

草地早熟禾草坪土壤水分动态与根系生长分布

孙 强¹, 韩建国^{1*}, 刘 帅¹, 周莉华²

(1. 中国农业大学草地研究所/草业科学北京市重点实验室, 北京 100094; 2. 中国农业大学资源与环境学院生态系, 北京 100094)

摘要:对草地早熟禾草坪土壤水分动态和根系生长发育状况进行研究, 结果发现不同土壤层次水分变化有所不同, 0~15cm 变化最大, 15~30cm 次之, 30cm 以下土层水分变化不大; 草地早熟禾的根系生长呈现双峰曲线模式, 5 月中旬和 8 月中下旬总根量处于峰值; 其主体根系主要分布在 0~30cm 土层内, 占总根量的 85% 以上; 根重密度随土层深度呈指数衰减关系, 0~30cm 土层下降幅度较大, 30cm 以下土层根重密度相差不大; 在 0~30cm 土层内不同层次根量占总根量的比例在不同时期亦有差异, 春秋季节 10~20cm 和 20~30cm 土层内根量比例较大, 说明此时期主体根系分布在较深的土层; 综合分析认为草地早熟禾草坪主要利用土壤浅层水分, 在降雨较少的春秋季节, 根系较深, 适宜深层灌溉, 在降雨频繁的季节, 根系较浅, 适宜浅层灌溉。

关键词:草地早熟禾草坪; 土壤水分动态; 根系生长

文章编号: 1000-0933(2005)06-1306-06 中图分类号: Q948, S812.2 文献标识码: A

Soil moisture dynamic and root growth of Kentucky bluegrass turf

SUN Qiang, HAN Jian-Guo*, LIU Shuai, ZHOU Li-Hua (*Institute of Grassland Science, China Agriculture University; Forge and Grassland Key Laboratory of Beijing, Beijing 100094, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1306~1311.

Abstract: With expanding turf areas and increased costs for developing water resources in urban, it has become very important to research irrigation requirements. Water moves into turfgrass roots from soil. The irrigation rate should be not equal in each season because the depth of root system decided the intensity for using soil water.

The experiment on soil moisture dynamic and root system growth of Kentucky bluegrass turf was conducted. The results showed that: (a) Acuteness of soil water content change was different from soil layer to layer. It was greatly in 0~15cm, less so in 15~30cm, and light below 30cm. In June and the middle of July to August in 2002 and in May to the middle of August and September in 2003, in which precipitation focused relatively, volumetric soil water content of 0~15cm was 20%~35%, of 15~30cm was 25%~35%, of 30~45cm was 30%~35%, of 45~60cm was 25%~30%, of 60~90cm was 17%~22%, and of 90~120cm was 20%~25%. Compared to rainy season, it of 0~15cm could decrease to 15% and of 15~30cm could decrease to 23%, but of 30~120cm changed not too hardly in drought period. It of 60~120cm was located basically in field capacity. But when intense precipitation and irrigation taken place, it would increase quickly and then decrease fastly, which illustrated seepage loss existed. (b) Root system growth showed a bimodal growth pattern which was similar to the growth pattern of type cool-season turfgrass. Maximum occurred at the middle of May and August, and minimum occurred at June and July; (c) About 85% of root lived at 0~30cm soil layer. Root density showed index movement. The root proportion in 10~20cm and 20~30cm soil layer was greatly in May and the middle of August to the middle of September, which showed that the major root zone was relatively deep in this period.

On the summed-up results, Kentucky bluegrass turf use mainly water in top-layer soil. Because of the deeper root and less rainfall in spring and autumn, it is suitable to irrigate turf deeply. Oppositely, it is suitable to irrigate turf shallowly in summer.

