

# 不同滴灌灌水定额对小麦的耗水特性和产量的影响

陈凯丽<sup>1</sup>, 赵经华<sup>1</sup>, 黄红建<sup>2</sup>, 马英杰<sup>1</sup>, 杨磊<sup>2</sup>

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052;

2. 阿勒泰地区水利管理处, 新疆 阿勒泰 836500)

**摘要:**通过大田试验,探究滴灌条件下不同灌水定额的小麦耗水规律。结果表明,各处理间小麦的日均耗水量都呈双峰曲线变化,总耗水量呈先增大后减小的趋势。在灌水相对充足的条件下,耗水强度从小到大依次为完熟期<拔节期<抽穗扬花期<孕穗期<乳熟期<灌浆期。拔节期一定的水分胁迫有益于小麦水分利用效率和单穗粒数的提高,灌浆期的耗水量对最终产量尤为重要。研究表明,T1(225 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)、T2(300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)、T3(375 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)处理由于耗水量过低造成小麦减产。综合比较 T4(450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)、T5(525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)、T6(600 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)处理,T5处理是最有利于节水增产的处理。该试验结果可为北疆地区滴灌小麦探究最优的灌溉制度提供合理的参考依据。

**关键词:**滴灌小麦;灌水定额;耗水规律;产量

中图分类号:S512.11

文章标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.03.011

陈凯丽,赵经华,黄红建,等.不同滴灌灌水定额对小麦的耗水特性和产量的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(3):65-68,84.

## 0 引言

新疆地处干旱半干旱地区,水、地矛盾突出,农业属于绿洲灌溉农业,农业用水占总用水量的96%<sup>[1]</sup>,水资源匮乏限制了农业发展。然而新疆灌溉用水浪费大,水分利用效率低,依据2011年全国农田灌溉用水有效利用系数表明,新疆农田灌溉用水的有效利用系数为0.491,显著低于全国平均水平,节水潜力巨大<sup>[2]</sup>。因此,如何利用有限的水资源,提高作物产量和水分利用效率是发展干旱绿洲区节水农业的关键<sup>[3]</sup>。

滴灌是一种先进的现代化节水灌溉技术,与传统节水灌溉技术相比,节水效率约提高70%~80%<sup>[4]</sup>。滴灌不仅是一种在缺水、蒸发强烈地区有效利用水资源的灌水方式,而且是现代化精准农业(精准灌溉)的一种主要技术措施<sup>[5]</sup>。新疆的第一大粮食作物是小麦,其种植面积占粮食作物的65%以上<sup>[6]</sup>。国内专家学者对春小麦的耗水特征进行了研究,但大部分是非滴灌方式。滴灌技术在新疆应用日趋成熟,已在棉花上大规模推广和应用,对膜下滴灌棉花耗水特征已开展了较系统研究<sup>[7-8]</sup>,而关于粮食作物特别是滴灌小麦的研究相对较少。滴灌小麦田间无渠道和畦埂占地,土地利用率高可提高5%~7%。滴灌属于局部灌溉,棵间蒸发和深层渗漏损失少,减少田间渠系渗漏、蒸发和田间泡水等现象,并能把水分较为集中地输送到作物的根部,所以水分利用效率高<sup>[9]</sup>。因此,探究滴灌小麦的耗水规律,对于进一步发展新疆节水灌溉具有重要意义。

## 1 试验区概况和试验方法

### 1.1 试验区概况

试验于2015年4—8月在阿尔泰山地区福海县阔克阿勒什乡浑沃尔海进行(47°00'56"N,87°35'56"E)。实验站地势平坦,坡度较小。此处称为“台地”,戈壁荒滩,与县城高差约30~50 m,平均海拔为445 m。多年平均气温为4.2℃;极端最高气温为39.3℃,极端最低气温为-41.2℃,多年平均降水量为121.90 mm,多年平均蒸发量为1 820.10 mm。土壤质地为多砾石沙土,保水保肥性差,土壤肥力低下。土壤干体积质量

收稿日期:2015-12-15

基金项目:新疆水利科技项目(2013G05);新疆水利工程重点学科基金资助项目(XJZDXK-2002-10-05)

作者简介:陈凯丽(1992-),女,新疆新源人。硕士研究生,主要从事灌溉节水理论研究。E-mail: 18167988120@163.com

通信作者:赵经华(1979-),男,新疆奇台人。副教授,硕士研究生导师,主要从事节水灌溉技术研究及教学工作。E-mail: zhaojinghuaxj@126.com

