

灌溉频率对滴灌小麦土壤水分分布及水分利用效率的影响

蒋桂英¹, 刘建国¹, 魏建军², 刁明¹

(1. 新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 石河子大学, 新疆 石河子 832003; 2. 新疆农垦科学院作物所, 新疆 石河子 832003)

摘要: 通过田间试验, 研究了不同灌水频率对滴灌小麦农田土壤水分分布及小麦水分利用效率的影响。结果表明: 从整个生育期来看, 在灌水量 375 mm 条件下, 高频灌溉(每 4 天 1 次)处理 0~40 cm 土层含水率和土壤贮水量较高, 而深层(40~100 cm)土壤较低; 低频灌溉(每 10 天 1 次)处理有利于水分的下渗和侧渗, 深层土壤含水率和土壤贮水量较高, 但水分补给不及时, 表层土壤含水率和贮水量偏低; 总体上中频灌溉(每 7 天 1 次)处理有利于水分在土壤剖面中的均匀分配, 有利于作物生长。中频灌溉产量和水分利用效率都最高, 分别比高频灌溉和低频灌溉产量增加 7.6% 和 13.5%, 水分利用效率增加 2.6% 和 9.9%。在当地自然气候条件下, 滴灌小麦采用 375 mm 灌溉量和每 7 d 1 次的灌溉频率是较适宜的灌溉模式。

关键词: 滴灌; 小麦; 灌溉频率; 产量; 水分利用效率

中图分类号: S275.6; S152.7 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)04-0038-05

Effects of irrigation frequency on soil water distribution and water use efficiency in wheat field under drip irrigation

JIANG Gui-ying¹, LIU Jian-guo¹, WEI Jian-jun², DIAO Ming¹

(1. The Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture, Xinjiang Production and Construction Group/Shihezi University, Shihezi, Xingjiang 832003, China; 2. Crop Institute, Academy of Land-Reclaimable Sciences, Shihezi, Xingjiang 832000, China)

Abstract: The field experiment was carried out to investigate the effects of different irrigation frequency (once every 4, 7 and 10 days) on soil water distribution and water use efficiency (WUE) of wheat under drip irrigation in North Xinjiang. The results showed that, when the irrigation amount was 375 mm, high irrigation frequency (once every 4 days) induced a relatively high water content and water storage in surface soil (0~40 cm) during the whole growth season of wheat, but caused an inadequate moisture in deep soil (40~100 cm). Low irrigation frequency (once every 10 days) was beneficial to the infiltration and lateral seepage of water, and induced a relatively high water content and water storage in deep soil, however, the water content and water storage in surface soil was low due to delay of water replenishment. Overall, mid irrigation frequency (once every 7 days) was beneficial to the uniform distribution of irrigation water in soil profile and was good for crop growing. Under mid irrigation frequency, the yield of wheat was increased by 7.6% and 13.5% respectively, and the WUE was increased by 2.6% and 9.9% respectively, compared to those under high and low irrigation frequency. It was suggested that irrigation with an amount of 375 mm and a frequency of once every 7 days be an appropriate drip irrigation mode for wheat under local climate condition.

Keywords: drip irrigation; wheat; irrigation frequency; yield; water use efficiency

新疆地处西北干旱区, 年平均降雨量在 100~200 mm, 农业生产完全依赖于灌溉, 水资源不足是制约新疆农业持续快速发展的核心因素, 如何有效利用有限的水资源, 满足农作物正常需水是新疆农

收稿日期: 2012-08-14
基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD42B02); 石河子大学重大科技攻关(gxjs2010-zdgg03-05); 石河子大学高层次人才项目(RCZX200812); 人力资源与社会保障部留学回国人员科技活动项目(2010LX006)
作者简介: 蒋桂英(1967—), 女, 山东济宁人, 博士, 副教授, 主要从事农田生态环境与作物生理研究。E-mail: jgy67@126.com。
通讯作者: 刁明(1968—), 男, 博士, 副教授, 主要从事农田生态环境与作物模拟模型研究。E-mail: diaoming001@yahoo.com。