基金项目: 北京市自然科学基金重点资助项目 (6001001)

收稿日期: 2004-03-23; 修订日期: 2004-09-19

作者简介: 孙强 (1976~), 男, 黑龙江省讷河市人, 博士, 主要从事草地管理与城市绿化研究。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: grasslab@public3.bta.net.cn

Foundation item: the Natural Science Foundation of Beijing, China (No. 6001001)

Received date: 2004-03-23; Accepted date: 2004-09-19

Biography: SUN Qiang, Ph. D. candidate, mainly engaged in grassland management and city afforestation. E-mail: sunq4359@sina.com.cn

Key words: Kentucky bluegrass turf; soil moisture dynamic; root system growth

近年来,随着申办 2008 年奥运会的成功,北京现代化建设进程大大加快,对环境的绿化、美化提出了更高的要求,各类草坪特别是冷季型草坪的面积迅速增加。由于草坪养护耗水较多,给市政用水造成了相当大的压力,而我国又是水资源相对匮乏的国家,北方和沿海地区均已出现不同程度水资源短缺的严重局面,仅北京市 2000 年就缺水 8 亿 m³ 以上,可用水供应不足成为城市经济持续发展的重要制约因素^[1]。由此看来,加大草坪节水研究十分紧迫。

草坪草通过庞大的须根系从土壤中吸收水分供其生长利用,其根系的生长分布状况与土壤水分分布、运移和消耗息息相关。合理的灌溉要求每次灌水要稍微超过主体根区以下,这样既能满足根系吸收水分,又可以促进根系向土壤深层进一步扩展,同时还可以减少因渗漏造成的水分浪费,这就要求管理者必须弄清草坪草不同生长季节的扎根深度和定量水分灌入土壤后的入渗深度,以及土壤水分的变化动态^[2]。近年来,国内外学者在作物领域对根系的测定方法、土壤水分动态及对根系的影响进行了一系列的研究^[3~10],Huang 等、Qian 等、Marcum 等、Dunn 等、Koski 等及 Sheffer 等在草坪方面进行了一些相关探讨^[11~17],但在国内还较为少见,因此有必要开展此类研究。

草地早熟禾(*Poa pratensis* L.)是我国北方地区应用最为广泛的草坪草种,了解其根系季节性生长分布规律,结合土壤水分的动态变化,加以分析掌握其不同生长时期对土壤水分的利用深度,就可以此为基础确定灌溉强度,这对于草坪节水养护具有十分重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

试验区设在北京市海淀区东北旺乡中国农业大学草地研究所草坪实验基地内,属华北平原北部山前冲积平原区,东经 116.3°,北纬 39.95°,为暖温带大陆性季风气候,年平均降水量 640mm,降水主要集中于夏季(6~8 月份),占全年降水量的 70%,年平均气温 11.5℃。

1.2 供试材料

试验地草坪 2000 年建植,由“午夜(Midnight)”,“新哥来德(Nuglade)”,“奖品(Award)”各 1/3 的草地早熟禾品种混播而成。本试验区面积 100m²,草坪致密均一、生长良好。草坪土壤基础物理性状见表 1。

表 1 草坪土壤剖面基础物理性状

Table 1 Physical properties of the turf soil profile

层次 Layers(cm)	颜色 Color	质地 Texture	容重 Bulk density(g/m ³)	田间持水量 Field moisture capacity(%)	凋萎系数 Wilting coefficient(%)
0~15	暗褐色 Dark brown	壤土 Loam	1.36	31.4	8.4
15~30	暗褐色 Dark brown	壤土 Loam	1.37	31.2	9.3
30~45	棕褐色 Brown	粘壤土 Clay loam	1.52	34.2	9.9
45~60	棕褐色 Brown	粘壤土 Clay loam	1.48	29.4	8.3
60~90	黄棕色 Tan	砂壤土 Sandy loam	1.20	19.3	5.8
90~120	黄棕色 Tan	砂壤土 Sandy loam	1.19	22.3	5.7

1.3 草坪管理

草坪每周修剪 1 次,留茬高度 5cm,草屑移出试验区,试验期间灌溉视草坪生长情况及结合施肥进行;在 2003 年 4 月初和 9 月初分别施 N 肥 1 次,施量为 10g/m²;在夏季先后于 6 月 25 日、7 月 5 日施用百菌清和代森锰锌防治病害;杂草人工拔除,未使用任何化学除草剂。

