

滴头埋设深度对土壤水分运移及草坪草生长的影响

庄千燕¹, 苏德荣^{1*}, 宋雪枫¹, 刘艺杉², 赵京运³

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 北京克劳沃草业技术开发中心, 北京 100029; 3. 北京首发兴业公路养护工程有限公司, 北京 102613)

摘要: 草坪地下滴灌与喷灌相比, 具有节水、方便管理等优点。为了掌握滴灌中滴头的适宜埋设深度, 通过模拟及实地试验, 对地下滴灌土壤水分分布及其对草坪生长的影响进行了观测分析。结果表明: 在流量和灌水时间一定的情况下, 随着埋深的增加, 湿润锋在水平方向的运移距离减小, 在垂直方向上增大; 相同埋深时, 滴头两侧的含水率分布对称。在高羊茅(*Festuca arundinacea* Schreb. cv. Pixie) 生长旺季, 不同埋深处理对地上生物量影响显著 ($P < 0.05$), 埋深 20 cm 显著高于其他处理 ($P < 0.05$); 不同埋深处理植株密度差异不显著; 不同埋设深度对高羊茅根系分布有一定的影响, 在每个滴头附近的根系密度和重量明显增加。

关键词: 地下滴灌; 埋设深度; 湿润锋; 含水率; 高羊茅

中图分类号: S275; Q948.113

文献标识码: A

文章编号: 1007-0435(2010)03-0435-06

Effect of Emitter Depth of Underground Drip Irrigation System on Soil Water Transportation and Turfgrass Growth

ZHUANG Qian-yan¹, SU De-rong^{1*}, SONG Xue-feng¹, LIU Yi-shan², ZHAO Jing-yun³

(1. Key Laboratory for Forest Cultivation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Beijing Clover Grass Development Center, Beijing 100029, China; 3. Beijing Shoufa Xingye Highway Maintenance Engineering Co., Ltd, Beijing 102613, China)

Abstract: Subsurface drip irrigation is better in water saving and management for lawn in comparison with the spray irrigation. In order to explore the appropriate emitter burying depth of subsurface drip irrigation, the soil water distribution and turfgrass growth characteristics under subsurface drip irrigation were observed and analyzed by the simulative experiment and filed test. The results show that the wetting front migration distance decreased in the vertical direction and increased in horizontal direction along with the increase in emitter burying depth at a given flow rate and irrigation time. For the same emitter burying depth, the water content distribution was symmetrical on both sides from the emitter. The aboveground biomass under the treatment of 20 cm emitter burying depth was significantly higher than those under other treatments in quick growth stage ($P < 0.05$). No significant effect of emitter burying depth on sward density was detected. Emitter burying depth affected root distribution to some degree, the root density and underground biomass increased obviously nearby the emitter of drip irrigation system.

Key words: Subsurface drip irrigation, Emitter burying depth, Wetting front, Soil water content, Tall fescue

地下滴灌(Subsurface drip irrigation, SDI)是微灌技术的一种,是在滴灌技术日益完善的基础上发展而成的一种新型高效节水灌溉技术^[1]。它是用管道系统输水、通过埋在地下的毛管上的灌水器将灌溉用水释放到植物根区土壤中,供植物吸收利用的一种灌水方法^[2]。与喷灌技术相比,地下滴灌具有减少地表无效蒸发、改善作物根区土壤条件、方便田间管理作业、防止毛管老化等优点^[3,4]。近年来将地下滴灌技术应用于草坪绿地的灌溉,国内外正

在开展多方面的实验研究和推广应用,比如美国在庭院草坪、城市道路绿化带草坪、牧场草地、苜蓿种植等方面都应用了地下滴灌技术^[5,6]。国内在高速公路绿化带、苜蓿、棉花栽培中也试验了地下滴灌技术,2009年北京长安街绿化改造工程中也将地下滴灌技术应用于草坪绿地的灌溉^[7,8]。总之,草坪地下滴灌与传统的喷灌相比,没有地面水和水滴在空气中的蒸发损失;在有坡度的草坪绿地上地下滴灌不会像喷灌那样产生径流,也不会将水喷洒到人行