业面临的重大瓶颈问题^[1]。作物需水量的大小及其变化规律,决定于气象条件、作物的特性、土壤性质和农业技术措施等,它是农田水分循环的重要部分,与当地气候条件、作物状况和土壤湿度有关^[2-3]。滴灌作为一种新型的灌溉技术,能够适时适量地进行灌溉,在作物的根区创造出适宜的水、肥、气、热等条件,从而获得节水、高产、优质的效果^[4]。滴灌条件下,就灌溉方式、灌溉定额和灌溉频率等对土壤水分分布、腾发量和耗水过程及水分利用效率的影响,国内外开展了大量研究^[5-11]。将滴灌技术应用于小麦生产是近年开始发展起来的新型种植模式,目前对于滴灌条件下小麦耗水规律的研究甚少,特别是对滴灌条件下灌水频率和土壤水分下限对小麦生育期水分腾发和耗水过程的影响研究更少。因此,本研究通过分析滴灌条件下小麦生育期内的土壤水分动态,揭示灌溉频率对土壤水分分布和水分利用效率的影响,为进一步完善小麦滴灌灌溉制度提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2011 年在新疆石河子大学农学院试验

站进行(44°18'N, 86°03'E),当地海拔 435 m,年平均气温 6.1℃,年降雨量 208 mm,蒸发量为 1 967 mm,无霜期 160~170 d,≥10℃积温 3 693℃,年辐射总量 5 392 MJ·m⁻²,年日照 2 680 h,为典型的半干旱生态类型。试验区土壤为砂壤土,耕层土壤基础养分全氮 0.75 g·kg⁻¹,速效磷(P₂O₅)33.4 mg·kg⁻¹,速效钾(K₂O)181.8 mg·kg⁻¹,碱解氮 58.4 mg·kg⁻¹,pH 值 7.8,土壤有机质 11.21 g·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验设置 3 个灌水频率,即高频灌溉(4 天 1 次,H)、中频灌溉(7 天 1 次,M)和低频灌溉(10 天 1 次,L),全生育期灌水量 375 mm,具体灌溉设计见表 1。小区面积 28.8 m²(3.6 m×8 m),重复 3 次。小区四周用聚氯乙烯塑料膜隔离,隔离深度为 50 cm,每个小区内安装水表记录水量。滴灌带布置为一管四行方式(即 4 行小麦 1 条滴灌带,行距为 15 cm。滴灌带幅宽为 60 cm,毛管铺设在 4 行小麦中间,滴灌带每边 2 行小麦分别定义为边 1 行、边 2 行)。小麦二叶一心(4 月 15 日)开始滴水,6 月 25 日结束。春小麦品种为新春 6 号,3 月 25 日播种,7 月 3 日收获,小麦水肥管理同生产中大田管理一致。

表 1 小麦生育期滴灌措施
Table 1 Irrigation management during wheat growth season

处理 Treatment	出苗—拔节 Emergence – jointing		拔节—抽穗 Jointing – tasselling		抽穗—乳熟 Tasselling – filling		乳熟—成熟 Filling – maturation		生育期 Growth period	
	04 – 04—04 – 30		05 – 01—05 – 23		05 – 24—06 – 15		06 – 16—07 – 03		100 d	
	灌水次数 Irrigation times	单次灌 水量/m ³ Irrigation amount	灌水次数 Irrigation times	单次灌 水量/m ³ Irrigation amount	灌水次数 Irrigation times	单次灌 水量/m ³ Irrigation amount	灌水次数 Irrigation times	单次灌 水量/m ³ Irrigation amount	灌水次数 Irrigation times	灌水总量 Total irrigation amount/m ³
H	5	10.0	7	12.5	6	14.6	2	12.5	20	250
M	3	16.7	4	21.9	3	29.2	1	25	11	250
L	2	25.0	2	43.8	3	29.2	1	25	8	250

注:H、M、L 分别代表高频、中频、低频灌溉。下同。
Note: H, M and L represent high, mid and low irrigation frequency, respectively. The same as below.

