

硅对干旱胁迫下草地早熟禾形态及生理特性的影响

郑明珠¹, 刘金荣¹, 秦伟志², 杨有俊¹

(1. 兰州大学草地农业科技学院 农业部草地农业生态系统学重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃源岗农林开发有限公司, 甘肃 兰州 730020)

摘要:通过测定人工模拟干旱缺水条件下, 不同浓度硅处理后草地早熟禾(*Poa pratensis*)品种蓝宝石(Sapphire)总蒸散量、叶片相对含水量、叶片相对电导率、草坪质量、根干质量、根活性指标变化, 研究了硅对干旱胁迫条件下草地早熟禾形态及生理特性的影响。结果表明, 干旱胁迫下草地早熟禾的总蒸散量、叶片相对含水量、草坪质量、根干质量、根活性较对照(充分灌水)明显下降, 而叶片相对电导率明显上升。在对照处理下, 各浓度硅对总蒸散量、叶片相对含水量、草坪质量、根干质量、根活性、叶片相对电导率均没有显著影响; 而在干旱胁迫下, 硅能明显促进草地早熟禾总蒸散量、叶片相对含水量、草坪质量、根干质量、根活性升高, 促进叶片相对电导率明显下降, 且以浓度为 2.14 mmol/L 时效果最佳。

关键词:干旱胁迫; 硅; 灌水量; 蒸散量

中图分类号: S543+.901; Q945; H78

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2011)06-1009-05

*¹ 植物在干旱环境下维持可利用水分是其存活的关键^[1]。限制灌溉或降水量小经常造成草坪质量的下降, 因此在水分利用受限条件下使用耐干旱的草种是进行草坪管理的一个重要策略。尽管耐旱草种有一定的抗旱能力, 但目前有关外施硅肥对干旱胁迫下草坪草影响的研究很有限, 因而草坪草对干旱胁迫的反应及硅肥对草坪草在干旱胁迫下生长、抗旱性能的影响还不是很清楚。因此, 有必要进一步探究外施硅肥对草坪草在干旱胁迫下的生长及缓解干旱胁迫造成的伤害情况, 这对今后在水分限制环境下提高草坪草抗旱性及对草坪草进行合理的施肥管理具有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验于 2010 年在兰州大学草地农业科技学院进行, 参试草坪草为草地早熟禾(*Poa pratensis*)品种蓝宝石(Sapphire), 种子来自美国百绿集团。

试验在兰州大学榆中校区草地农业科技学院人工智能温室进行, 温室条件设定为白天 25 °C (07:00-21:00), 晚上 19 °C (21:00-次日 07:00), 相对湿度 65%, 光照强度 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。从草坪草品种圃内选择生长一年且长势健壮、均一的供试草种草皮移入自制小型蒸散仪(直径 11 cm、高 45 cm 的 PVC 管制成, 底部用纱网封口)中, 蒸散仪中

装当地原土 6.5 kg, 土壤类型为黄绵土, 质地中壤, 土壤 pH 值 7.44, 容重 1.29 g/cm^3 , 有机质含量 0.737%, 全氮 0.058 9%, 速效磷 4.77 mg/kg , 速效钾 132.95 mg/kg , 有效硅 110 mg/kg 。所有供试草种在恢复生长期追肥(N:P:K=16:4:8)2次, 每周浇 2 次透水, 草坪修剪留茬高度为 5 cm。待草坪草恢复生长 1 个月后进行干旱胁迫下的施肥处理。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 采用盆栽试验, 1 个参试草种, 设 2 个土壤水分处理(充分灌水及干旱胁迫), 每个土壤水分设 4 个硅梯度处理, 共 8 个处理, 每个处理设 4 个重复, 共 32 盆。通过称量法控制土壤水分, 充分灌水:使蒸散仪中的土壤含水量为田间最大持水量的 75%±5%; 干旱胁迫:使蒸散仪中的土壤含水量为田间最大持水量的 45%±5%。在充分灌水和干旱胁迫处理下分别设 4 个硅梯度, 即分别施加 0、1.07、2.14、4.28 mmol/L 硅酸钾溶液(以下简称 Si₀、Si_{1.07}、Si_{2.14}、Si_{4.28})。用氯化钾调平各处理的钾