收稿日期: 2009-10-14; 修回日期: 2010-04-22

基金项目: 国家高技术研究发展计划“863”项目(2006AA100213)资助

作者简介: 庄千燕(1985),女,汉族,福建福鼎人,硕士研究生,研究方向为城市绿地生态用水管理, E-mail: qyz823@163.com; * 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: suderong@163.com

道、路面上;不影响草坪上的各种活动和景观;而且地下滴灌有一定埋深,可以诱导根系向深度发展,增强草坪草的抗旱性。由于水资源短缺,节水灌溉成为降低城市草坪养护成本的重要措施,因此发展城市绿地、草坪地下滴灌具有重要的现实意义。

地下滴灌毛管埋深直接影响水分、养分在土壤中的运移,而水分、养分在土壤中的分布状况极大地影响植物根系的生长与分布及其对水分养分的吸收,从而影响植物整体的生长发育^[9]。通过研究草坪地下滴灌中滴头在不同埋深处理下,地下土壤水分分布及草坪草生长状况的各项指标,从而为确定

地下滴灌毛管埋放深度、灌水定额、灌水频率等参数提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 实验地概况

实验在北京克劳沃草业技术开发中心双桥基地进行,该基地位于北纬 39°34′,东经 116°28′,海拔高度 50 m,年均温 10~12℃,年平均降水量为 648 mm,75%集中在夏季。土壤质地为砂质土壤,容重为 1.36 g/cm³。土壤的机械组成见表 1。

表 1 土壤机械组成

Table 1 Mechanical composition of soil sample

颗粒粒径 Particle size (mm)	> 1.000	0.500~1.000	0.250~0.500	0.125~0.250	0.063~0.125	0.010~0.063	< 0.010
百分含量 Percentage (%)	0.17	0.19	0.11	0.07	0.07	0.11	0.12

1.2 实验材料及实验方法

实验分为 2 部分,包括室内土箱实验和室外模拟实验。

1.2.1 室内土箱实验 为研究埋深对地下滴灌土壤水分运移的影响,进行了恒流量为 0.95 L·h⁻¹,灌水时间恒为 150 min 的地下滴灌线源入渗实验。实验土箱由厚度 1 cm 透明有机玻璃制成,长×宽×高为 70 cm×70 cm×80 cm。毛管埋设深度为 5 cm、10 cm、15 cm 和 20 cm。将实验土样风干过 0.5 cm 筛,根据土壤初始含水率和土壤容重(1.36 g·cm⁻³)分层(每层厚度为 5 cm)均匀的将土样装入实验土箱。根据实验方案进行灌水。停水 12 h 后,在土箱边壁透过有机玻璃按照湿润锋边缘描绘湿润锋曲线,并按照网格格式在水平和竖直方向取土样,烘干法测定土壤含水率。土壤含水量测定采集土样分为 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm 共 4 层。

1.2.2 室外模拟实验 实验材料为贝克高羊茅(*Festuca arundinacea* Schreb. cv. Pixie)。滴灌材料由以色列 PLASTRO 公司提供的紊流式滴头、滴剑。灌水时间和灌水量为每 3 d 灌水 1 次,灌水量 10 mm。

采用单因素 4 水平实验设计。实验系统由恒压供水装置、管道、灌水器和 PVC 筒组成。高羊茅于 2008 年 11 月播种,播量 30 g·m⁻²。2009 年 4 月 1 日,移植至 PVC 桶(直径 25 cm,高 35 cm)中,每个筒中埋设 2 个深度相同的滴头,埋设深度为 5 cm、10 cm、15 cm 和 20 cm 4 个水平,每水平 3 个重复,CK 为没有埋设滴头、地表灌溉的对照实验区,实验期间做防雨处理。测定指标包括:

植株密度与生长速度:用 10 cm×10 cm 的样方

框,随机放在高羊茅草坪上,数出完整植株个体数。生长速度:以单位时间内草坪草垂直生长高度表示。测定植株的自然高度,测量值与修剪高度之差即为植株的生长速度^[10,11]。每 7 d 测量 1 次。

地上生物量:采用草屑称重法。7 d 修剪 1 次,修剪高度为 4 cm,将 PVC 桶中剪下的草屑在 65℃的烘箱中烘 24 h 至恒重,称重。

土壤含水量:测定采用烘干法。采集土样分为 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm 4 层,称重,再将土样放入烘箱中,在 105℃下烘干 10 h 后称重。

地下生物量及根系分布:测定采用土钻法。用直径为 4 cm 的土钻钻取草皮柱,取出后按 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm 分为 4 层,用流水冲洗至水清为止,用土壤筛滤去石块和砂子,将洗净的根在 65℃的烘箱中烘 24 h,称量。

1.3 数据分析

数据分析和绘图采用 Excel 2007,方差分析采用 DPS 9.50 软件。

2 结果与分析

2.1 埋深对地下滴灌湿润锋运移的影响

图 1 为灌水结束 12 h 后,不同埋深处理的湿润锋运移曲线图。可以看出,地下滴灌土壤中最终湿润锋运移的形状近似椭圆形,而湿润体的形状则近似为椭球形。在相同的流量和灌水时间下,随着埋深的增加湿润锋水平运移的距离在逐渐减小。在埋深为 5 cm 的情况下,湿润锋很早就出现在土壤表层出现,随着