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤含水量测定 取样深度 100 cm,为每 20 cm 取样 1 次,用烘干法测定土壤含水量,每个小区 3 次重复。在小麦不同生育期测定土壤含水量,不同处理分别在两次灌水间隔期中间测定,即高频率灌后第 2 天,中频率灌后第 3 天,低频率灌后第 5 天测定。取样点分别设在滴灌带下、边 1 行小麦行间(距离滴灌带 7.5 cm)和边 2 行小麦行间(距离滴灌带 22.5 cm)。

1.3.2 作物耗水量的测定 耗水量(ET,mm)采用水量平衡法计算。

$$ET = SW_b + P + I + G - R_0 - D_p - SW_e$$
式中, SW_b 、 SW_e 分别为时段始、末根区土壤含水量(mm); P 为时段内的总降水量(mm); I 为灌水量(mm); G 为时段内地下水对作物耗水的补给量(mm); R_0 为时段内测定区域的地面径流量(mm); D_p 为时段内根区的深层渗漏量(mm)。由于试验地地下水位在 20 m 以下,降雨量很小且地块平整,故

G 、 D_p 、 R_0 这 3 项可忽略不计。土壤含水率均以 3 个取样点不同深度加权平均值表示。

1.3.3 土壤贮水量(W) 土壤贮水量的计算

$$W = \sum_{i=1}^5 W_i \times D_i \times H_i$$

式中, W 为土壤贮水量(mm); W_i 为第 i 层土壤重量含水量(%); D_i 为第 i 层土壤容重($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); H_i 为第 i 层土层厚度(cm)。

1.3.4 水分利用效率(WUE) 的计算 收获期按小区实收测定小麦产量及构成, 计算水分利用效率(WUE)。

$$WUE = Y / (P + \triangle S + I)$$

式中, P 是作物生长期期间的降水量(mm); $\triangle S$ 是小麦收获期与播种期土壤剖面水分含量(mm) 之差; I 为生育期灌溉量(mm); Y 为小麦产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

1.4 数据处理

数据处理与分析方法用 Microsoft Excel 2003 软

件进行数据计算和作图, 用 DPS 7.05 统计分析软件进行数据差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 灌溉频率对不同深度土壤水分含量的影响

不同滴灌频率处理的麦田不同位置土壤含水率变化见表 2。在 0~40 cm 耕层, 高频灌溉土壤含水量最高, 平均为 15.39%, 中频灌溉次之, 平均为 15.27%, 低频灌溉最低, 平均为 14.53%, 40~100 cm 以下则呈相反趋势。在相同灌水处理下距离滴灌带越近土壤含水率越高, 总体表现为滴管带下>边 1 行小麦>边 2 行小麦, 不同灌溉频率在 0~40 cm 距离滴灌带不同位置土壤含水量差异较小, 40~100 cm 土层不同灌溉频率在距离滴灌带不同位置土壤含水量表现为低频>中频>高频, 其中边 2 行小麦位置低频、中频灌溉比高频灌溉土壤含水量增加 25.5% 和 31.1%。

表 2 不同滴灌频率下麦田土壤含水量/%

Table 2 Soil water content in wheat field under different drip irrigation frequency

土层 Soil layer /cm	滴管带下 Under drip irrigation tape			边 1 行 First row beside drip irrigation tape			边 2 行 Second row beside drip irrigation tape		
	H	M	L	H	M	L	H	M	L
0~20	15.74	15.28	13.67	15.48	15.21	14.06	14.48	14.57	14.17
20~40	16.05	15.68	14.51	15.86	15.62	15.26	14.71	15.28	15.56
40~60	14.56	15.03	15.28	14.22	15.16	15.54	13.07	14.26	15.27
60~80	13.68	14.75	16.12	13.27	14.59	15.87	10.13	14.08	15.43
80~100	12.42	14.34	16.68	12.24	15.13	16.24	9.08	15.02	16.18

