color rating. The ornamental quality was improved with the total irrigation water between treatments irrigated with the reclaimed water during the stages of turf life. The results showed that the ornamental quality under full irrigation with reclaimed water was the best estimated by the fuzzy comprehensive evaluation. The ornamental quality under proper irrigation with fresh water was worse than that under light water stress irrigation with reclaimed water. The ornamental quality under severe water stress irrigation with reclaimed water was the worst.

Key words reclaimed water; *Poa pratensis*; ornamental quality; fuzzy comprehensive evaluation

城市人口的急剧增加和经济规模的扩张,使城市水资源短缺形势日趋严重,引起地下水的严重超

收稿日期: 2005-09-08

基金项目: 国家高技术研究发展计划子课题(2002AA2z4281-06)

作者简介: 彭致功,博士研究生;杨培岭,教授,博士生导师,主要从事节水灌溉原理与技术研究,E-mail: yang-pl@163.com

采,导致地下水位大幅度下降、地面下沉等^[1]。由于城市水资源开发已接近临界状态,采用成本相对低廉的再生水浇灌都市草坪成为较好的选择。《北京市节约用水管理办法》(2005)中明确规定,住宅小区、单位内部的景观环境用水和其他市政杂用水,应当使用雨水或者再生水,不得使用自来水。可见采用再生水浇灌都市草坪符合国家政策。再生水作为一种稳定水源,用于灌溉能够缓解水资源紧缺压力,而且由于其富含作物生长所需营养元素及有机质,它的合理浇灌能够提高土壤肥力,减少肥料施用量^[2];但是,再生水虽经无害化处理,可限于经济和技术因素其中仍含有可以在土壤和作物中积累、不易降解的重金属类污染物及大量溶解性盐类,对草坪的观赏品质存在潜在不良影响^[3-4]。为此,如何充分挖掘再生水中作物易于吸收的养分元素,供给作物足够的养分,并消除和降低重金属及大量可溶性盐类等污染的负面影响,即寻求在一定条件下既满足作物水肥的要求,又确保草坪高质量的观赏品质,成为本领域研究急需论证和解决的关键技术问题。国内有关草坪灌溉的研究已有许多报道^[5-10],主要涉及草坪耗水规律、灌溉制度、生物量、生理生化指标、土壤化学性质及植株氮含量等,而对灌溉与草坪观赏品质关系的研究报道较少,尤其缺乏再生水灌溉对草坪观赏品质的研究。基于此,笔者对再生水灌溉水质处理及水量处理对草坪观赏品质的影响进行了试验研究,根据草坪质量评价指标众多且复杂的特性^[11],尝试用模糊综合评判的方法对再生水灌溉草坪观赏品质进行综合评价。

1 材料与方法

1.1 试验安排

试验在北京市水科所通州区永乐店农业节水中心试验站日光温室内进行。该试验站位于北京东南部,北纬 39°47',东经 116°47',海拔高程 11 m,属华北平原地区,年降雨量 580~600 mm,降雨集中在 7、8 月,年内分配不均。

供试土壤取自试验站,土壤取回后风干,过 0.5 cm 筛备用。采用上口直径 27.6 cm,高 24.0 cm 的塑料盆,每盆装干土 10.5 kg。试验土壤质地:黏粒 16.77% (质量比,下同)、粉粒 58.07%、砂粒 25.16%;土壤养分:总碳 1.5165% (质量比,下同)、总氮 0.069%、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 0.7415 mg/kg、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 28.186 mg/kg。

选用草地早熟禾(Blue Moon)为研究对象,每盆播量 0.20 g。2004-07-16 日播种,07-22 出苗,全生育期 325 d。在处理前保持各盆土壤水分相对适宜,使苗齐苗壮,确保后期试验顺利进行。于播种 46 d 后开始水分处理,每日 17:00 用瑞士 SR32001 型电子天平称重,监测各盆失水情况,当土壤水分含量达到设定灌溉下限时开始补水。安排 7 个试验处理,分别为清水适宜灌、混合适宜灌、再生水充分灌、再生水适宜灌、再生水轻微干旱胁迫、再生水中度干旱胁迫、再生水重度干旱胁迫处理,相应的灌溉下限分别为田间持水量的 70%、70%、80%、70%、60%、50%、40%。每处理 3 次重复,随机区组排列。每次每盆灌水 530 mL,水量用量桶计量。灌溉所用清水为当地地下水,再生水为高碑店污水处理厂二级出水,灌溉水源的化学成分见表 1。