1.56~1.70 g/cm<sup>3</sup>。田间持水率(体积比)12%~26%。

## 1.2 供试材料

供试品种为新春11号,4月30日进入出苗期,8月5日收割。施肥与其他管理措施与当地大田一致。

## 1.3 试验方法

该试验以春小麦为供试作物共设6个试验处理(T1: 225 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>; T2: 300 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>; T3: 375 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>; T4: 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>; T5: 525 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>; T6: 600 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)。每个处理设置3个重复,即春小麦作物种植区共设置18个灌水小区。小区排列采取随机区组设计,每小区长42 m,宽7.2 m,小区面积302.4 m<sup>2</sup>。

春小麦灌溉方式采用滴灌系统,滴管带为北屯雨润节水设备公司生产的单翼迷宫式滴灌带,毛管间距0.6 m,滴头间距0.2 m,压力0.1 MPa时滴头流量3.6 L/h。各处理滴头流量相同,灌水次数相同,全生育期共灌水11次:出苗水1次,分蘖期2次,拔节期1次,孕穗期2次,抽穗扬花期2次,灌浆期2次,乳熟期1次。春小麦各生育期见表1。

表1 春小麦生育期

0430—0513	0514—0527	0528—0606	0607—0616	0617—0701	0702—0711	0712—0724	0725—0805
出苗期	分蘖期	拔节期	孕穗期	抽穗扬花期	灌浆期	乳熟期	完熟期

## 1.4 测试项目及方法

1)土壤含水率:在小麦行侧不同距离布置TRIME管,采用TRIME—IPH土壤剖面含水率测量系统对不同深度土壤水分状况进行监测。60 cm垂直深度土层内,每隔20 cm测1个含水率。

2)作物耗水量:根据水量平衡原理使用式(1)计算小麦各生育阶段的耗水量:

$$ET=W_0-W_t+P_0+M+K-S \quad (1)$$

式中:ET为时段t内作物的耗水量(mm);W<sub>0</sub>、W<sub>t</sub>为时段初和任一时间t的土壤计划湿润层内的储水量(mm);P<sub>0</sub>为土壤计划湿润层内保存的有效水量(mm);M为时段t内的灌水量(mm);K为时段t内的地下水补给量(mm);S为时段t内的深层渗漏量(mm)。

由于地下水埋深大于6 m,因此不考虑地下水补给(即K=0)。根据埋设在地里的HYDRAU水分测定仪的观测数据显示,在试验地60 cm以下,土壤含水率基本没有变化,因此不考虑深层渗漏(即S=0)。

3)水分利用效率:

$$\text{水分利用效率}(\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm}))=\text{产量}(\text{kg}/\text{hm}^2)/\text{作物全生育期耗水量}(\text{mm}) \quad (2)$$

$$\text{灌溉水利用效率}(\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm}))=\text{产量}(\text{kg}/\text{hm}^2)/\text{灌水量}(\text{mm})^{[10]} \quad (3)$$

4)考种:在收获前按小区选取典型样品,进行室内考种。考种指标有效穗数、穗粒数、千粒质量。

5)产量:成熟后按小区收获,单打单收,并计产。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌水处理下小麦日均耗水规律

根据试验数据,得到不同灌水处理下小麦的整个生育期内的日均耗水规律。由图1可知,各处理全生育期的日均耗水量呈现一定的波动且整个生育期总耗水规律呈先增大后减小趋势。各灌水处理的小麦日均耗水规律呈双峰曲线变化,第一次日均耗水峰值出现在7月1日左右,各处理小麦日均耗水量在5.84~14.45 mm之间变化;第二次日均耗水峰值出现在7月12日左右,各处理日均耗水量在3.31~13.66 mm之间变化,并基本随着灌水定额的增大而增大。各处理间小麦的日均耗水规律也不尽相同,T1、T2、T3、T4、T5、T6处理小麦日均耗水量分别在0.2~5.84、0.8~8.8、2.2~6.6、4.7~13.6、1.74~10.34、

