

根层铺多孔膜对土壤水分的影响

洪明, 赵经华, 穆哈西, 马英杰

(新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 在根系土壤不同深度铺设不同开孔度薄膜的条件下, 以黑麦草为试材, 通过盆栽试验研究了根层铺多孔膜对土壤水分的影响。结果表明: 根层铺多孔膜改变了根系层土壤水分分布, 铺设深度为 15 cm 时, 土壤含水量随深度的增加先增大后减小, 铺设深度为 20 cm 时, 土壤含水量呈“3”形分布, 同一铺设深度不同开孔度的土壤水分分布较为相似, 且土壤含水量最大值出现在覆膜深度以下 5 cm 处; 当土壤含水量降至灌溉下限时, 根层铺多孔膜各处理表层(0~5 cm)及膜上土壤平均含水量较裸土处理分别减小了 37.6%~51.1% 和 26.2%~37.0%, 膜下土壤平均含水量较裸土处理增大了 7.7%~25.0%; 在观测时段内, 根层铺多孔膜各处理中, 除铺设深度 15 cm、开孔度 30% 的处理 0~30 cm 深度土壤储水量变化值大于裸土处理 15.2% 外, 其他处理均小于裸土处理, 其中铺设深度 15 cm、开孔度 50% 的处理较裸土处理减小了 23.0%, 表明根层铺多孔膜技术具有较好的节水效果。

关键词: 根层; 多孔膜; 土壤水分

中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)04-0021-05

Effects of porous film mulching in root zone on soil moisture

HONG Ming, ZHAO Jing-hua, MU Ha-xi, MA Ying-jie

(College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: Under the conditions of porous film mulching at different soil depth and hole rate, a pot experiment was carried out to study the effect of porous film mulching in root zone (PFMRZ) on soil moisture by using ryegrass as the material. The results showed that PMMRZ changed the distribution of soil moisture in root zone. When the porous film was laid in depth of 15 cm, soil water content increased first and then decreased with the increase of depth; when it was laid in depth of 20 cm, the distribution of soil water content appeared the shape of “3”. The same laying depth with different hole rate led to similar soil moisture distribution, and the maximum of soil moisture content appeared at 5 cm below the porous film. When soil water content went down to the lower limit of irrigation, the average soil water content in surface soil (0~5 cm) and soil above porous film reduced by 37.6%~51.1% and 26.2%~37.0% respectively, while the average soil water content below porous film increased by 7.7%~25.0%, compared with no mulch treatment. During the observation period, the change values of average soil water storage at 0~30 cm depth of PMMRZ treatments were less than that of no mulch treatment except for the treatment with laying depth of 15 cm and hole rate of 30%. Among them, the PMMRZ treatment with laying depth of 15 cm and hole rate of 50% decreased the change value of average soil water storage by 23.0% compared to no mulch treatment, showing a remarkable water-saving effect.

Keywords: root zone; porous film; soil moisture

覆盖栽培技术具有增温、节水、早熟、增产等作用, 这一技术已在干旱半干旱区取得良好效果, 并大面积推广。目前各种覆盖栽培技术都是在地表覆盖地膜、秸秆、砂砾石、厩肥或生草从而实现保水、提高表土温度、减少地表蒸发、提高灌溉水利用率等目

的^[1-9]。国内外关于覆盖技术研究的热点多集中在覆盖技术对土壤水分、化学特性、土壤中 CO₂、N₂O、CH₄ 等的交换量、水分利用效率、作物产量的影响研究^[10-17], 国内学者虎胆·吐马尔白等较为系统地研究了不同深度秸秆覆盖对土壤水盐运移及作物生长

收稿日期: 2012-08-24

基金项目: 国家科技支撑计划(2011Bad29B05); 新疆自治区科技重大专项(201130103-1); 新疆水利水电工程重点学科基金资助项目(XJZDXK-2002-10-05); 新疆农业大学大学生科技创新项目

作者简介: 洪明(1980—), 男, 新疆玛纳斯人, 讲师, 硕士, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: hongming1109@163.com。