表 1 灌溉水源化学成分

Table 1 Chemical compositions of reclaimed water and fresh water used in experiments

化学成分	再生水*	清水
w(BOD ₅)/(mg/L)	2.73	0.43
w(COD _{Cr})/(mg/L)	47.9	39.9
w(总磷)/(mg/L)	5.880	0.046
w(氨态氮)/(mg/L)	7.34	0.24
w(硝态氮)/(mg/L)	16.00	0.66
w(水溶氯)/(mg/L)	154.0	95.8
w(水溶钠)/(mg/L)	117.0	82.5
w(水溶钾)/(mg/L)	16.80	0.66
w(水溶钙)/(mg/L)	88.6	69.2
w(水溶镁)/(mg/L)	25.8	62.6
电导率/(mS/m)	119	103
pH	8.02	8.22
钠吸附比(SAR)	2.80	1.72

注: *为高碑店污水处理厂二级出水。

1.2 草坪观赏品质评价指标及测定方法

1) 分蘖密度。每 15 d 测 1 次分蘖密度,每个处理选择有代表性的 3 盆,固定后手工计数,取平均值。

2) 叶片宽度。每处理固定 3 盆,每盆随机选取 5 株,挑选其中最宽的叶片,用游标卡尺测量其最宽处,取平均值。

3) 颜色、盖度、均一性。每个处理选择具有代表

性的 3 盆,修剪之前目测各盆颜色、盖度、均一性。评分标准采用目前国际通用的 9 分制,最好 9 分,最差 1 分,通常 6 分为可接受^[12]。

2 结果与分析

2.1 再生水灌溉下的草坪质地

草坪质地用叶宽表示。从图 1 和 2 可见,随着生育期的延长,草坪草叶片宽度逐渐增大,至 2004-11 月中旬达到最宽,约 2.9 mm;随后叶宽缓慢变窄,自 2005-02 起叶宽处于较为稳定的状态。

2004 年 10 至 11 月上旬,不同水质灌溉条件下草坪草叶片宽度清水适宜灌的最宽,混合适宜灌的次之,再生水适宜灌的最窄,其原因在于在大气蒸发力较强的条件下,采用再生水灌溉会造成盐分的相对富集(再生适宜灌、混合适宜灌及清水适宜灌处理下土壤电导率分别为 24.07、18.97、15.13 mS/m),从而抑制叶片宽度的增大。自 2005-04 起,混合适宜灌及再生水适宜灌处理的草坪草叶片宽度显著大于清水适宜灌(图 1)。

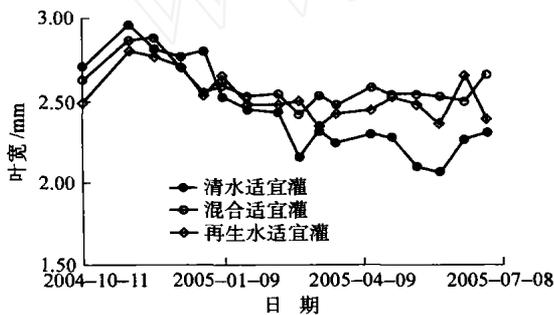


图 1 不同灌溉水质下草坪草叶宽

Fig. 1 Textures of *Poa pratensis* under different irrigated water qualities

不同水分处理对草坪草叶宽的影响见图 2,在控水 43 d 后,随着供水量的减少,叶片宽度变窄, F 检验结果表明,处理间叶宽差异达极显著水平。

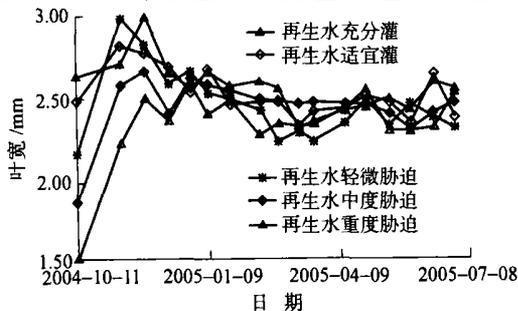


图 2 再生水不同水分处理下草坪草叶宽

Fig. 2 Textures of *Poa pratensis* under different water treatments

2005-11 后水分处理对叶宽的影响程度下降,各处理间的叶宽从差异显著发展到差异不显著。

2.2 再生水灌溉下草坪草的分蘖密度

由图 3 可以看出,2004-09-28 之前,3 处理草坪草分蘖速率均较低,之后明显增强,其中混合适宜灌与再生水适宜灌处理在整个生长季分蘖速率均较高,而清水适宜灌至 2004-12-25 后分蘖速率明显回落。这是因为清水所含作物所需养分元素较再生水少,清水适宜灌处理的草坪草生长后期养分亏缺严重,抑制了分蘖。2005-04-25,3 处理草坪草分蘖密度明显拉开,显著性分析结果表明,处理间差异达显著水平。