1.4 测定内容及方法

1.4.1 土壤容积含水量测定 分别于 2002 年 5 月~10 月和 2003 年 4 月~11 月使用时域反射仪(TDR,MP-917,E. S. I. Environmental Sensors INC.)监测草坪土壤容积含水量。TDR 探针选择 120cm 和 60cm 长度各 3 根,随机竖直插入草坪土壤,探针间距 2m。120cm 探针可以监测土表以下 0~15cm、15~30cm、30~60cm、60~90cm、90~120cm 5 层土壤的平均容积含水量,60cm 探针可以监测土表以下 0~15cm、15~30cm、30~45cm、45~60cm 4 层土壤的平均容积含水量^[18,19]。水分监测的频率为每隔 1d 固定时间观测 1 次,如遇降雨则雨后观测。

1.4.2 根系重量分布测定 分别于 2003 年 4 月 22 日、5 月 4 日、5 月 18 日、6 月 2 日、6 月 16 日、7 月 18 日、8 月 1 日、8 月 16 日、9 月 1 日、9 月 16 日、10 月 7 日、10 月 23 日、11 月 18 日进行测定。用具有直径 8cm、高 10cm 的圆柱状钻头和 140cm 长钻柄的旋转式根钻在 0~100cm 土壤深度每隔 10cm 取土样,设 3 个重复,取样前将草坪上部植株及枯草层去掉。取回的土样加水浸

泡后放在细筛内用清水冲洗,筛洗出的根经自然风干后称重,计算总根量及各层根重量密度。

1.5 数据分析

使用 SAS 10.0 软件进行数据统计分析,LSR 检验, $p=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同层次土壤水分动态变化

从图 1、图 2 可见,草地早熟禾草坪土壤水分在整个生长期不断发生波动变化,土壤含水量随着蒸散消耗逐渐降低,经降雨和灌溉补偿后又大幅增加,这在不同土层、不同年份的不同时期表现不同。2002 年在测定期间共降雨 433.7mm,集中在 6 月下旬和 7 月下旬~8 月上旬,占总降雨的 72%;2003 年在测定期间共降雨 427.9mm,但相对分散在 5~10 月上旬,占总降雨的 81%。降雨集中期土壤含水量变幅较小,0~15cm 土层在 20%~35% 之间,15~30cm 土层在 25%~35%,30~45cm 土层在 30%~35%,45~60cm 土层在 25%~30%,60~90cm 土层在 15%~25%,90~120cm 土层在 20%~30%。在相对干旱期,虽然有灌溉补给,但土壤含水量下降得还是比较多,0~15cm 土层在 2002 年 5 月中旬、8 月中旬~9 月上旬,2003 年 8 月下旬甚至降到 15% 左右,约为田间持水量的 48%,15~30cm 土层含水量也在 2002 年 5 月中旬降至 23% 左右,约为田间持水量的 74%,30cm 以下土层与降雨集中期比较则变化不大。总体来看,0~15cm 土层含水量变化最为剧烈,15~30cm 土层次之,30cm 以下土层则明显趋缓。在强度降雨和灌溉时期 60~120cm 土层出现含水量明显增加后又很快趋于稳定的现象,说明可能存在深层渗漏的现象。