通信作者: 马英杰(1969—), 男, 河北人, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事节水灌溉研究。E-mail: xj-myj@163.com。

的影响并进行了相关的数值模拟,提出了相应的技术参数^[18-21]。总体来看,国内外的研究主要集中在大田作物或果树应用覆盖技术的效应,针对城市绿地应用覆盖技术的研究鲜有报道。此外,已有对覆盖深度的研究主要是针对秸秆覆盖,重点考虑了覆盖深度对覆盖效应的影响,缺乏关于覆盖物孔隙率对覆盖效应的影响研究。本研究提出了根层铺多孔膜技术,即在作物根系层深度布设一层具有一定孔隙率的覆盖物,在灌溉水下渗过程中阻碍其向根系层深度以下土壤入渗,减少灌溉水向深层下渗;在土壤水分向上运动补给地表蒸发的过程中减少向上的补给量,减少地表蒸发量;使灌溉水始终保持在作物根系层深度内的土壤孔隙中以供作物根系吸水,从而提高灌溉水的利用率。目前许多运动场草坪,尤其是高水平的场地,考虑到草坪的生长质量、坪床的排水性能、坪床稳定性等,在建植过程中需要对其根系层土壤进行人工设计配制^[22-23]。由于换土过程的存在,根层铺多孔膜能够在运动草坪的建植过程中得以实现。本文通过盆栽试验重点研究根层铺多孔膜条件下,多孔膜的开孔度和铺设深度对土壤水分分布的影响,进而探索其节水性能。

1 材料与方 法

1.1 试验基本情况

试验于 2010 年 5—9 月在新疆农业大学农业水利工程实验室外的空地上进行。试验土质为紫砂土,干容重 $1.38 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,土壤田间持水率为 20.28% (占重量%)。测得土壤中氮磷钾含量为:速效氮 $17.49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $11.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $46.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验材料为一年生的黑麦草(禾本科 *Lolium*),按建坪密度撒播,用喷壶将灌溉水均匀地洒入试验桶内。待黑麦草长至 10 cm 高左右开始进行试验,其他管理同大面积种植草坪。

1.2 试验方法

试验重点考虑两个因素:薄膜埋设深度和开孔度。在试验中埋设深度取 15 cm 和 20 cm,开孔度取 30% 和 50%,此处开孔度是指薄膜孔隙面积与薄膜总面积的比值,以不覆膜的裸土种植为对照,每个处理共设三个重复。试验用的塑料桶直径 40 cm、高 45 cm,将试验用土过 2 mm 的筛子,按照 $1.38 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的干容重每 5 cm 一层分层填入,同时将不同开孔度的薄膜根据试验要求按照不同埋设深度埋入。试验过程中采用相同的灌溉制度:每隔 7 d 灌

一次水,灌溉水利用洒水壶均匀地撒入试验的桶内,灌水量利用下式计算求得。

$$m = \gamma H(\theta_{\max} - \theta_{\min}) \quad (1)$$

式中, m 为灌水定额 (mm); γ 为土壤干容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); H 为计划湿润层深度 (mm),试验中取 200 mm; θ_{\max} 为灌水的上限,通常取田间持水量的 (%); θ_{\min} 为灌水的下限,通常取田间持水量的 60%。各处理采用的灌溉制度及试验过程中的降雨量如表 1 所示。具体试验处理如表 2 所示。

表 1 各处理采用的灌溉制度及降雨量

Table 1 Irrigation program and rainfall during the experiment

时间段 Month	灌水定额 Irrigation quota/mm	灌水周期 Irrigation cycle/d	灌水次数 Irrigation times	降雨量 Rainfall /mm
8 月 August	22.4	7	4	17
9 月 September	22.4	7	4	0

表 2 试验处理设置

Table 2 Treatments in the experiment

处理 Treatment	C1	C2	C3	C4	CK
埋设深度 Laying depth/cm	15	15	20	20	—
开孔度 Hole rate/%	30	50	30	50	—