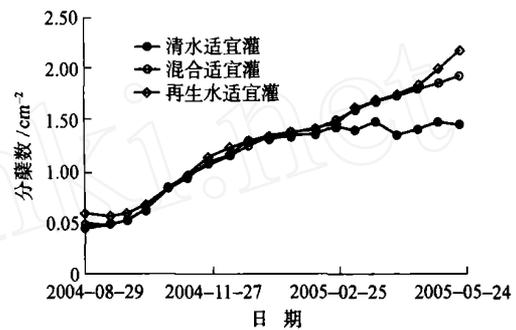


图 3 不同灌溉水质下草坪草分蘖密度

Fig. 3 Tiller densities of *Poa pratensis* under different irrigated water qualities

由图 4 可看出,水分处理前各处理基本苗数差异很小;水分处理初期,各水分胁迫处理草坪草因水分不足及高温的双重影响分蘖受到抑制,部分枝条死亡。自 2004-10 月下旬起,随着生长季的延长,草坪草分蘖增加,水分处理间分蘖密度差异增大。冬季温室内气温较低,大气蒸发力减弱,水分亏缺对分蘖的抑制作用降低,与其他处理相比,水分胁迫处理分蘖增长速率明显加快,各处理间差异呈缩小的趋势。

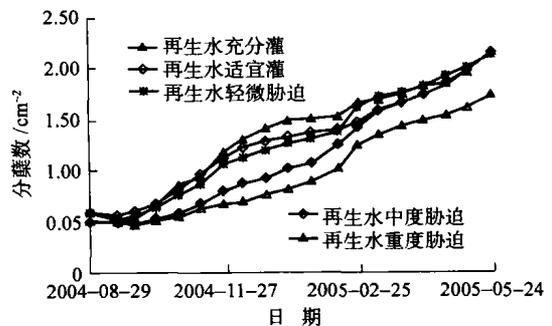


图 4 再生水不同水分处理下草坪草分蘖密度

Fig. 4 Tiller densities of *Poa pratensis* under different water treatments

2.3 再生水灌溉下的草坪颜色

从图5和6可以看出,随着草坪草生长季的延长,各处理草坪颜色分值表现出一定差异,2004年秋季草坪颜色分值普遍高于同年冬季和2005年春季。

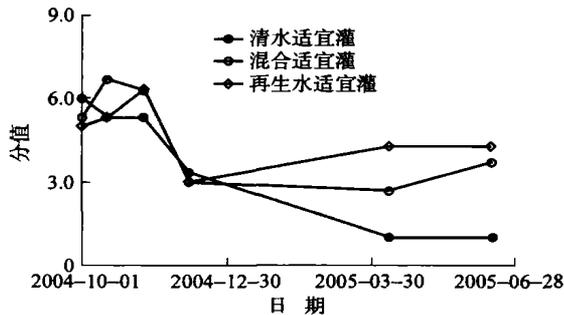


图5 不同灌溉水质下草坪颜色分值

Fig. 5 Color ratings of *Poa pratensis* under different irrigated water qualities

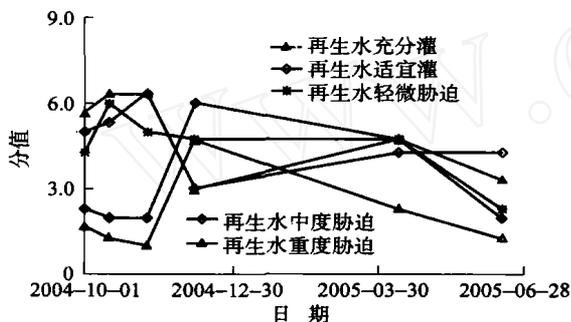


图6 再生水不同水分处理下草坪颜色分值

Fig. 6 Color ratings of *Poa pratensis* under different water treatments

2004年度不同水质处理间草坪颜色分值差异不显著,试验初期清水适宜灌草坪颜色分值稍大于其他处理,随后混合适宜灌处理处于较高水平;至2005年再生水适宜灌处理的草坪颜色分值极显著大于清水适宜灌处理,其中清水灌溉和混合灌溉因养分元素的缺乏草坪颜色呈明显的淡绿色(图5)。