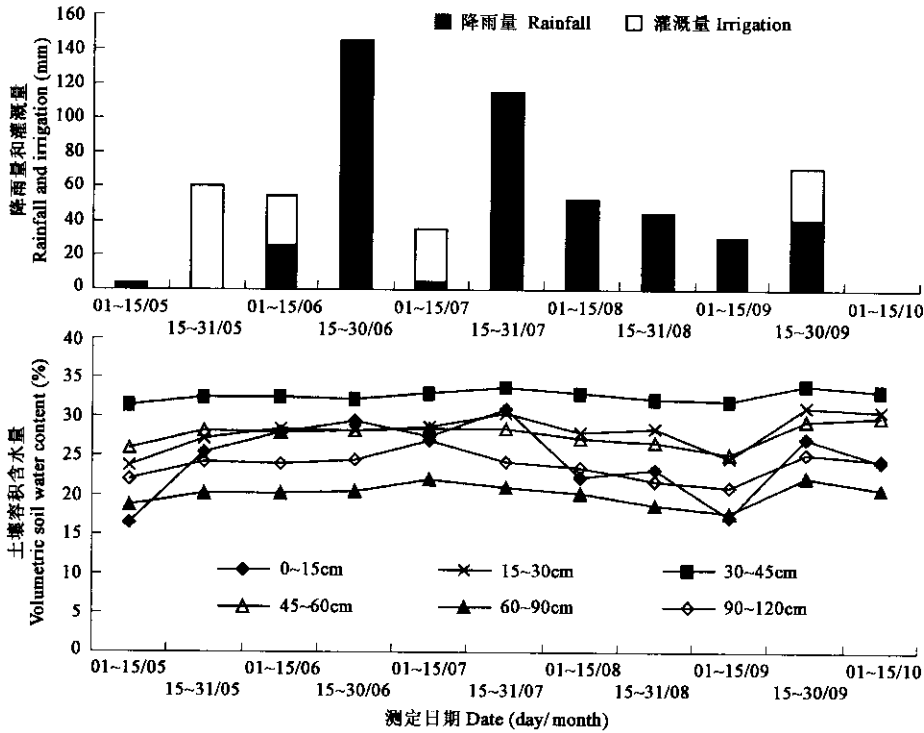


图 1 2002 年草地早熟禾草坪土壤水分动态

Fig. 1 Temporal variation of soil water content of Kentucky bluegrass turf in 2002

2.2 总根量变化动态

从图 3 可见,草地早熟禾草坪的总根量大体维持在 $2\sim6\times10^{-3}\text{g}/\text{cm}^3$,在不同生长时期变化很大,春季草坪草返青后根系迅速扩展,根量持续增加,至 5 月中旬达到第 1 个高峰期,进入 6 月份后根量开始持续减少,7 月底时达到低谷,8 月份后根量有所增加,并于 8 月中下旬达到第 2 个生长高峰期,随后除在 10 月初略有增加外,进入 9 月中旬后根量呈现出减少趋势,直至草坪草进入冬季休眠期。草地早熟禾草坪总根量这种波动变化态势与冷季型草坪草典型的根系生长双峰曲线模式基本一致,根系生长的最大值发生在春秋季节,此时气温相对较低,呼吸消耗少,碳水化合物积累较多,有利于根系的生长;夏季气温较高,呼吸消耗多,碳水化化合物的积累少,根系生长缓慢,死亡根系大幅度增加,根量减少^[20,21]。