埋设深度的增加,湿润锋向上运动均未到达土表,这是由毛管上升力所造成的。4 种不同埋深处理,水

平运移的距离均大于垂直运移距离,埋深越深,水平方向上运移的距离越小,垂直方向运移的距离越大。

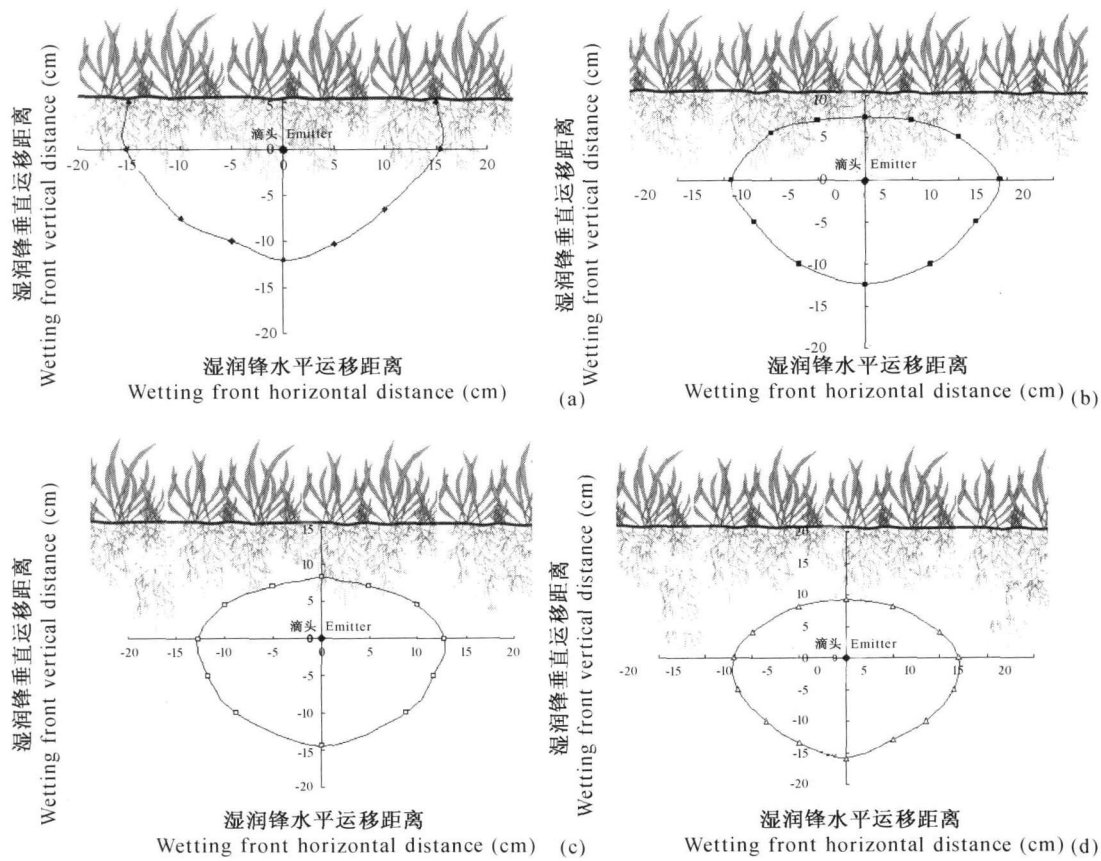


图 1 不同滴头埋置深度在 12 h 滴灌后的土壤湿润锋

Fig.1 Wetting front under different emitter depth of SDI

(a) 埋深 5 cm; (b) 埋深 10 cm; (c) 埋深 15 cm; (d) 埋深 20 cm

(a) Burying depth 5 cm; (b) Burying depth 10 cm; (c) Burying depth 15 cm; (d) Burying depth 20 cm

2.2 滴头埋设深度对土壤水分分布的影响

如图 2、3 所示,在 4 种埋深的中心位置,即滴头位置附近,土壤含水率最高,然后向湿润体四周逐渐降低,含水率分布曲线呈抛物线状。在流量和灌水时间一定的情况下,滴头埋设深度越大,距滴头一定距离内,含水率越大。水平方向,滴头两侧相同距离的土壤含水率基本对称,由于土壤重力势的作用,垂直方向上,距滴头相同距离下方的含水率高于上方。

2.3 滴头埋设深度对植株密度的影响

在整个生长季内,各处理的植株密度均呈增加的趋势,不同埋设深度 4 个处理的植株密度高于 CK 的植株密度,但是差异不显著(表 2)。实验表明

不同埋设深度会影响植株密度的大小,但是由于草坪密度较大和时间太短的原因,不同埋设深度对对高羊茅草坪密度的影响没有表现出来。

2.4 滴头埋设深度对高羊茅生长速度的影响

由于滴头埋设深度直接影响土壤水分运动,因此也间接地影响了高羊茅的生长速度。图 1 所示,在高羊茅生长旺季,4 种埋深处理的生长速度明显高于 CK,其中埋深 20 cm 的生长速度最大,这是因为地下滴灌不会造成土表水分蒸发,形成水资源的浪费,水分充分被草坪根系吸收利用,促进草坪生长。当进入夏季后,气温逐渐升高,高羊茅生长速度减慢,不同处理间差异逐渐减小,但仍高于 CK。

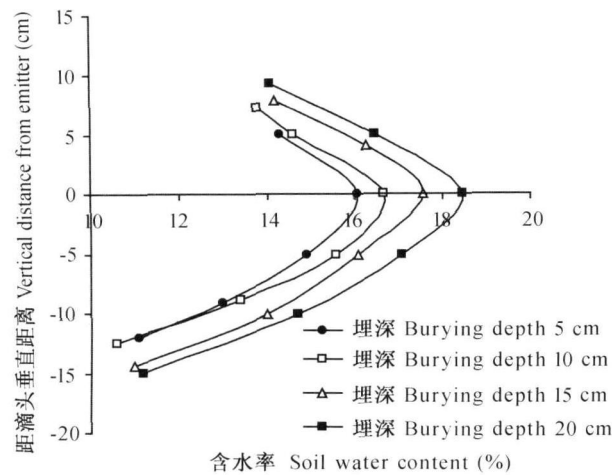


图 2 不同滴头埋深垂直方向土壤含水率的变化
Fig. 2 Dynamics of vertical soil water content at different emitter burying depths