2004年秋,再生水充分灌、再生水适宜灌及再生水轻微干旱胁迫3个水分处理颜色分值差异不大,均在可接受范围内;而再生水中度及重度干旱胁迫处理萎蔫发黄,颜色分值低于3分。该年冬季再生水充分灌和再生水适宜灌2处理黄叶较多,视觉效果较差,颜色分值比其他处理低,其原因在于冬季气温较低,草坪草蒸腾减弱,外部环境湿度较大,加上高水分处理分蘖密度较大,不利于通风。2005年春季,随着气温的回升大气蒸发力的增强,水分又成为草坪草生长的主要限制因素,低水分处理草坪颜色分值较低(图6)。

2.4 再生水灌溉下的草坪盖度

从图7可看出,2004年度内混合适宜灌处理的草坪盖度高于清水适宜灌及再生水适宜灌,但各水质处理间盖度差异不显著;然而,2005年草坪盖度测定结果表明,再生水适宜灌和混合适宜灌处理草坪盖度大于清水适宜灌,处理间盖度差异达极显著水平。可见,在不施肥的情况下,与清水灌溉相比,采用再生水浇灌利于草坪生态的可持续性,更利于形成致密的优质草坪。

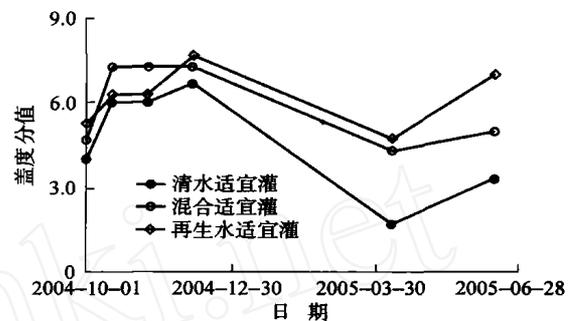


图7 不同灌溉水质下草坪盖度分值

Fig. 7 Vegetational coverages of *Poa pratensis* under different irrigated water qualities

从图8可看出,整个生育期内草坪盖度大小与土壤水分含量的高低呈正相关,表明土壤水分对草坪盖度有重要影响。再生水充分灌和再生水适宜灌处理都能够建植致密的草坪,2处理间盖度差异不显著;再生水轻微干旱胁迫处理虽能建植满足盖度要求的草坪,但与再生水适宜灌和再生水充分灌相比草坪盖度稍小;再生水中度干旱胁迫和再生水重度干旱胁迫处理下草坪盖度分值较低,甚至低于3。可见,建植密致的草坪应保持土壤含水率大于50%田间持水率。

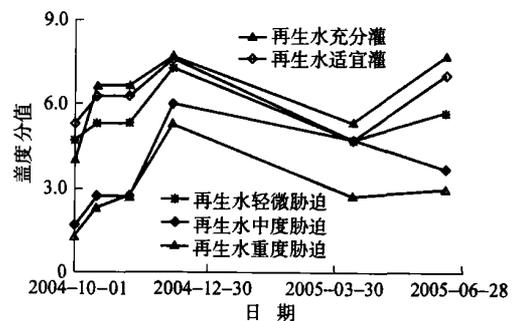


图8 再生水不同水分处理下草坪盖度分值

Fig. 8 Vegetational coverages of *Poa pratensis* under different water treatments

2.5 再生水灌溉下草坪的均一性

草坪均一性指整个草坪外貌的均匀程度,是对

草坪表面的总体评价,是草坪密度、颜色、质地差异程度的综合反映^[13]。不同灌溉水质处理对均一性的影响,见图 9。建植初期草坪密度较低,草坪中土壤裸露,各处理均一性分值均较低;随着生长季的延长,各处理均一性分值不断增大,至 2004-11 初达到最大值;试验后期各处理草坪草叶片枯萎严重,使草坪结构差别加大,其均一性分值也较低。显著性分析结果表明:2004 年度不同水质处理对草坪的均一性影响不显著,而 2005 年度其均一性差异达显著或极显著水平。试验后期清水灌溉草坪草苗弱、叶色淡、分蘖少,致使均一性分值降低。