1.3 参数测定

土壤含水量测定:采用英国产的 WET-2 土壤水分/温度/电导率速测仪测定,测定出的土壤含水率为体积含水率。具体测定方法为:自土壤表层起,每隔 5 cm 在试验桶壁上的水平方向打孔,每层共打 3 处,各孔在水平方向上呈 120° 均匀分布,测定时将仪器的探针从各孔处水平插入,从而获得土壤含水量。为防止灌溉水从水分测孔流出,每次测定结束后都用塑料胶带将测孔封闭。

土壤储水量的计算:土壤储水量是指一定土层厚度内土壤总的含水量,通常以 mm 计算表示。计算公式为:

$$W = \theta \times h \quad (2)$$

式中, W 为土壤储水量 (mm); θ 为土壤体积含水量 (%); h 为土壤计算深度 (mm)。

2 结果与分析

2.1 根层铺多孔膜对土壤水分分布的影响

由于各灌水周期灌水前后测得的土壤水分分布所呈现规律基本一致,在此仅以 8 月 19 日—8 月 26 日各处理土壤水分分布来说明,该灌水周期内各处理灌水前后土壤水分分布如图 1 所示。

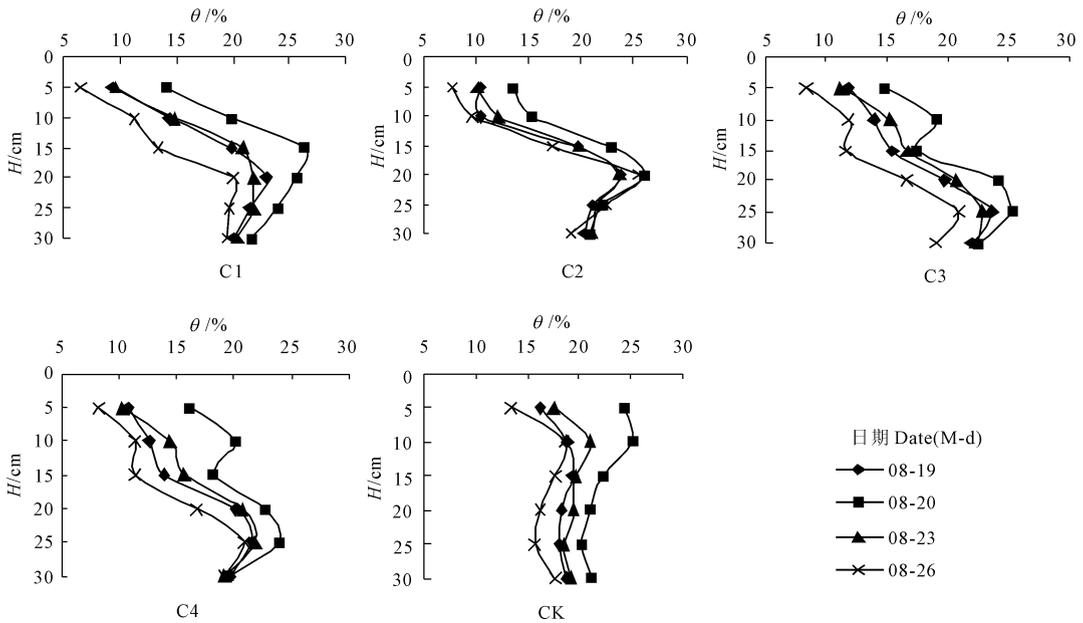


图1 灌水前后各处理土壤水分分布

Fig.1 Soil water distribution before and after irrigation under each treatment

从图1中可以看出,灌水前后处理土壤含水量分布总体变化趋势较为相似。根层铺多孔膜各处理土壤含水量分布较对照有明显差异,对照裸土处理土壤分布呈现“乙”字形分布,土壤含水量随深度的增加先增大后减小再增大,在观测深度内的10 cm和30 cm深度出现两个含水量的“最大值”点。分析认为黑麦草的吸水根系主要分布在0~20 cm深度内,由于根系的存在改变了土壤的结构,增加了毛管孔隙的数量,因此出现10 cm深度的土壤含水量大于其他深度;根系层以下的土壤水分在毛管力的作用下向上补给根系层土壤水分,但影响深度有限,因此出现了10~30 cm深度内,对照处理的土壤含水量随深度增加先减小后增大。从C1~C4处理的土壤水分分布图可以看出,根层铺多孔膜各处理中同一深度不同开孔度处理的土壤含水量分布呈现相似变化:15 cm深度30%、50%开孔度覆膜处理的土壤含水量呈单峰曲线变化,即含水量随深度的增加先增大后减小,在20 cm深度出现含水量的最大值(见图1中C1、C2处理);20 cm深度30%、50%开孔度覆膜处理的土壤含水量呈“3”字形变化,分别在10 cm和25 cm深度出现含水量的最大值(见图1中C3、C4处理)。根层铺多孔膜各处理土壤含水量的最大值都出现在覆膜深度以下5 cm处,该深度以下至桶底土壤含水量逐渐减小,并未出现对照处理含水量逐渐增大的现象,表明根层铺多孔膜能够影响灌溉后土壤水分的再分布,多孔薄膜的存在阻滞了一部分下渗水量。从图中还可以看出,多孔薄膜的