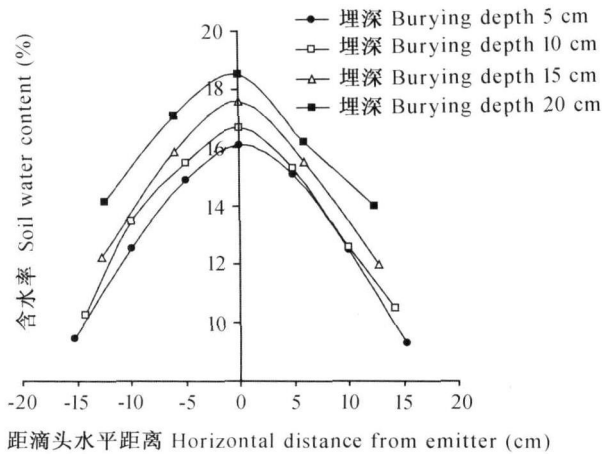


图 3 不同滴头埋深水平方向土壤含水率的变化
Fig. 3 Horizontal soil water content of different emitter depth

表 2 不同埋设深度高羊茅植株密度方差分析(株·cm⁻²)

埋深处理 Burying depth treatment		4 月 1 日 April 1	5 月 1 日 May 1	6 月 1 日 June 1	7 月 1 日 July 1
5 cm		1.36±0.40 ^a	1.47±0.40 ^a	1.51±0.25 ^a	1.56±0.30 ^a
10 cm		1.33±0.46 ^a	1.52±0.35 ^a	1.54±0.32 ^a	1.57±0.41 ^a
15 cm		1.35±0.45 ^a	1.54±0.45 ^a	1.57±0.50 ^a	1.62±0.25 ^a
20 cm		1.32±0.46 ^a	1.51±0.30 ^a	1.55±0.30 ^a	1.58±0.45 ^a
对照 CK		1.35±0.40 ^a	1.47±0.51 ^a	1.50±0.20 ^a	1.54±0.47 ^a

注: 同列小写字母不同者差异显著($P < 0.05$), 下同
Note: Means with different small letters in the same column are significantly different at the 0.05 level; same as below

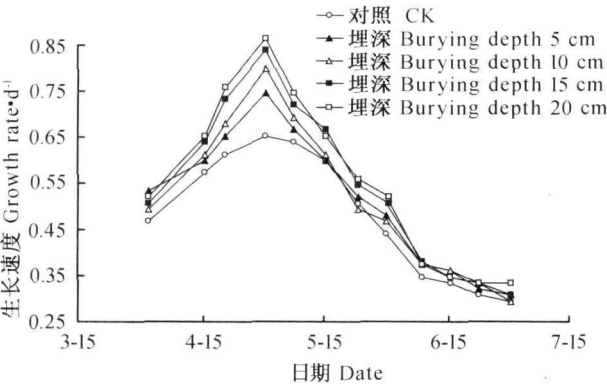


图 4 滴头埋设深度对高羊茅生长速度的影响
Fig. 4 Effect of burying depth of emitter on growth rate of tall fescue

表 3 不同埋设深度高羊茅草屑干重方差分析

埋深处理 Burying depth treatment		15 d	30 d	45 d	60 d	75 d	90 d
5 cm		7.13±0.93 ^{ab}	30.57±1.47 ^c	25.48±1.13 ^c	24.46±0.54 ^b	10.67±0.71 ^c	8.36±1.94 ^c
10 cm		4.76±0.31 ^{bc}	40.22±5.26 ^b	35.05±0.93 ^b	22.42±0.89 ^c	13.59±1.24 ^{ab}	10.39±2.27 ^{bc}
15 cm		8.15±1.42 ^{ab}	42.66±1.85 ^b	37.91±2.67 ^b	21.40±1.24 ^c	12.77±0.62 ^b	16.51±1.06 ^a
20 cm		10.12±4.20 ^a	50.95±1.28 ^a	41.17±0.74 ^a	28.12±0.54 ^a	14.47±0.42 ^a	13.25±0.89 ^b
对照 CK		2.72±0.84 ^c	21.47±5.59 ^d	19.97±1.28 ^d	20.38±1.08 ^c	9.92±0.72 ^c	7.54±1.94 ^c