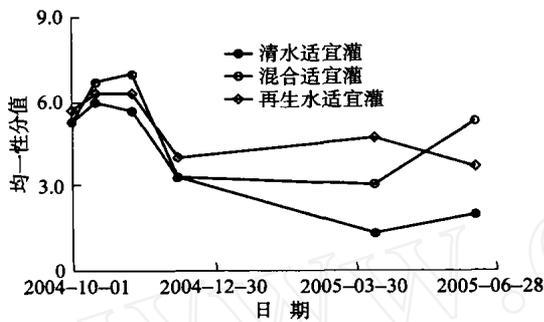


图 9 不同灌溉水质下草坪的均一性分值
Fig. 9 Uniformities of *Poa pratensis* under different irrigated water qualities

不同水分处理对草坪均一性的影响见图 10。可以看出,不同水分处理对草坪均一性影响很大,在大气蒸发力较强的秋季其差异更为明显。 F 检验结果表明,在生长季内,各处理间均一性差异达显著或极显著水平。导致差异显著的原因主要是:再生水中度及重度水分胁迫处理土壤水分胁迫较严重,造成草坪草,分蘖数降低,甚至萎蔫死亡草坪结构差异较大;而再生水充分灌、再生水适宜灌和再生水轻微干旱胁迫处理下土壤水分对草坪草生长影响不明显,草坪草能正常生长,草坪结构差异不大。

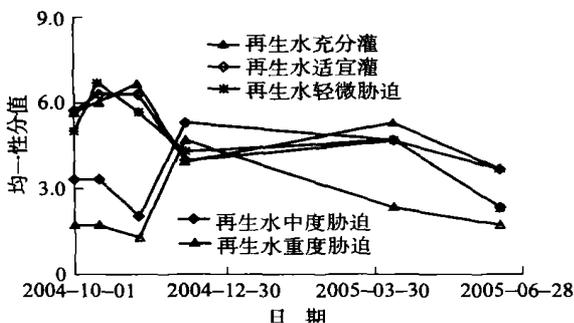


图 10 再生水不同水分处理下草坪的均一性分值
Fig. 10 Uniformities of *Poa pratensis* under different water treatments

2.6 再生水灌溉下草坪观赏品质综合评价

草坪观赏品质的评价是一个典型的多因素评价问题,其指标集中既包括定量指标也包括定性指标,各指标间相互制约、相互关联,使得草坪观赏品质的确定十分困难。模糊综合评判法在处理定性和不精确数据方面有独到的优点,可综合考虑影响草坪观赏品质的多个因素及其关联关系,并将主观因素对评价结果的影响控制在较小的范围内,从而使评判结果更为全面和客观^[14-15]。基于此,笔者在对再生水灌溉下草坪观赏品质的规律性变化进行综合分析的基础上,利用 2004-10、2004-11、2005-04 及 2005-06 草坪观赏品质同期观测资料,用模糊综合评判法对草坪观赏品质进行评判。

2.6.1 评价指标的选取及其权重的确定 草坪观赏品质评价指标包括分蘖密度(x_1)、质地(x_2)、颜色(x_3)、盖度(x_4)及均一性(x_5)等。根据实测数据,运用变异系数赋权法和复相关系数的倒数赋权法分别计算相应权重系数,然后通过组合赋权法确定各评价指标相应的权重系数,得到指标权重的模糊向量 A , $A = (0.11, 0.05, 0.28, 0.29, 0.28)$ ^[16]。

2.6.2 评价指标隶属函数 $\mu(x)$ 的选择和隶属度的计算 根据各评价指标的模糊分布特点,除质地指标采用降半梯形分布隶属函数外,其他指标采用升半梯形分布隶属函数。以此为基础,结合各指标的实测值确定各评价指标的隶属函数(表 2),并根据隶属函数确定各评价指标的隶属度(表 3)。