埋设深度越大,根层铺多孔膜处理土壤含水量分布与对照越接近,分析认为,当多孔薄膜的埋设深度到了根系层以下时,此时薄膜对根系层土壤水分的影响就越小。

2.2 根层铺多孔膜对不同深度土壤水分的影响

为了进一步研究根层铺多孔膜对土壤水分分布的影响,对灌水前(土壤含水量已降至灌溉下限)8月26日各处理表土层(0~5 cm)、膜上、膜下的土壤平均含水量与同一深度对照间的含水量进行了分析比较,结果见表3。

从表3可以看出,覆膜各处理0~5 cm的表层土壤平均含水量较对照裸土处理减小了37.6%~51.1%,差异显著,覆膜各处理,C3、C4处理含水量略大于C1、C2处理的,但差异不显著。覆膜各处理膜上土壤平均含水量较对照减小了26.2%~37.0%,差异显著,覆膜各处理,C3、C4处理含水量略大于C1、C2处理的,但差异不显著。覆膜各处理膜下土壤平均含水量较对照增大了7.7%~25.0%,C1、C2处理与对照比较,差异显著,C3、C4处理与对照比较差异不显著,覆膜各处理含水量,C2>C3>C4>C1,但差异不显著。从表3的数据能够反映出灌溉后采用了根层铺多孔膜技术的黑麦草草坪,表层及表层至膜上的土壤含水量较不覆膜草坪的大幅减少,膜下的土壤含水量较不覆膜草坪的有增大趋势,进一步说明了根层铺多孔膜能够减少土壤深层水分向表层的补给。

2.3 根层铺多孔膜对土壤储水量的影响

为了探讨根层铺多孔膜各处理实际的节水效果,对五个连续观测时段内的土壤储水量(计算深度 30 cm)变化值进行了计算分析。此处的土壤储水量

的变化值是本次灌水后与下次灌水前土壤储水量的差值,是由种植的黑麦草叶面蒸腾和地表蒸发耗水引起,该值愈小说明同等条件下耗水量越小。分析计算结果见表 4。

表 3 灌水前各处理不同土层深度的平均含水量/%

Table 3 Average water content at different soil depth before irrigation under each treatment

位置 Position	深度 Depth/cm	C1	C2	C3	C4	CK
表层 Surface	0~5	6.5b	7.9b	8.3b	8.1b	13.3a
膜上 Above film	5~15	10.4b	11.6b	—	—	16.5a
	5~20	—	—	12.1b	11.9b	16.4a
膜下 Below film	15~30	18.1ab	21.0a	—	—	16.8b
	20~30	—	—	19.0a	18.8a	16.6a