* 收稿日期: 2011-04-28 接受日期: 2011-05-05
基金项目: 兰州市科技计划项目(2010-1-24); 甘肃省科技计划项目(1011FKCA137)
作者简介: 郑明珠(1986-), 女, 河南洛阳人, 在读硕士生, 主要研究方向为草坪逆境生理。
E-mail: imzhengmingzhu@126.com
通信作者: 刘金荣 E-mail: ljr2197@163.com

离子含量。共处理 38 d。

1.2.2 测定指标及方法

总蒸散量测定:在温室培养 1 个月后,开始进行蒸散量测定,正式观测前 3 d 按照各自处理要求灌水,使蒸散仪中土壤含水量达到各自处理要求的田间最大持水量百分比,静置 2 h 后称量,重复 4 次以此质量作为基准质量,为 W_1 ;然后用电子秤每日 18:00 称量,测定失水量,记录测得的质量,为 W_2 ;然后再补水达到基准质量 W_1 ,补充的水量即为当日的蒸散量。蒸散量测定时间设定为 38 d,最后计算出参试草种在不同硅浓度下的总蒸散量。

草坪质量测定:通过 SigmaScan Pro 软件对草坪进行数码成像,然后对所成的像从颜色和盖度方面进行评定^[2],最后得到草坪质量得分。

叶片相对含水量的测定参照邹琦^[3]的称量法;相对电导率的测定参照邹琦^[3]的电导法;根活性的测定参照邹琦^[3]的 TTC 法并略加修改。

根干质量采用自然干质量法,将待测根鲜样本冲洗后 105 °C 杀青,75 °C 烘干,分析天平称量获得根干质量。

1.2.3 数据分析及作图 用 SPSS 17.0 软件对数据进行方差分析和多重比较,用 SigmaPlot 10.0 软件制图。

2 结果与分析

2.1 草坪草的总蒸散量 干旱胁迫下不同浓度硅处理对草地早熟禾的总蒸散量变化产生了明显影响(图 1A)。充分灌水条件下草地早熟禾的总蒸散量显著大于干旱胁迫下的总蒸散量。经差异显著性分析,在充分灌水条件下,草地早熟禾的总蒸散量在 Si_0 、 $Si_{1.07}$ 、 $Si_{2.14}$ 、 $Si_{4.28}$ 处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。在干旱胁迫下,草地早熟禾总蒸散量在 Si_0 与 $Si_{2.14}$ 及 $Si_{2.14}$ 与 $Si_{4.28}$ 处理间差异显著 ($P < 0.05$),但其他浓度硅处理间差异不显著。

2.2 叶片相对含水量 干旱胁迫下不同浓度硅处理对草地早熟禾叶片相对含水量变化的影响如图 1B。相应硅浓度下,充分灌水条件下草地早熟禾的叶片相对含水量明显高于干旱胁迫下的叶片相对含水量。施加不同浓度硅后,随着硅浓度的增加,充分灌水条件下草地早熟禾的叶片相对含水量变化并不明显,基本保持在 86% 左右 ($P > 0.05$)。在干旱胁迫条件下,随着硅浓度的增加,叶片相对含水量由 Si_0 处理下的 47% 上升到 $Si_{2.14}$ 处理下的 67%, $Si_{4.28}$

处理下叶片相对含水量又降至 62%,差异显著性检验结果表明,叶片相对含水量在 Si_0 处理与 Si_0 、 $Si_{1.07}$ 、 $Si_{2.14}$ 、 $Si_{4.28}$ 处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 叶片相对电导率 充分灌水条件下 Si_0 、 $Si_{1.07}$ 、 $Si_{2.14}$ 、 $Si_{4.28}$ 处理的草地早熟禾叶片相对电导率明显低于干旱胁迫下相应硅浓度处理的叶片相对电导率(图 1C)。施加硅后,充分灌水条件下草地早熟禾的叶片相对电导率基本保持不变,维持在 7% 左右。干旱胁迫条件下,叶片相对电导率随着硅浓度的增加从 Si_0 处理下的 53% 下降到 $Si_{2.14}$ 处理下 38%,经差异显著性分析,叶片相对电导率在 Si_0 处理与 Si_0 、 $Si_{1.07}$ 、 $Si_{2.14}$ 、 $Si_{4.28}$ 处理间差异显著 ($P < 0.05$),在 $Si_{1.07}$ 处理与 $Si_{2.14}$ 处理间差异也显著。