2.5 滴头埋设深度对地上生物量的影响

4 个处理在草屑干物质的量指标上均高于 CK (表 3)。灌水初期, 4 个处理的草屑干重明显高于 CK ($P < 0.05$), 埋深 20 cm 的处理最大, 但是不同埋深处理间的差异并不显著; 灌水 30 d 到 60 d, 各个处理干重差距较大, 埋深 20 cm 的处理明显高于其他处理 ($P < 0.05$), 埋深 5 cm 的干重最小, 埋深 10、15 cm 的处理差异不显著; 灌水 75 d 后, 不同埋深处理的草屑干重略高于 CK, 埋深 10、15 和 20 cm 的处理差异不显著, 但是灌水 90 d 后, 埋深 15 cm 的干重最大。可以看出, 在春季高羊茅旺盛生长时期, 埋深 20 cm 草屑干物质的量最大, 进入夏季后, 高羊茅生长缓慢, 埋深 10、15 和 20 cm 的干重差距逐渐变小。

2.6 滴头埋设深度对地下生物量及根系分布的影响

整个生长期根系主要分布在 20 cm 以上, 在不同处理下, 地下生物量的增加存在差异。0~ 5 cm 土层中, 埋深 5 cm 处理的生物量增加最多, 埋深 20 cm 处理的最少; 5~ 10 cm 土层中, 埋深 10 cm 处理的增加量略高于其他处理, 埋深 5、15 和 20 cm 的 3 个处理差异不明显; 10~ 15 cm 土层中, 埋深 15 cm 处理的生物量增加最多, 埋深 10 cm 处理的次之, 埋深 5 和 20 cm 的差异不明显; 15~ 20 cm 土层中, 各处理的生物量增加量依次为: 埋深 20 cm> 埋深 15 cm> 埋深 10 cm> 埋深 5 cm。

高羊茅根系分布在地下 0~ 30 cm, 当滴头埋深为 5 cm 时, 土壤湿润体的范围为地下 0~ 12 cm, 土

壤中的水分不仅没有满足深层根系的水分吸收, 而且水分很快上渗到土表, 造成土表水分蒸发, 形成了一定的水资源浪费。埋深 10 cm 时湿润体的范围是地下 2.6~ 22.4 cm, 这时土壤水分基本满足植物根系吸收, 但是深层根系无法吸收到充足水分。埋深 15 cm 时湿润体的范围是地下 7.7~ 29.4 cm, 充分满足植物根系对水分的吸收利用, 又没有形成水资源的浪费。埋深 20 cm 时湿润体的范围地下 9.2~ 35.4 cm, 由于埋深较深, 促使高羊茅根系不断向下生长, 因此地下生物量指标大于另外 3 种处理, 但是由于湿润体超出植物根系层过多, 形成土壤深层渗漏, 浪费了宝贵的水资源。