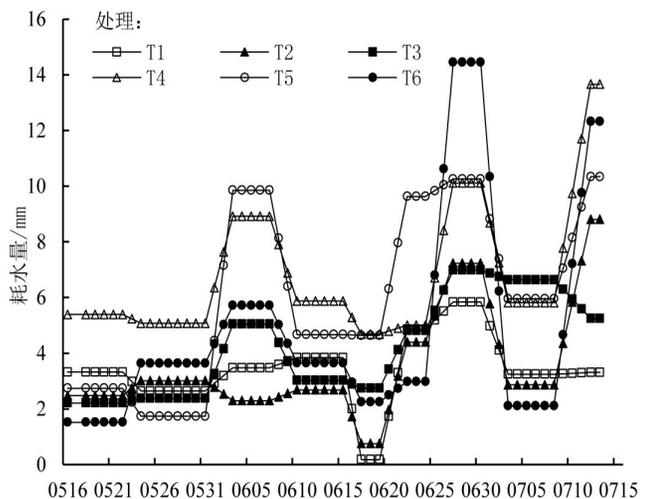


图1 不同灌水处理下小麦日均耗水量

1.54~14.45 mm之间变化。

## 2.2 不同灌水处理下小麦各生育阶段耗水量及耗水模数

由表2可得,各处理的小麦耗水模数随着时间呈现先增大后减小的趋势,并且耗水模数峰值都出现在灌浆期。这与程裕伟<sup>[11]</sup>研究结果一致。T3、T4、T5、T6处理相对于其他处理,在灌水相对充足的条件下,耗水强度从小到大依次为完熟期<拔节期<抽穗扬花期<孕穗期<乳熟期<灌浆期。灌浆期是整个小麦生育期耗水的高峰期,这个时期的耗水量显著高于其他时期的耗水。与乳熟期的耗水量相比,平均增长了71%,最大差幅达到66 mm。各处理在孕穗期、抽穗扬花期的耗水量差异不明显,差幅为0.1~7 mm。小麦耗水总量呈现先增大而后减小的趋势,且T4处理的总耗水量达到最大。T4与T5处理总耗水量差异不大,与其他处理差异显著,差幅达到20%~97%。

表2 不同灌水处理下小麦各生育阶段耗水量及耗水模数

处理	项目	拔节期	孕穗期	抽穗扬花期	灌浆期	乳熟期	完熟期	累计耗水量
T1	耗水量/mm	36.77	30.56	35.83	59.44	33.40	6.62	202.62
	耗水模数	18.15%	15.08%	17.68%	29.33%	16.49%	3.27%	100.00%
T2	耗水量/mm	32.15	26.55	25.08	67.22	39.02	17.61	207.63
	耗水模数	15.49%	12.79%	12.08%	32.38%	18.79%	8.48%	100.00%
T3	耗水量/mm	27.28	37.10	34.15	77.07	64.42	10.49	250.51
	耗水模数	10.89%	14.81%	13.63%	30.76%	25.72%	4.19%	100.00%
T4	耗水量/mm	63.26	69.96	64.22	103.30	71.36	27.32	399.41
	耗水模数	15.84%	17.52%	16.08%	25.86%	17.87%	6.84%	100.00%
T5	耗水量/mm	28.37	57.96	57.02	127.07	67.54	20.68	358.64
	耗水模数	7.91%	16.16%	15.90%	35.43%	18.83%	5.77%	100.00%
T6	耗水量/mm	27.76	46.78	39.94	106.74	40.50	24.64	286.37
	耗水模数	9.70%	16.33%	13.95%	37.28%	14.14%	8.60%	100.00%

## 2.3 不同灌水处理对水分利用率、灌溉水利用率、产量和产量构成因素的影响

### 2.3.1 耗水量与产量的关系

研究表明(图2),在不同灌水处理下,小麦实际产量和耗水量呈单峰曲线。耗水量最大的T4处理,产量却不是最高的。产量在T5处理处达到最大值,在T5处理灌水基础上增加灌水定额,耗水量及产量都呈减小趋势,不利于节水增产。

经LSD法分析,T5、T6处理的小麦实际产量都极显著高于T1、T2、T3处理,说明耗水量过低对最终产量影响是显著的。T5与T6处理的小麦实际产量和耗水量差异都不显著( $P < 0.05$ ),小麦实际产量差幅仅为2%。但T5处理实际产量显著高于T4处理,当灌水定额从45 mm(T4处理)增加至52.5 mm(T5处理),小麦的耗水量从399 mm减小至358 mm,实际产量从5 835 kg/hm<sup>2</sup>增加至7 215 kg/hm<sup>2</sup>。灌溉量增加了16%,耗水量减少了10.26%,产量却增加了23%。一方面充分说明T5处理在现有条件下,节水增产效果最好;另一方面也说明耗水量与灌水量最多,其产量不一定最高。