2.4 草坪质量 充分灌水条件下,草地早熟禾的草坪质量明显高于干旱胁迫下草地早熟禾的草坪质量(图 1D)。施加不同浓度硅后,充分灌水条件下草地早熟禾的草坪质量没有随硅浓度的增加而发生明显的变化,草坪质量基本保持在 80 分左右,经差异显著性分析,草坪质量在各硅处理间差异都不显著 ($P > 0.05$)。在干旱胁迫条件下,草坪质量从 Si_0 处理下的 37 分上升到 $Si_{2.14}$ 处理下的 47 分,经差异显著性分析,草坪质量在 $Si_{2.14}$ 处理与 Si_0 、 $Si_{1.07}$ 、 $Si_{4.28}$ 处理间差异均显著 ($P < 0.05$)。

2.5 根干质量 草地早熟禾的根干质量变化如图 1E 所示,在相应硅浓度下,充分灌水条件下草地早熟禾的根干质量大于干旱胁迫条件下的根干质量(图 1E)。施加不同浓度硅后,充分灌水条件下草地早熟禾的根干质量基本保持在同一个水平,经差异显著性分析,根干质量在 Si_0 、 $Si_{1.07}$ 、 $Si_{2.14}$ 、 $Si_{4.28}$ 处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。干旱胁迫条件下,根干质量从 Si_0 处理下的 3.3 g 上升到 $Si_{2.14}$ 处理下的 5.3 g,在 $Si_{4.28}$ 处理下又下降至 5.1 g,经差异显著性分析,根干质量在 Si_0 处理与 $Si_{1.07}$ 、 $Si_{2.14}$ 、 $Si_{4.28}$ 处理间差异显著 ($P < 0.05$),在 $Si_{1.07}$ 处理与 $Si_{2.14}$ 、 $Si_{4.28}$ 处理间差异也显著。

2.6 根活性 充分灌水条件下,草地早熟禾的根活性明显高于干旱胁迫条件下的根活性(图 1F)。施加硅后,充分灌水条件下草地早熟禾的根活性基本保持不变,经差异显著性分析,根活性在 Si_0 、 $Si_{1.07}$ 、 $Si_{2.14}$ 、 $Si_{4.28}$ 处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。干旱胁迫条件下 $Si_{1.07}$ 、 $Si_{2.14}$ 和 $Si_{4.28}$ 处理下的根活性