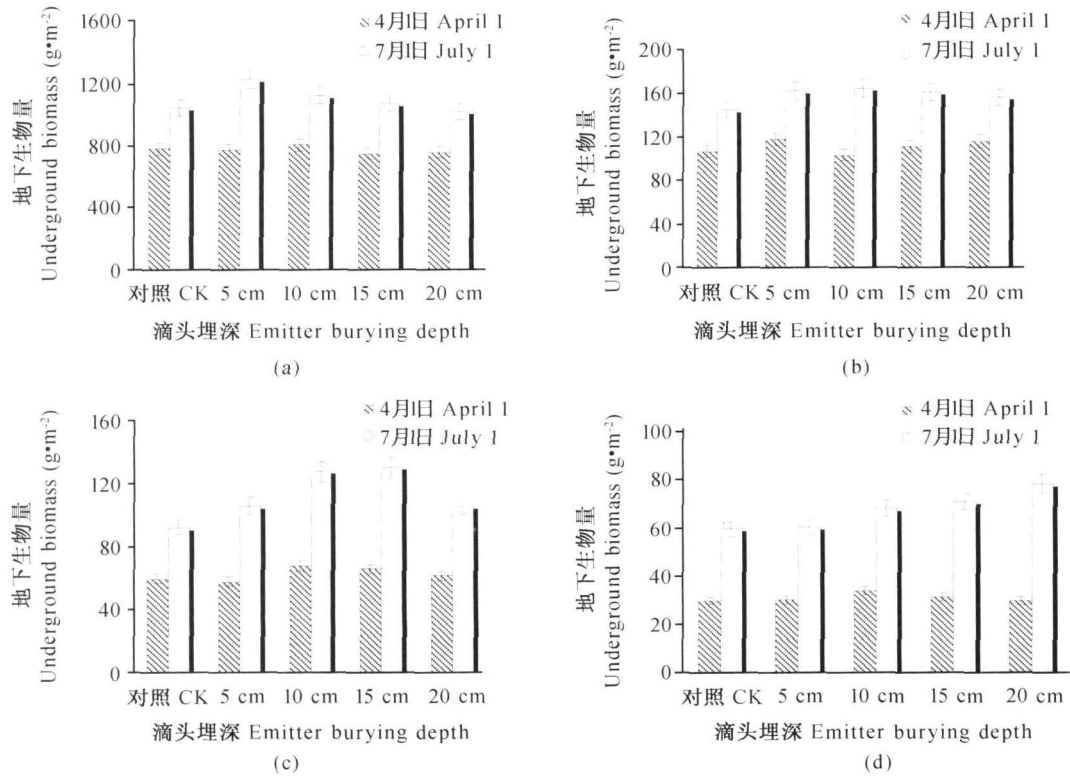


图 5 滴头埋设深度对高羊茅地下生物量的影响

Fig. 5 Effect of emitter burying depth on underground biomass of tall fescue

注 (a) 0~ 5 cm 根系层; (b) 5~ 10 cm 根系层; (c) 10~ 15 cm 根系层; (d) 15~ 20 cm 根系层

Note: (a) Root system depth 0~ 5 cm; (b) Root system depth 5~ 10 cm; (c) Root system depth 10~ 15 cm; (d) Root system depth 15~ 20 cm

3 讨论与结论

草坪是一种密植、浅根系并且修剪低矮的多年生地被植物, 将地下滴灌技术应用于草坪, 最主要的优点在于避免灌溉设施和过程对草坪上文体娱乐活动的干扰, 与喷灌相比, 减少了空气中的水汽散失和蒸发损失, 并且地下滴灌可以随水施用肥料, 从而提

高了水分和肥料的利用效率^[12]。本研究测试了 5 cm、10 cm 和 15 cm 共 3 种滴头埋深的草坪土壤水分分布情况, 可以看出 10 cm 的滴头埋深, 在滴灌结束 12 h 后草坪土壤水分垂直上升高度为 7.5 cm, 即距地表 2.5 cm 以下的 20 cm 土层为滴灌土壤水分分布带, 而这一区域也是草坪植物的最主要根系活动区, 由此说明 10 cm 的滴头埋深比较适合草坪地

下滴灌。陈鹏^[13]等人的研究认为灌水器埋放于地表下 15 cm 较为合理。即如果采用地下滴灌扩散装置,可以适当埋深,但一般绿化草坪地下滴灌埋深过大不利于提高水分利用效率,而且也会增大施工费用。

地下滴灌土壤中最终湿润锋运移的形状近似椭圆形,而湿润体的形状则近似为椭球形。在相同的流量和灌水时间下,湿润锋水平运移的距离均大于垂直运移距离,随着埋深的增加,湿润锋水平运移的距离在逐渐减小,垂直方向运移的距离增大。在不同埋深的滴头中心位置,土壤含水率最高,与田间持水量持平,向湿润体四周逐渐降低,在水平方向上,滴头两侧土壤含水率基本对称^[14,15]。在垂直方向上,由于土壤重力势的作用,距滴头相同距离下方的含水率要高于滴头上方的含水率。由此可知,滴头埋深太浅会使草坪根系在滴头附近聚集,不利于根系向下生长,埋深太深会导致水分形成深层渗漏,浪费水资源。