2.3 根重密度分布及不同土层根量比例

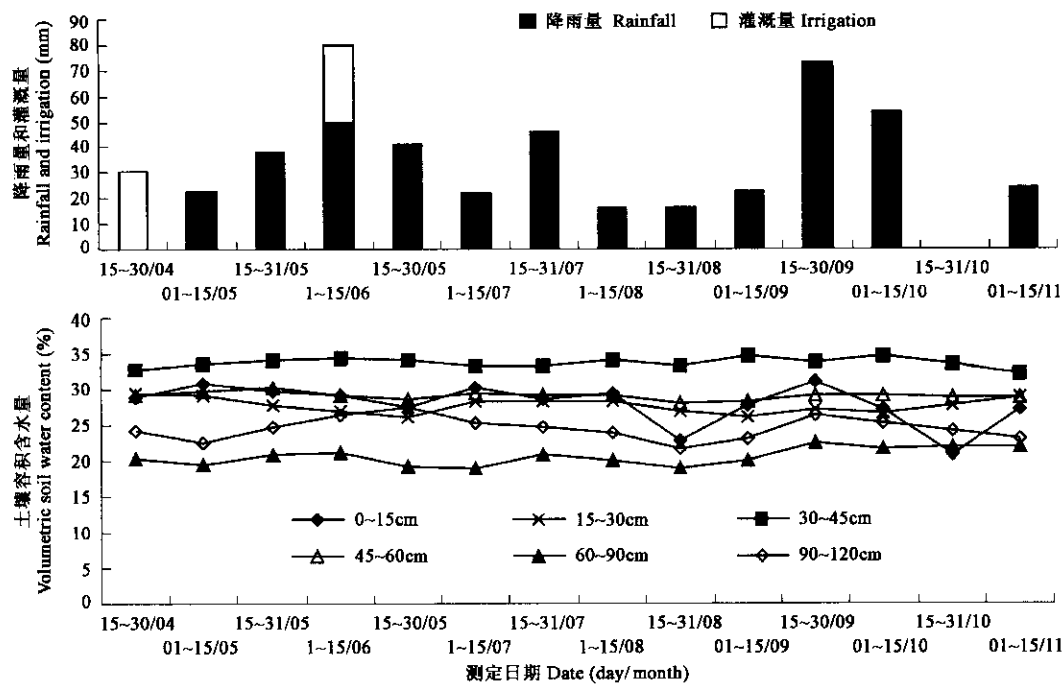


图 2 2003 年草地早熟禾草坪土壤水分动态
Fig. 2 Temporal variation of soil water content of Kentucky bluegrass turf in 2003

从图 4 可见,草地早熟禾草坪的根重密度分布在不同测定时期表现出来的趋势基本相同,但在土壤各层间的差异很大,表现为随着土层深度的增加分布持续降低,其中 0~30cm 土层内的降低幅度相对较大,30cm 以下土层的降低幅度明显要平缓得多,经相关分析,草地早熟禾草坪的根重密度与土层深度之间成指数衰减关系,这与其它禾本科作物如小麦等的根系生长分布规律基本一致^[22]。

从表 2 可见,草地早熟禾草坪根系在土壤中可以扩展到相当的深度,一般均可达到 70cm 以下,甚至超过 100cm,其中 0~30cm 土层内的根量相当大,约占总根量的 85% 以上,30cm 以下土层内的根量要少得多,一般不足 15%,说明草地早熟禾草坪的根系主要分布在土壤浅层 30cm 以内。进一步分析还可看出,在 0~30cm 内各层根量在不同时期占总根量的比例变化很大,逐层降低的幅度亦有所不同,0~10cm 变化最为剧烈,10~30cm 变化要小很多,其中总根量最大的 5 月 18 日测定值 0~10cm 根量比例最小,仅为 38.59%,但下降的幅度也最为平缓,10~20cm 根量比例为 23.58%,20~30cm 根量比例更是达到 20.18%,为同层各时期的最大值;总根量的另一个高峰期 8 月 16 日测定值 0~30cm 内根量比例下降幅度与 5 月 18 日相近,也较为平缓,可见在有利于根系生长的春秋季节,草地早熟禾草坪的主体根系分布的土壤层次也较深。

3 讨论

从结果看,草地早熟禾对 0~15cm 土层水分的消耗占主导地位,对 15~30cm 土层水分的消耗只是在干旱期较长或蒸散较大的春秋季节时利用较多^[23],30~60cm 土层的作用主要是调节上下层土壤水分的供应和蓄积,草坪草难以直接利用此层水分,60~120cm 土层的水分则基本不能被草坪所利用。张娜和梁一民将白羊草草地土壤水分垂直变化划分为活跃层(0~20cm)、次活跃层(20~40cm)和相对稳定层(40~120cm),而草地早熟禾草坪由于需要频繁修剪和灌溉,根系发育与天然草地区别很大,土壤水分垂直变化更为剧烈,因此可详细划分为 4 个层次:速变层(0~15cm)、活跃层(15~30cm)、次活跃层(30~60cm)、相对稳定层(60~120cm),这与赵聚宝等对北方旱地麦田土壤水分垂直变化划分层次相近^[24,25]。