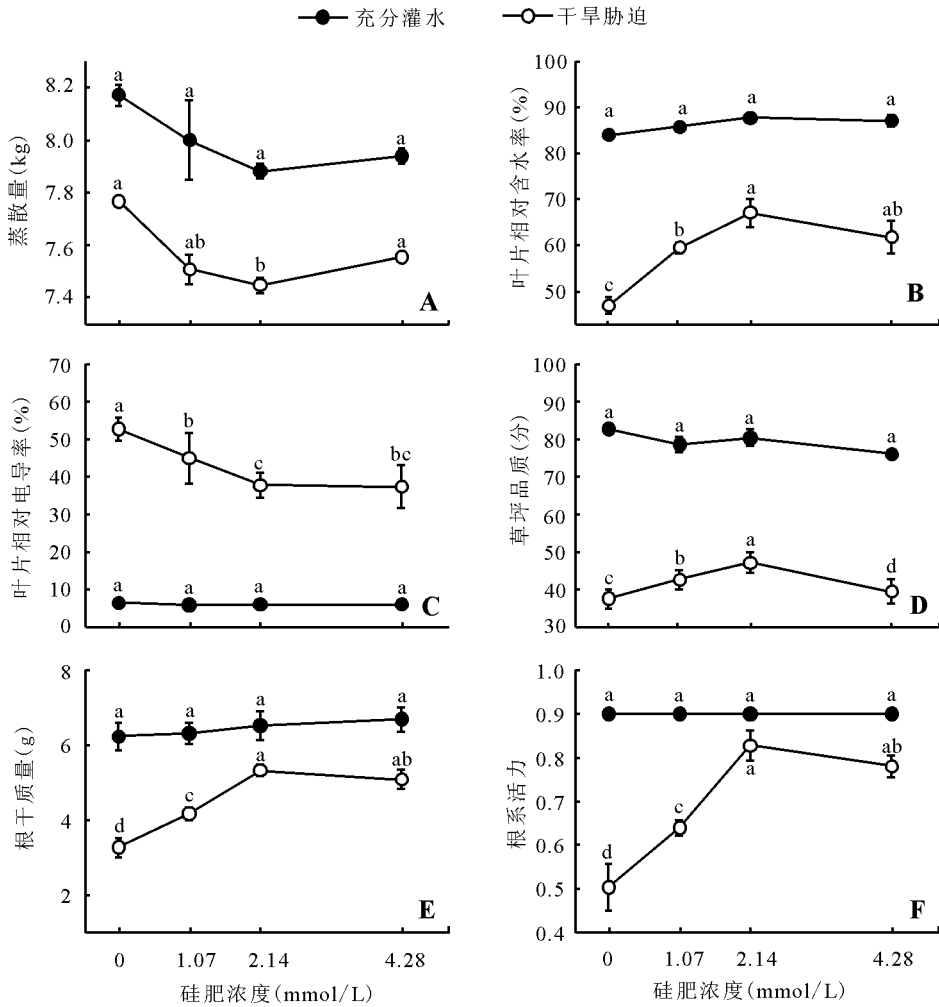


图1 充分灌水、干旱胁迫下不同浓度硅处理草地早熟禾总蒸散量、叶片相对含水量、叶片相对电导率、草坪质量、根干质量、根活性的变化

注:图中不同小写字母表示同一水分梯度下不同硅处理间差异显著($P < 0.05$)。

都较 Si_0 处理下明显上升,其中 $Si_{2.14}$ 处理下的根活性甚至接近充分灌水条件下相应硅处理的水平,经差异显著性分析,根活性在 Si_0 处理与 $Si_{1.07}$ 、 $Si_{2.14}$ 、 $Si_{4.28}$ 处理间差异显著 ($P < 0.05$),而且根活性在 $Si_{1.07}$ 处理与 $Si_{2.14}$ 、 $Si_{4.28}$ 处理间差异也显著。

3 讨论

草坪蒸散量是指植株蒸腾与土壤蒸发的总耗水量,蒸散量在一定程度上反映了植物避旱性、保水性的强弱^[4-5]。受植物、土壤与气象因素的综合影响^[6-7],土壤水分含量往往对植物蒸散量产生较大影响^[8]。本研究结果表明,不同浓度硅对参试草地早熟禾在干旱胁迫下的蒸散量有明显影响,即干旱胁迫下硅可明显降低蒸散量,尤其以 $Si_{2.14}$ 处理蒸散量降低效果最为明显。主要是因为外源硅被草坪草吸

收后在叶片及叶鞘表皮细胞上形成“角质—双硅层”,以减少叶面水分消耗,降低呼吸速率,最终降低其蒸散量,可在短期干旱时保证植物的正常生长,这与李清芳等^[9]对大豆(*Glycine max*)的研究结果一致,即硅参与植物抗旱生理反应^[10],随着土壤有效硅含量的提高,植物生长过程中蒸腾强度减弱,使其蒸散量降低。

叶片相对含水量反映叶片水分含量的水平,叶片相对含水量越高,表明该草种的保水能力越强,在一定程度上也反映了植株对干旱的适应能力^[11]。干旱胁迫下参试草地早熟禾的叶片相对含水量下降,表明当土壤水分含量降低时,草坪草植物体可吸收利用的水分减少,表现为叶片相对含水量下降,叶片相对含水量很大程度上受土壤水分含量的影响。

水分充足条件下草地早熟禾的叶片相对含水量与施硅量没有明显的关系,叶片相对含水量并没有受硅浓度影响。干旱胁迫下叶片相对含水量随硅浓度增加明显升高,表明干旱胁迫下适量硅能明显提高参试草地早熟禾的叶片相对含水量,有利于其适应干旱胁迫环境,这与王晨等^[12]、王生银等^[13]的研究结果一致。本研究中以 $Si_{2.14}$ 处理下叶片相对含水量上升较为明显。

叶片相对电导率的变化可以反映出质膜受伤害的程度和植物抗性的强弱^[14],干旱胁迫导致草坪草膜透性增大,即叶片相对电导率升高^[15]。参试草地早熟禾叶片相对电导率在干旱胁迫下升高,表明草地早熟禾受到水分胁迫伤害,细胞膜受到一定的损伤,表现在叶片相对电导率明显升高。而干旱胁迫下叶片相对电导率随硅浓度的增加而持续下降,表明适量硅对水分胁迫下植物体的伤害起到一定的缓解作用^[16],以叶片相对电导率的明显下降为证,但不是硅浓度越高,叶片相对电导率降低就越明显,这与 Cengiz 等^[17]对玉米(*Zea mays*)的研究结果一致。