滴头不同埋设深度对高羊茅草坪植株密度的增加影响不明显。在整个生长季内,各个处理的植株密度均呈增加的趋势,不同埋设深度 4 个处理的植株密度要高于 CK 的植株密度,但是差异不显著。这可能是本试验高羊茅种植密度较大的原因。

不同埋深处理对草屑干物质的量的影响显著。在春季,高羊茅从返青到旺盛生长时期,不同埋深处理对草屑干物质的量的影响显著,其中埋设深度大的发挥作用大;进入夏季后,高羊茅生长缓慢,不同埋深处理间干重差距逐渐变小,埋深 15 cm 的滴头的作用开始显现。由此表明,滴头埋深 10~ 15 cm 较好。

不同埋设深度对高羊茅地下生物量及根系分布有一定的影响。高羊茅根系分布在地下 0~ 30 cm,滴头埋深较浅时,水分上渗到土表,形成无效水分蒸发,而且高羊茅深层根系无法吸收利用水分;埋深较大时,超过了植物根系层,造成地下水分渗漏,浪费

水资源,因此,在高羊茅草坪中,滴头适宜埋设深度为 15 cm。在每个滴头附近,根系密度和重量都明显变大,这一特征对今后实施草坪草随灌溉施肥具有十分重要的意义。

参考文献

[1] 任杰,温新明,王振华.地下滴灌毛管适宜埋深及间距研究进展[J].水资源与水工程学报,2007,18(6):48-51

[2] Camp C R. Subsurface drip irrigation: a review [J]. Transactions of the ASABE, 1998, 41(5): 1353-1367

[3] 吴文奇,夏玉慧,张志芬.地下滴灌技术在紫花苜蓿种植上的应用研究[J].节水灌溉,2009,4:14-17

[4] 冉春旺.地下滴灌技术发展及应用现状[J].现代农业科学,2008,15(7):51-52

[5] Suarez Rey E, Choi C Y, Waller P M, *et al.* Comparison of subsurface drip irrigation and sprinkler irrigation for Bermuda grass turf in Arizona [J]. Transactions of the ASABE, 2000, 43(3): 631-640

[6] 程先军,许迪,张昊.地下滴灌技术发展及应用现状综述[J].节水灌溉,1999,4(8):13-15

[7] 李守明,苟陕妮.地理滴灌技术在苜蓿栽培实验中的应用[J].节水灌溉,2007,2:24-25

[8] 夏玉慧,汪有科,汪治同.地下滴灌埋设深度对紫花苜蓿生长的影响[J].草地学报,2008,16(3):298-302

[9] 王振华,郑旭荣,刘洪光.非充分灌溉对地下滴灌棉花根系生长分布影响的初步研究[J].节水灌溉,2008,4:20-22

[10] 卓丽,苏德荣,刘自学.修剪高度对中华结缕草和高羊茅蒸散量的影响[J].草地学报,2008,16(5):526-529

[11] 李艳秋,尹伟伦,夏新莉.干旱胁迫下四种冷季型草坪草的生理反应[J].草地学报,2007,15(2):164-167

[12] Singh D K, Rajput T B S, Singh D K, *et al.* Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source [J]. Agricultural Water Management, 2006, 83: 130-134

[13] 陈鹏,苏德荣.地下滴灌对草坪土壤水分及根系分布的影响[J].灌溉排水学报.2008,27(6):48-50

[14] 任杰,王振华,温新明.毛管埋深对地下滴灌线源入渗土壤水分运移影响研究[J].灌溉排水学报,2008,27(5):80-82

[15] 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1998,44-52

(责任编辑 米 佳)