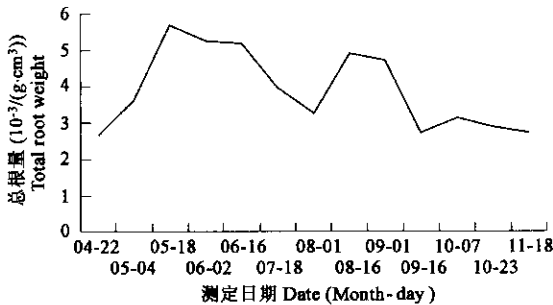


图 3 2003 年草地早熟禾草坪总根量动态变化
Fig. 3 Temporal variation of the total root weight of Kentucky bluegrass turf in 2003

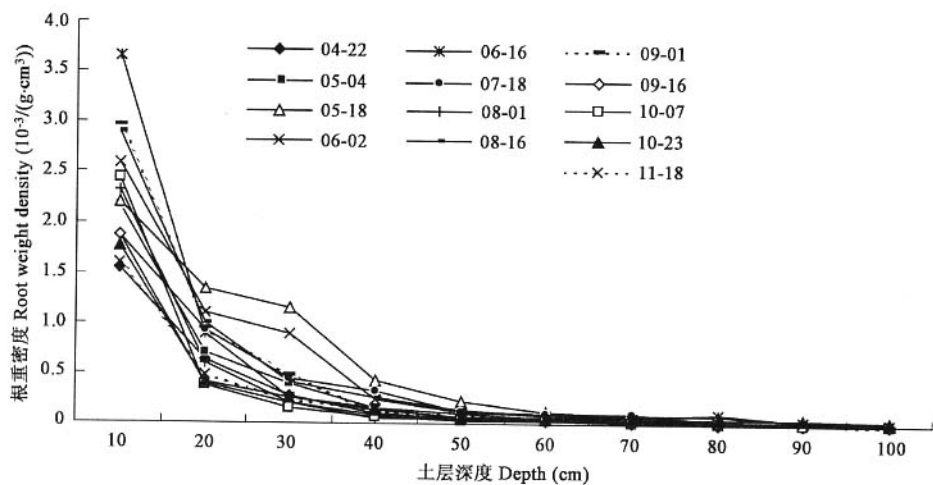


图 4 不同土层草地早熟禾的根重密度分布及其动态变化

Fig. 4 Dispose and variation of root density of Kentucky bluegrass turf with soil depth

表 2 不同土层内根量占总根量的比例(%)

Table 2 Root proportion variation with soil depth

日期 Date	土层深度 Depth(cm)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
4,22	58.37F	23.65A	10.43DC	3.97F	1.79F	1.20E	0.58G	0I	0H	0F
5,4	59.88EF	19.53C	10.94C	4.13FE	2.92C	1.38D	0.75F	0.47G	0H	0F
5,18	38.59I	23.58A	20.18A	7.49B	3.92A	2.07B	1.55C	1.63B	0.74C	0.24E
6,2	49.14G	20.86B	17.11B	4.62DE	2.24E	1.78C	1.40D	1.91A	0.51ED	0.46C
6,16	70.40CB	17.09E	5.06I	3.10HG	1.00H	1.19E	0.92E	0.45G	0.50ED	0.32ED
7,18	47.04H	23.40A	11.06C	8.06A	3.22B	2.67A	2.70A	0.88E	0.62D	0.34D
8,1	71.24B	18.31D	6.25H	1.54J	1.39G	0.85F	0.42H	0I	0H	0F
8,16	58.84F	20.21CB	8.54FE	5.26C	2.64D	1.78C	1.78B	0.62F	0.31GF	0F
9,1	62.74D	19.83CB	10.01D	2.58I	1.89F	1.43D	0.66G	0.61F	0.25GF	0F
9,16	69.09C	14.28F	7.50G	2.88HI	1.91F	1.54D	1.31D	1.02D	0.47E	0F
10,7	77.62A	12.25G	5.07I	2.42I	0.95H	1.02FE	0.34H	0.33H	0H	0F
10,23	61.54ED	14.45F	8.89E	4.49DE	2.44ED	2.09B	1.81B	1.66B	1.52A	1.10A
11,18	58.70F	17.73ED	8.60FE	4.89DC	3.10CB	2.14B	1.77B	1.17C	1.03B	0.87B