草坪草在生长过程中,水分的供给与草坪质量密切相关^[18]。草坪质量在一定程度上反映了草坪草的生长状况,干旱胁迫下参试草地早熟禾的草坪质量明显下降,表明土壤水分对草坪质量有很大影响。低灌水量导致土壤水分不同程度缺失,造成了水分胁迫,严重影响了草坪草的正常生长,最终表现为草坪质量明显下降。施加硅肥后,充分灌水条件下参试草地早熟禾的草坪质量没有出现明显变化,表明水分充足条件下草坪质量与施硅量没有明显关系。而干旱胁迫下草坪质量随硅浓度增加出现了明显的上升,尤其以 $Si_{2.14}$ 处理下草坪质量增幅最为明显,表明水分缺失条件下,适量施硅对草坪草生长起到积极作用,表现在草坪质量明显提高。

根干质量在一定程度上反映了植物在逆境条件下地下部分的生长情况。土壤水分缺失可导致各层根的死亡率增加,尤其表土层根死亡率最大,随着土壤深度增加,根死亡率相应减小^[19]。本试验参试草地早熟禾的根干质量在干旱胁迫下明显下降,表明土壤水分对草坪草根生长有着非常重要的作用。充足灌水条件下硅对参试草地早熟禾的根干质量没有明显影响,表明在水分充足条件下,根干质量与施硅量间没有明显关系。在低灌水条件下,根干质量随硅浓度的增加而明显升高,表明硅改善了参试草种

根系在干旱胁迫条件下的生长状况,有利于根系对土壤中养分的充分吸收,提高了草种对土壤养分、水分的利用率,从而保证对地上部的养分供给^[12,20]。

根活性在一定程度上反映植物在逆境下的生长状况^[21]。根维持较高的活力以便于在干旱土壤中伸长,其目的是吸收水分并向更深层生长^[22]。干旱胁迫下参试草地早熟禾的根活性明显下降,表明灌水量减少使植物体受到了不同程度的水分胁迫,导致地下根生长受到影响,表现为根活性的降低。施加不同浓度硅后参试草地早熟禾的根活性在水分充足条件下并没有发生明显变化。在低灌水条件下根活性随硅肥浓度的增加而明显上升,尤其以 $Si_{2.14}$ 处理下根活性增幅最为明显,说明硅对干旱胁迫条件下草地早熟禾的根系产生有利影响,这点从硅增强玉米根系活力的结论中得到佐证^[23],即适量硅肥对干旱胁迫下草坪草根受到的伤害起到一定缓解作用。

4 结论

干旱胁迫导致草地早熟禾品种蓝宝石总蒸散量、叶片相对含水量、草坪质量、根干质量、根活性的明显下降和叶片相对电导率的明显上升。充分灌水条件下硅肥对总蒸散量、叶片相对含水量、草坪质量、根干质量、根活性、叶片相对电导率没有明显影响,而低灌水条件下,硅肥能明显促进干旱胁迫条件下草地早熟禾总蒸散量、叶片相对含水量、草坪质量、根干质量、根活性的升高,促进叶片相对电导率的下降, $Si_{2.14}$ 处理对各测试指标促进效果最明显。

参考文献

- [1] 李艳秋,尹伟伦,夏新莉. 干旱胁迫下 4 种冷季型草坪草的生理反应[J]. 草地学报,2007,15(2):164-168.
- [2] Richardson M D, Karcher D E, Hignight K, *et al.* Drought tolerance and rooting capacity of kentucky bluegrass cultivars[J]. *Crop Science*,2001,48(6):2429-2436.
- [3] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000:11-12,62-63,159-160.
- [4] Knieval D P. Procedure for estimating ratio of live to dead root dry matter in root core samples[J]. *Crop Science*,1973,13:124-126.
- [5] Joslin J D, Henderson G S. The determination of percentages of living tissue in woody fine root samples using triphenyltetrazolium chloride[J]. *Forest Science*, 1984,30:965-970.
- [6] Kim K S, Beard J B. Comparative turfgrass evapotrans-