以评价指标为行,各处理组合为列,得到模糊关系矩阵

$$R = \begin{pmatrix} 0.21 & 0.56 & 0.72 & 0.67 & 0.64 & 0.38 & 0.05 \\ 0.48 & 0.33 & 0.37 & 0.42 & 0.49 & 0.57 & 0.68 \\ 0.66 & 0.90 & 0.97 & 0.93 & 0.88 & 0.54 & 0.26 \\ 0.60 & 0.83 & 0.89 & 0.87 & 0.75 & 0.43 & 0.31 \\ 0.59 & 0.82 & 0.85 & 0.82 & 0.76 & 0.50 & 0.25 \end{pmatrix}$$

2.6.3 模糊综合评判 通过模糊变换,将加权系数矩阵 A 和模糊关系矩阵 R 合成,得到各处理草坪观赏品质综合评价结果 B , $B = A \cdot R = (0.57, 0.80, 0.87, 0.84, 0.77, 0.49, 0.27)$,即水质和水分梯度模式组合的隶属度。根据隶属度大小各处理的综合评判位次顺序为:再生水充分灌、再生水适宜灌、混合适宜灌、再生水轻微干旱胁迫、清水适宜灌、再生水中度干旱胁迫、再生水重度干旱胁迫处理。由此可知:1)不同灌溉水质处理下,再生水适宜灌处理草坪观赏品质综合表现较好,混合适宜灌处理次之,清水

适宜灌较差;2)再生水灌溉不同水分处理下草坪观赏品质的综合表现随灌溉水量的减少而降低;3)在一定土壤水分范围内,与对水分的依赖程度相比,草坪的生长对养分元素的需求更为迫切。

表2 不同评价指标的隶属函数

Table 2 Subordinate functions of different evaluation index

$X_1 \mu(X) =$	$\begin{cases} 0 & x < 1 \\ 2x - 2 & 1 < x < 1.5 \\ 1 & x > 1.5 \end{cases}$
$X_2 \mu(X) =$	$\begin{cases} 0 & x < 3 \\ 3 - x & 2 < x < 3 \\ 1 & x > 2 \end{cases}$
$X_3 \mu(X) =$	$\begin{cases} 0 & x < 1 \\ (x - 1)/4 & 1 < x < 5 \\ 1 & x > 5 \end{cases}$
$X_4 \mu(X) =$	$\begin{cases} 0 & x < 1 \\ (x - 1)/6 & 1 < x < 7 \\ 1 & x > 7 \end{cases}$
$X_5 \mu(X) =$	$\begin{cases} 0 & x < 1 \\ (x - 1)/5 & 1 < x < 6 \\ 1 & x > 6 \end{cases}$

表3 各评价指标的隶属度

Table 3 Subordinate degrees of different evaluation indexes

处 理	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
清水适宜灌	0.21	0.48	0.66	0.60	0.59
混合适宜灌	0.56	0.33	0.90	0.83	0.82
再生水充分灌	0.72	0.37	0.97	0.89	0.85
再生水适宜灌	0.67	0.42	0.93	0.87	0.82
再生水轻微干旱胁迫	0.64	0.49	0.88	0.75	0.76
再生水中度干旱胁迫	0.38	0.57	0.54	0.43	0.50
再生水重度干旱胁迫	0.05	0.68	0.26	0.31	0.25

3 结论与讨论

1)不同灌溉水质下草坪的观赏品质存在一定差异,随着生长季的延长,差异表现更为明显。试验初期不同处理的叶宽清水适宜灌 > 混合适宜灌 > 再生水适宜灌,试验后期再生水适宜灌 > 混合适宜灌 > 清水适宜灌;分蘖密度试验初期差异不显著,试验后期再生水适宜灌 > 混合适宜灌 > 清水适宜灌;颜色

分值试验初期清水适宜灌 > 混合适宜灌 > 再生水适宜灌,试验后期再生水适宜灌 > 混合适宜灌 > 清水适宜灌;盖度分值试验初期差异不显著,试验后期再生水适宜灌 > 混合适宜灌 > 清水适宜灌;均一性分值试验初期差异不显著,试验后期清水适宜灌均一性分值极显著小于混合适宜灌及再生水适宜灌处理。再生水不仅富合作物生长所需的氮、磷、钾等营养元素,而且含有大量可溶性盐。试验初期大气蒸发力较强,造成土壤表层盐分积累,不同水质灌溉处理表层盐分差异在一定程度上是造成草坪观赏品质差异的主要原因;试验后期,营养元素的缺乏已成为影响草坪观赏品质的主要因素,清水灌溉造成氮素缺乏,植物缺氮时叶片叶绿素含量降低导致叶片颜色变浅^[17],不利于草坪正常生长。