注:表中同行数据标不同小写字母者表示差异显著($P < 0.05$),下同。

Note: Different small letters in the same rows show significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

表 4 各处理土壤储水量变化/mm

Table 4 Change of soil water storage under each treatment

处理 Treatment	时段 Time interval(M-d)					合计 Total
	08-10—08-19	08-20—08-26	08-27—09-02	09-03—09-09	09-10—09-20	
C1	17.8	20.4	11.4	14.1	15.0	78.7
C2	15.4	9.6	6.3	9.0	12.3	52.6
C3	14.2	17.7	9.0	11.1	12.8	64.8
C4	14.8	16.2	9.0	11.4	12.5	63.9
CK	15.7	17.7	9.9	12.0	13.0	68.3

注:表中储水量变化值为各观测时段内本次灌水后的土壤储水量 - 下次灌水前的储水量

Note: Change value of soil water storage = soil water storage after irrigation this time - soil water storage before irrigation next time.

由表 4 看出,在观测时段内,各处理 0~30 cm 深度内土壤储水量的变化不尽相同:根层铺多孔膜各处理中 C1 处理储水量的变化值均大于对照,8 月 10 日—9 月 20 日间的累积储水量的变化值为 78.7 mm,较对照的 68.3 mm 增大了 15.2%。处理 C2、C3、C4 储水量的变化值均小于对照,其中处理 C3、C4 的累积储水量变化值较为接近,分别为 64.8 mm 和 63.9 mm,较对照减小了 5.2% 和 6.4%。处理 C2 储水量的变化值最小,为 52.6 mm,较对照减小了 23.0%,体现了该处理较好的节水效果。

3 结果与讨论

3.1 主要结果

(1) 根层铺多孔膜改变了土壤水分分布,薄膜在 15 cm 深度铺设的处理,土壤含水量随深度的增加先增大后减小;薄膜在 20 cm 深度铺设的处理,土壤含水量呈“3”字分布;同一铺设深度不同开孔度的土壤水分分布较为相似,且土壤含水量最大值出现在覆膜深度以下 5 cm 处。

(2) 当土壤含水量降至灌溉下限时,根层铺多

孔膜各处理表层(0~5 cm)及膜上土壤平均含水量较裸土处理分别减小了 37.6%~51.1% 和 26.2%~37.0%,膜下土壤平均含水量较裸土处理增大了 7.7%~25.0%。

(3) 在观测时段内,根层铺多孔膜各处理中,除铺设深度 15 cm,开孔度 30% 的处理(C1)大于对照裸土处理 15.2% 外,其他三个处理 0~30 cm 深度内土壤储水量变化值均小于对照裸土处理,其中铺设深度 15 cm,开孔度 50% 的处理(C2)较裸土处理减小了 23.0%,体现了一定的节水效果。

3.2 讨论

试验中虽没有对黑麦草相关的生理指标进行测定,但从生长状况上看,各处理之间无明显差异,表明在草坪根层铺多孔膜,能够起到一定的节水作用。试验观测期已进入秋季,草坪的蒸发、蒸腾能力都较夏季有所减弱,可以假设,如果整个生育期都采用根层铺多孔膜技术,节水潜力会更大。按草坪年耗水量 700 mm 计算^[24],根据试验结果采用根层铺多孔膜技术减少耗水 20% 计算,一个面积 80 hm² 的高尔夫球场每年可节约灌溉用水 1.12×10^5 m³。而且根

层铺多孔膜可以在草坪建植的前期完成,不会给后期管理产生额外的费用,可作为一种新的节水技术在运动草坪的建植管理中得到应用。

参考文献:

- [1] 史海滨,田军仓,刘庆华.灌溉排水工程学[M].北京:中国水利水电出版社,2006:128-131.
- [2] 李毅.覆膜条件下土壤水、盐、热耦合迁移试验研究[D].西安:西安理工大学,2002.
- [3] 贺欢,田长彦,王林霞.不同覆盖方式对新疆棉田土壤温度和水分的影响[J].干旱区研究,2009,26(6):826-831.
- [4] 马金宝,毕建杰,白清俊.宽垄沟灌覆膜条件下土壤水分运移初探[J].节水灌溉,2007,(2):10-13.
- [5] 陈玉娟.有机覆盖物对城市绿地土壤的影响[D].北京:中国林业科学研究院,2006.
- [6] Sang-Ok Chung, Robert Horton. Soil heat and water flow with a partial surface mulch[J]. Water Resources Research, 1987,(23):2175-2182.
- [7] Ma Y J, Li X Y. Water accumulation in soil by gravel and sand mulches: Influence of textural composition and thickness of mulch layers[J]. Journal of Arid Environments, 2011,(5):432-437.
- [8] Daniel C Brainard, John Bakker, D Corey Noyes, et al. Rye living mulch effects on soil moisture and weeds in asparagus[J]. Hort Science January, 2012,(1):58-63.
- [9] Singh I S, Awasthi O P, Sharma B D, et al. Soil properties, root growth, water-use efficiency in brinjal (*Solanum melongena*) production and economics as affected by soil water conservation practices[J]. Indian Journal of Agricultural Sciences,2011,(8):760-771.
- [10] Adel Youkhana, Travis Idol. Tree pruning mulch increases soil C and N in a shaded coffee agroecosystem in Hawaii[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009,(12):2527-2534.
- [11] Stephen J Livesley, Ben J Dougherty, Alison J Smith. Soil-atmosphere exchange of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in urban garden systems: impact of irrigation, fertiliser and mulch[J]. Urban Ecosystems 2010,(3):273-293.
- [12] Zhang Shulan, Li Pingru, Yang Xueyun, et al. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize[J]. Soil and Tillage Research, 2011,(1):92-97.
- [13] Wang Yajun, Xie Zhongkui, Sukhdev S Malhi, etc. Effects of gravel-sand mulch, plastic mulch and ridge and furrow rainfall harvesting system combinations on water use efficiency, soil temperature and watermelon yield in a semi-arid Loess Plateau of northwestern China[J]. Agricultural Water Management, 2011,(1):88-92.
- [14] Xing Z, Toner P, Chow L, et al. Effects of hay mulch on soil properties and potato tuber yield under irrigation and non irrigation in New Brunswick Canada[J]. J Irrig Drain Eng, 2012,(8):703-714.
- [15] 黄强,殷志刚,田长彦.两种覆盖方式下的土壤溶液盐分含量变化[J].干旱区地理,2001,24(1):52-56.
- [16] 陈素英,张喜英,裴冬.玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J].农业工程学报,2005,21(10):171-173.
- [17] 侯连涛,焦念元,韩宾.不同覆盖方式对土壤水分分布的影响[J].灌溉排水学报,2007,26(1):46-49.
- [18] 虎胆·吐马尔白.作物在秸秆覆盖条件下土壤水分运动的模型及应用[M].乌鲁木齐:新疆科技出版社,1999.
- [19] 虎胆·吐马尔白,吴旭春,迪力达.不同位置秸秆覆盖条件下土壤水盐运动实验研究[J].灌溉排水学报,2006,25(6):34-37.
- [20] 张金珠,虎胆·吐马尔白,王振华.不同深度秸秆覆盖对滴灌棉田土壤水盐运移的影响[J].灌溉排水学报,2012,31(3):37-41.
- [21] 乔海龙,刘小京,李伟强.秸秆深层覆盖对土壤水盐运移及小麦生长的影响[J].土壤通报,2006,37(5):885-889.
- [22] 宋桂龙.运动场草坪根系层土壤特点及配比选择的研究进展[J].草原与草坪,2009,(1):98-102.
- [23] 苏德荣.草坪灌溉与排水工程学[M].北京:中国农业出版社,2004.
- [24] 程维新,康跃虎.北京地区草坪耗水量测定方法及需水量浅析[J].节水灌溉,2002,(5):12-13.