高频灌溉相当于少量多次的灌溉方式, 可维持 0~40 cm 耕层土壤含水量处于较高水平, 有利于促进作物生长和提高灌溉水利用效率。但 40 cm 以下土层土壤含水量较低, 不利于耕层土壤水分的补充和作物抗旱。低频灌溉相当于少次多量的灌溉方式, 虽然在一定程度上可以保证作物的水分供给, 但不能满足持续稳定的水分供给。

2.2 灌溉频率对滴灌小麦耗水量的影响

不同灌溉频率对小麦耗水量影响见图 1。在小麦生育期内, 小麦耗水量各处理均表现为生育前期少, 中后期多, 成熟期再减小的变化趋势, 呈抛物线型。在抽穗—乳熟期达到最高点。不同处理的耗水规律基本一致, 播种—拔节期, 由于气温较低, 植株幼小, 生长发育较为缓慢, 耗水强度、耗水量较少。拔节期后气温上升, 蒸发强烈, 小麦植株快速生长, 至抽穗—乳熟期小麦生物量最大, 日耗水强度和耗水量增大, 高频、中频和低频处理的最高耗水量分

别为 5.62、5.53 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 5.81 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。灌浆期末耗水量回落, 乳熟—成熟期降至 1.12 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。整个生育期内, 高频、中频和低频处理的耗水量分别为 538、564 mm 和 544 mm, 不同处理间差异不大, 这说明在当地自然条件下农田耗水量主要受灌水量的影响。

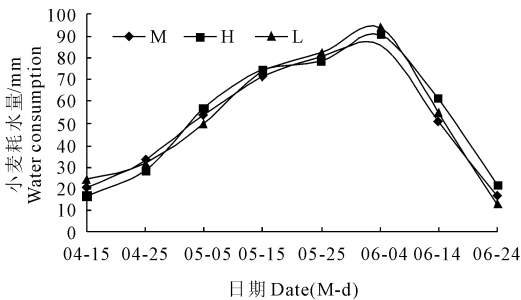


图 1 不同灌溉频率滴灌小麦生育期耗水量变化

Fig.1 Water consumption during whole growth period of wheat under different drip irrigation frequency

2.3 灌溉频率对滴灌小麦土壤贮水量的影响

在一定土壤质地条件下,滴灌水量决定了湿润体范围,灌溉频率决定水分的补充速度。图 2 显示,低频灌溉时,表层土壤水分散失快而补充不及时,滴灌后长时间内处于缺水状态,其 0~30 cm 土层土壤含水率低于中频灌溉和高频灌溉,而深层土壤水分散失相对较慢,水分补给成为主要因子,低频灌溉时较大的灌水量有利于水分的下渗,使 30~100 cm 土层土壤含水率高于中频灌溉和高频灌溉。在小麦生长的不同时期,对土壤水分的消耗也不一样,在小麦生育前期,低频灌溉处理灌水次数少,单次灌水量较

大,由于植株消耗的水分少,灌溉水向土壤深处移动,使得灌溉水不能得到充分利用,而中频灌溉和高频灌溉处理灌溉水基本满足小麦生长的需要。随着生育期的推进,小麦植株变大,蒸腾蒸发量相对较大,灌水量的多少直接影响着土壤水分的消耗,灌水次数较少的低频灌溉处理因灌水间隔期较长,不能满足植株的需水要求,从土壤中吸收的水分也增大,灌水次数多的高频灌溉处理因灌水间隔期短,单次灌水量较少,水分向土壤深层移动的较少,灌溉水基本满足小麦生长的需要。