- piration rates and associated plant morphological characteristics[J]. *Crop Science*, 1988, 28: 328-331.
- [7] 刘艺杉, 刘自学, 李晓光, 等. 3种冷季型草坪草蒸散量的SPAC法研究[J]. *草业科学*, 2009, 26(10): 165-170.
- [8] William R. Consumption water use by sub-irrigated turfgrass under desert condition [J]. *Agronomy*, 1982, 74: 419-423.
- [9] 李清芳, 马成仓, 李韩平, 等. 土壤有效硅对大豆生长发育和生理功能的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 73-76.
- [10] 郭兴华, 郭正刚, 刘慧霞, 等. 硅对植物的有益作用及其对草坪草研究的启示[J]. *草业科学*, 2010, 27(3): 55-61.
- [11] 蒋明义. 水分亏缺下植物细胞延伸生长受抑的原初机制[J]. *植物生理学通讯*, 1992(4): 301-304.
- [12] 王晨, 左昆, 柴琦, 等. 干旱条件下硅对草地早熟禾生长初期的影响[J]. *草业科学*, 2008, 25(7): 114-117.
- [13] 王生银, 李泽西, 白贺兰, 等. 硅肥提高草地早熟禾抗旱性的效应及机制[J]. *草业科学*, 2008, 25(2): 116-120.
- [14] 何亚丽, 王惠林, 沈剑, 等. 冷地型草坪草耐热机理的研究 II. 5种冷地型草坪草离体叶片在骤然高温、干旱下细胞膜透性的变化及其抗性鉴定[J]. *上海农学院学报*, 1997, 15(3): 209-214.
- [15] 杜继琼, 曹社会. 二种冷季型草坪草对土壤干旱胁迫的生理反应[J]. *西北农业学报*, 2007, 16(3): 60-63.
- [16] 刘慧霞, 申晓蓉, 郭正刚. 硅对紫花苜蓿种子萌发及幼苗生长发育的影响[J]. *草业学报*, 2011, 20(1): 155-160.
- [17] Cengiz K, Levent T, David H. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions[J]. *Plant Nutrition*, 2006, 29(8): 1469-1480.
- [18] 汪昊磊, 苏德荣, 郑芳芳. 水分与草坪质量关系研究进展[J]. *草业科学*, 2008, 25(7): 104-108.
- [19] Huang B, Hongwen G. Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars[J]. *Crop Science*, 2000, 40: 196-203.
- [20] 徐景梅, 张素萍, 魏保权, 等. 硅肥对高粱耐旱性的影响[J]. *现代农业科技*, 2007, 19: 132-133.
- [21] Huang B, Duncan R R, Carrow R N. Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turfgrass under surface soil drying: I. shoot response[J]. *Crop Science*, 1997, 37: 1858-1863.
- [22] Sharp R E, Davies W J. Root growth and water uptake maize plants in drying soil[J]. *Experimental Botany*, 1985, 36: 1441-1456.
- [23] 马成仓, 李清芳, 束良佐, 等. 硅对玉米种子萌发和幼苗生长作用机制初探[J]. *作物学报*, 2002, 28(5): 665-669.

Effects of silicon on Kentucky bluegrass under drought stress

ZHENG Ming-zhu¹, LIU Jin-rong¹, QIN Wei-zhi², YANG You-jun¹

(1. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University;

Key Laboratory of Grassland and Agro-Ecosystems, Ministry of Agriculture, Gansu Lanzhou 730020, China;

2. Yuangang Agroforestry Development Co. Ltd. of Gansu, Gansu Lanzhou 730020, China)

Abstract: A simulated drought resistant experiment was conducted to understand the effect of different silicon supplies on morphology and physiology of Kentucky bluegrass Sapphire (*Poa pratensis*) by measuring the total evapotranspiration (ET), leaf relative water content (RWC), leaf electrolyte leakage (EL), turf quality (TQ), root dry weight (RDW) and root activity (RACT). This study indicated that ET, RWC, TQ, RDW, RACT of Kentucky bluegrass markedly decreased and EL markedly increased under the drought stress. The silicon supplies did not affect the ET, RWC, TQ, RDW, RACT, EL of Kentucky bluegrass in higher irrigation condition; however, silicon increased the ET, RWC, TQ, RDW, RACT and decreasing EL in lower irrigation conditions, especially Si_{2,14} treatment.

Key words: drought stress; silicon; irrigation content; evapotranspiration