同列中字母不同表示同一土层不同时期根量比例差异显著($p<0.05$)The different letters show significant at 0.05 level for root proportion at the same soil depth with different period

从根系生长分布状况来看,草地早熟禾草坪根系生长变化态势与冷季型草坪草典型的双峰曲线模式基本一致,总根量的最大值发生在 5 月和 8 月份,为北京地区的春秋季节;根系主要分布在土壤浅层 0~30cm 以内,大体上占总根量的 85%以上,30cm 以下土层内的根量要少得多,一般不足总根量的 15%,这进一步证明它以利用土壤浅层水分为主;在 0~30cm 内各层根量在不同时期占总根量的比例变化很大,下降幅度也有所不同,其中 5 月中旬 0~10cm 根量比例最小,仅为 38.59%,但下降的幅度也最为平缓,10~20cm 根量比例为 23.58%,20~30cm 根量比例更是达到 20.18%,为同层各时期的最大值;8 月中旬 0~30cm 内各层根量比例下降幅度与 5 月中旬相近,也较为平缓,可见在有利于根系生长的春秋季节,草地早熟禾草坪的主体根系分布的土壤层次也较深。

综合来看,在春秋季节由于降雨较少,干旱期相对较长,加之气温适宜冷季型草坪草生长,蒸散量较大,对土壤水分的利用强度也较大,而此时也正是草坪草根系生长发育的高峰期,总根量最大,根系分布的也比较深,因此在灌溉管理时建议以深灌为主,同时可适当延长灌水间隔,以促进根系生长;在夏季则由于频繁的降雨,较高的气温,草坪草根系生长缓慢,死根大量增加,根系变浅,对土壤水分的利用强度也较小,同时频繁的降雨使得土壤深层水分蓄积充足,因此建议以浅灌为主。

References:

[1] Liu X M,He Z W. *Water problem tactics in China*. Beijing:Water Conservancy and Hydropower Press,1997.

[2] Beard J B. An assessment of water use by turfgrass. Inc., Gibeault VA and Cockerham Sted. *Turfgrass water conservation*. Publ.

21405. Univ of California, Riverside,1985.

[3] Li Y S,Wang L,Liu S P,*et al.* The influence of different amounts of water supplied at different depths in soil-root interface on root distribution and yield of winter wheat. *Acta Ecologica Sinica*,2002,**22**(10):1680~1687.

[4] Liang Y L. The adjustment of soil water and nitrogen phosphorus nutrition on root system growth of wheat and water use. *Acta Ecologica Sinica*,1996,**16**(3):258~264.

[5] Wang C Y,Ma Y X. Ecological and physiological effects on root systems of wheat under different soil water conditions. *Acta Agricultural Boreali-Sinica*,1992,**7**(4):1~8.

[6] Miao G Y,Zhang Y T,Yin J. A study on the development of root system in winter wheat under unirrigated conditions in semi-arid Loess Plateau. *Acta Agronomical Sinica*,1989,**15**(2):104~115.

[7] Comfort S D,Malzer G L,Busch R H. Nitrogen fertilization of spring wheat genotypes:influence on root growth and soil water depletion. *Agronomy Journal*,1988,**80**:114~120.

[8] Beyrouty C A,Wells B R,Norman R J,*et al.* Root growth dynamics of a rice cultivar grown at two locations. *Agronomy Journal*,1988,**80**:1001~1004.

[9] Hudak C M,Patterson R P. Root distribution and soil moisture depletion pattern of a drought-resistant soybean plant introduction. *Agronomy Journal*,1996,**88**: 478~485.

[10] Govindrajan M,Rao M R,Mathuva M N,*et al.* Soil-water and root dynamics under hedgerow intercropping in semiarid Kenya. *Agronomy Journal*,1996,**88**:513~520.

[11] Marcum K B,Engleke M C,Morton S J,*et al.* Rooting characteristics and associated drought resistance of zoysiagrass. *Agronomy Journal*,1995,**87**:534~538.