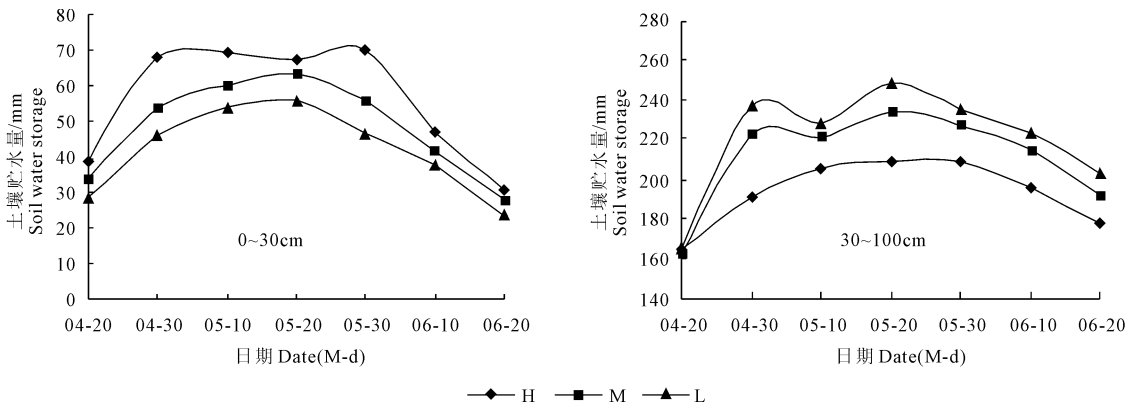


图 2 不同灌溉频率处理下 0~30 cm 及 30~100 cm 土壤贮水量变化

Fig.2 Soil water storage in 0~30 cm and 30~100 cm soil under different drip irrigation frequency

2.4 灌溉频率对滴灌小麦产量及水分利用效率的影响

表 3 显示不同处理下小麦产量及水分利用效率的变化,在相同灌溉量下,低频灌溉处理的小麦产量显著低于中频灌溉和高频灌溉处理,而中频灌溉和高频灌溉处理之间无差异,低频灌溉处理的小麦产量分别比中频灌溉和高频灌溉处理产量降低11.9%和 5.2%。

表 3 不同灌溉频率对滴灌小麦产量及水分利用效率(WUE)的影响

Table 3 Yield and water use efficiency (WUE) of wheat under different drip irrigation frequency

处理 Treatment	产量/(kg·hm ⁻²) Yield	耗水量/mm Water consumption	WUE /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
H	7143a	538	13.28a
M	7686a	564	13.63a
L	6771b	544	12.44b

注:同列数据后不同字母表示处理间差异显著(P<0.05)。
Note: Different letters in same columns represent significant difference at P<0.05 level.

不同处理水分利用效率变化与产量变化一致,中频灌溉处理水分利用效率最高,分别比高频灌溉和低频灌溉处理增加 7.6%和 13.5%。以上结果表明,在灌溉量一致的条件下,小麦产量与水分利用效率并不与灌溉频率成正比,少量多次的灌溉方式,在一定程度上提高了耕作层土壤水分的含量,维持了作物生长的水分环境,但滴水间隔过短,单次滴水量少,造成距离滴灌带远的边行土壤含水量较低,也会影响小麦产量和水分利用效率。因此在当地气候及土壤环境条件下,生育期滴水量 375 mm,7 天 1 次的滴水频率可获得较高的产量和水分利用效率。

3 结 论

灌水定额和灌水频率是灌溉制度的两个重要指标。近年来,国内外许多学者在寻求作物合理灌溉方式上做了大量研究。通常,高频滴灌有利于形成易于植物根系吸收的土壤水分条件,提高水分利用率,增加作物产量^[12-13],但灌水间隔过大或过小均不利于作物生长,会造成相对不利的水分条件和盐