2)再生水不同水分处理下草坪的观赏品质除冬季各处理间差异呈缩小趋势,其他生育期均达极显著水平。研究表明:试验初期随着土壤水分的增加叶宽增大,试验后期叶宽差异不显著;草坪草的分蘖密度大小在整个生育期与土壤水分含量高低成正比,试验后期除重度水分胁迫外,其他4个水分处理间差异不显著;草坪颜色分值、盖度分值及均一性分值在再生水不同水分处理之间呈现相似的变化规律,随着土壤水分含量的增高,草坪观赏品质提高。土壤水分胁迫严重时,土壤供水速度低于植株失水速度,叶细胞膨压降低,细胞增大受到抑制,叶片发生萎蔫或卷曲^[18],同时分蘖减少,致使草坪观赏品质降低。

3)以影响草坪观赏品质的质地、分蘖密度、颜色、盖度及均一性等5个因素为评价指标,结合实测值,对再生水灌溉下草坪观赏品质进行了综合分析,不同处理对草坪观赏品质的影响以草坪观赏品质优劣为序,依次为:再生水充分灌、再生水适宜灌、混合适宜灌、再生水轻微干旱胁迫、清水适宜灌、再生水中度干旱胁迫、再生水重度干旱胁迫处理。由此可见采用再生水浇灌能明显提高草坪观赏品质,特别是在节水条件下采用轻微干旱胁迫处理就能保证较好的草坪观赏品质。

参 考 文 献

- [1] 牛晗. 城市水资源合理化开发利用[J]. 工程勘察, 2005, (4): 23-27
- [2] Lubello C, Gori R, Nicese F P, et al. Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation[J]. Water

- Research, 2004, 38(12):2939-2947
- [3] Lucho-Constantino C A, Prieto-García F, Del Razo L M, et al. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 108(1):57-71
- [4] 王昌俊,韩烈保,苏德荣.再生水灌溉高尔夫球场潜在的问题及解决方法[J].草原与草坪,2004,104(4):42-50
- [5] 孙强,韩建国,姜丽,等.草坪蒸散量及水分管理的研究[J].草地学报,2004,12(1):51-56
- [6] 张新民,孙新章,胡林,等.北京地区常用草坪草的耗水规律及适宜灌溉量研究[J].农业工程学报,2004,20(6):77-80
- [7] 孙强,韩建国,刘帅,等.草地早熟禾草坪土壤水分动态与根系生长分布[J].生态学报,2005,25(6):1306-1311
- [8] 周陆波,韩烈保,苏德荣,等.再生水灌溉对草坪草生长的影响[J].节水灌溉,2005,(1):5-8
- [9] 张淑侠,吴旭银,马为民,等.灌溉水质对草坪土壤化学性质的影响[J].草业学报,2004,13(3):119-122
- [10] 黄冠华,杨建国,黄权中.污水灌溉对草坪土壤与植株氮含量影响的试验研究[J].农业工程学报,2002,18(3):22-25
- [11] 刘晓静.草坪质量评价新方法——综合外观质量法[J].甘肃农业大学学报,2004,39(6):651-655
- [12] 段碧华,尹伟伦,韩宝平,等.不同PEG-6000浓度处理下几种冷季型草坪草抗旱性比较研究[J].中国农学通报,2005,21(8):247-251
- [13] 刘及东,陈秋全,焦念智.草坪质量评定方法研究[J].内蒙古农牧学院学报,1999,20(2):44-48
- [14] 吕一河,傅伯杰,刘世梁,等.卧龙自然保护区综合功能评价[J].生态学报,2003,23(3):571-578
- [15] 于爱兵,钟利军,刘家臣,等.氧化物与稀土盐酸盐复合陶瓷的切削加工性能评价[J].中国稀土学报,2003,21(12):32-37
- [16] 马卫武,李念平,杨志昂,等.室内空气品质综合评价权重系数的确定与分析[EB/OL]. [2005-08-20]. <http://xiazhongliang.blkee.com/2238442.html>
- [17] 沈掌泉,王珂,朱君艳.叶绿素计诊断不同水稻品种氮素营养水平的研究初报[J].科技通报,2002,18(3):173-76
- [18] 吴海卿,段爱旺,杨传福.冬小麦对不同土壤水分的生理和形态响应[J].华北农学报,2000,15(1):92-96