[12] Sheffer K M,Dunn J H,Minner D D. Summer drought response and rooting depth of three cool-season turfgrasses. *Hortscience*,1987,**22**(2):296~297.

[13] Huang B R,Fry J D. Root anatomical,physiological,and morphological responses to drought stress for tall fescue cultivars. *Crop Science*,1998,**38**:1017~1022.

[14] Huang B R,Gao H W. Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Science*,2000,**40**:196~203.

[15] Koski A J,Street J R,Danneberger T K. Prediction of kentucky bluegrass root growth using degree-day accumulation. *Crop Science*,1988,**28**:848~850.

[16] Qian Y L,Fry J D,Upham W S. Rooting and drought avoidance of warm-season turfgrass and tall fescue in Kansas. *Crop Science*,1997,**37**:905~910.

[17] Dunn J H,Minner D D,Fresenburg B F,*et al.* Influence of core aerification,topdressing,and nitrogen on mat,roots,and quality of ‘Meyer’zoysiagrass. *Agronomy Journal*,1995,**87**:891~894.

[18] Cao Q H,Gong Y S. Effect of soil bulk electrical conductivity on time domain reflectometry measurement of soil water content. *Acta Pedological Sinica*,2001,**38**(4):483~490.

[19] Gong Y S,Cao Q H,Huang M X. A laboratory experiment of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and temperature. *Acta Pedological Sinica*,1999,**36**(2):145~153.

[20] Beard J B. *Turfgrass Science and Culture*. Prentice-Hall, Inc. , Englewood Cliffs, N. J,1973.

[21] Turgeon A J. *Turfgrass Management*. Reston Publishing Co, Inc. Reston, VA, 1980.

[22] Kang S H,Liu X M,Xun Y Z. *Water transmission theory and utilize in SPAC*. Beijing:Water Conservancy and Hydropower Press,1994.

[23] Sun Q,Han J G,Mao P S. Study on the evapotranspiration of Kentucky bluegrass and tall fescue. *Grassland Science*,2003,**20**(1):16~19.

[24] Zhao J B,Xu Z L,Zhong Z Z,*et al.* *Field water balance in dryland of northern China*. Beijing:China Agriculture Press,2000.

[25] Zhang N,Liang Y M. The effect of arid climate on the structure and above-ground growth of *Bothrichloa ischaemum* community. *Acta Ecologica Sinica*,2000,**20**(6):964~970.

参考文献:

[1] 刘希明,何宗吾. 中国水问题方略. 北京:水利水电出版社,1997.

[3] 李运生,王菱,刘士平. 土壤-根系界面水分调控措施对冬小麦根系和产量的影响. 生态学报,2002,**22**(10):1680~1687.

[4] 梁银丽. 土壤水分和氮磷营养对冬小麦根系生长及水分利用的调节. 生态学报,1996,**16**(3):258~264.

[5] 王晨阳,马元喜. 不同土壤水分状况对小麦根系生理生态的影响. 华北农学报,1992,**7**(4):1~8.

[6] 苗果园,张云亭,尹钧. 黄土高原旱地冬小麦根系生长规律的研究. 作物学报,1989,**15**(2):104~115.

[18] 曹巧红,龚元石. 土壤电导率对时域反射仪测定土壤水分的影响. 土壤学报,2001,**38**(4):483~490.

[19] 龚元石,曹巧红,黄满湘. 土壤容重和温度对时域反射仪测定土壤水分的影响. 土壤学报,1999,**36**(2):145~153.

[22] 康绍忠,刘晓明,熊运章. 土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用. 北京:水利电力出版社,1994.

[23] 孙强,韩建国,毛培胜. 草地早熟禾与高羊茅草坪蒸散量的研究. 草业科学,2003,**20**(1):16~19.

[24] 赵聚宝,等. 中国北方旱地农田水分平衡. 北京:中国农业出版社,2000.

[25] 张娜,梁一民. 干旱气候对白羊草群落土壤水分和地上部生长的初步观察. 生态学报,2000,**20**(6):964~970.