分条件,导致作物生长受到胁迫而减产,只有采取适中的灌水间隔,才能使作物产量达到最大^[14]。本研究表明,灌水频率过大或过小均不利于小麦生长,滴灌小麦在生育期 375 mm 灌溉定额下,高频灌溉(4 d)在耕作层土壤含水量和土壤贮水量高,但润湿的土壤体积小,特别是在远离滴灌带的边行小麦及深层(40 ~ 100 cm)土壤含水量及土壤贮水量低,造成麦田土壤水分不均匀和小麦抗旱性差,低频灌溉(10 d)单次滴水量大,滴水间隔时间长,有利于水分向水平和垂直方向运移,但也造成部分水分的浪费,而且由于水分补给间隔时间长,低频灌溉造成表层土壤在不滴水时长时间处于缺水状态,耕作层土壤含水量和土壤贮水量低于高频灌溉,中频灌溉(7 d)处理适宜的灌水频率和单次灌水量有利于水分在各土层中的均匀分配,有利于滴灌小麦的生长。因此在当地气候及土壤环境条件下,生育期灌溉量 375 mm,7 天 1 次的灌水频率可获得较高的产量和水分利用效率。滴灌土壤水分变化和植物生长耗水受到众多因素的影响,后期研究应考虑不同土壤质地、土壤盐分含量、土壤肥力等因素,以获得更系统详尽的结果。

参 考 文 献:

[1] 幕彩芸,马富裕,郑旭荣,等.北疆春小麦蒸散规律及蒸散量估算研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):53-57

[2] Meshkat M, Warner R C, Workman S R. Evaporation reduction potential in an undisturbed soil irrigated with surface drip and sand tube irrigation[J]. Trans of the ASAE, 2000,43(1):79-86.

[3] 陈玉民.估算冬小麦旬平均日耗水量模型的初步研究[J].水利学报,1999,4(12):49-54.

[4] 朱自玺.棉花耗水规律与灌溉随机控制[J].应用气象学报,1998,9(4):417-424.

[5] 郭 琛,祁 通,侯振安,等.滴灌条件下灌溉量和频率对杂交棉生长和产量的影响[J].新疆农业科学,2010,47(9):1872-1877.

[6] 刘梅先,杨劲松,李晓明,等.膜下滴灌条件下滴水量和滴水频率对棉田土壤水分分布及水分利用效率的影响[J].应用生态学报,2011,22(12):3203-3210.

[7] Hendawy S, Hokam E M, Schmidhalter U. Drip irrigation frequency: The effects and their interaction with nitrogen fertilization on sandy soil water distribution, maize yield and water use[J]. Agronomy Crop Science, 2008,194:180-192.

[8] 刘战东,肖俊夫,刘祖贵,等.膜下滴灌不同灌水处理对玉米形态、耗水量及产量的影响[J].灌溉排水学报,2011,30(3):60-64.

[9] Wang F, Kang Y, Liu S. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain[J]. Agricultural Water Management,2006,79:248-264.

[10] 孔德杰,张源沛,郑国保,等.不同灌水次数对日光温室辣椒土壤水分动态变化规律的影响[J].节水灌溉,2011,(6):14-16.

[11] Sensoy S, Ertek A, Gedik I, et al. Irrigation frequency and amount affect yield and quality of field grown melon(*Cucumis melo* L.)[J]. Agricultural Water Management, 2007,88:269-274.

[12] El-Gindy A M, El-Araby A M. Vegetable crop response to surface and subsurface drip under calcareous soil[C]//Proc Int Conf On Evapotranspiration and Irrigation Scheduling, St. Joseph Mich: ASAE, 1996:1021-1028.

[13] 康跃虎,王凤新,刘士平,等.滴灌调控土壤水分对马铃薯生长的影响[J].农业工程学报,2004,20(2):66-72.

[14] 高 龙,田富强,倪 广,等.膜下滴灌棉田土壤水盐分布特征及灌溉制度试验研究[J].水利学报,2010,41(12):1483-1490.