### 2.3.2 耗水量与水分利用率(WUE)、灌溉水利用率、产量和产量构成因素的关系

由耗水量、水分利用率、灌溉水利用率、产量和产量构成因素相关分析表明,实际产量与产量构成因素在0.01水平上达到了高相关(实际产量与千粒质量、单穗粒数、有效穗数的相关系数分别为0.92、0.99、0.92)。在整个生育期中,孕穗期、灌浆期、完熟期的耗水量对产量构成因素影响最大。其中,灌浆期耗水量尤为重要,它与千粒质量、有效穗数在0.05水平上达到了高相关(灌浆期耗水与千粒质量、有效穗数的相关系数分别为

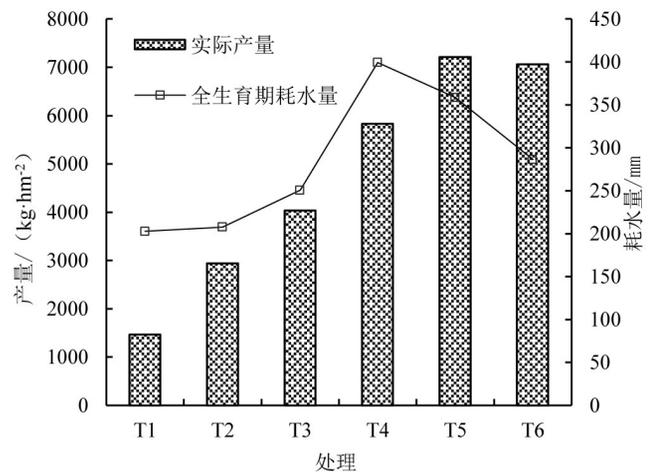


图2 不同水分处理的耗水量与产量关系

0.83、0.84), 灌浆期耗水量与单穗粒数在 0.01 水平上达到了高相关(灌浆期耗水量与单穗粒数相关系数为 0.93)。孕穗期的耗水量对单穗粒数和有效穗数较为重要, 完熟期的耗水量对千粒质量较为重要。拔节期的耗水量与千粒质量、单穗粒数、有效穗数都为弱相关(他们的相关系数都小于 0.3), 且拔节期耗水量越大, 小麦的 *WUE* 和单穗籽粒数越小, 这说明拔节期不益过多灌水, 一定的水分胁迫反而有益于水分利用效率和单穗粒数的提高。*WUE* 和灌溉利用效率都是衡量作物高效用水的重要指标<sup>[12]</sup>。如表 3, 灌溉利用率随着灌水定额的增加呈上升后下降趋势, 在 T5 处理处的灌溉利用率达到最大, 达到 12.49%。T4、T5、T6 处理的灌溉利用率差异不显著, 但他们与其他处理差异显著, 说明灌水量过低不利于有效用水。水分利用率随着灌水定额的增大呈上升趋势, 且 T5、T6 处理的水分利用率与 T1、T2、T3、T4 处理差异显著。耗水量、水分利用率、灌溉水利用率、产量和产量构成因素相关分析表明, 水分利用率与灌溉水利用率与产量与产量构成因素呈显著或者极显著相关, 说明适宜灌溉量的滴灌小麦能同步提高用水效率和产量。综上所述, T5、T6 处理的滴灌小麦是最有益于高效用水的处理。

表 3 不同处理对小麦籽粒产量及水分利用效率的影响

处理	T1	T2	T3	T4	T5	T6
实际产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	1 470	2 940	4 035	5 835	7 215	7 063.5
水分利用效率/(kg·hm <sup>-2</sup> ·mm <sup>-1</sup> )	7.25	14.16	16.11	14.61	20.12	24.67
灌溉利用效率/(kg·hm <sup>-2</sup> ·mm <sup>-1</sup> )	5.94	8.91	9.78	11.79	12.49	10.70

### 3 结论

1) 各处理间小麦日均耗水规律呈双峰曲线变化, 第一次日均耗水峰值出现在 7 月 1 日左右, 各处理小麦日均耗水量在 5.84~14.45 mm 之间变化; 第二次日均耗水峰值出现在 7 月 12 日左右, 各处理日均耗水量在 3.31~13.66 mm 之间变化。

2) 各处理小麦总耗水量呈现先增大而后减小的趋势, 且 T4 处理总耗水量达到最大。在灌水相对充足的条件下, 耗水强度从小到大依次为完熟期<拔节期<抽穗扬花期<孕穗期<乳熟期<灌浆期。

3) 经 LSD 法分析, T5、T6 处理的小麦实际产量都极显著高于 T1、T2、T3 处理, 说明耗水量过低对最终产量影响是显著的。T5 与 T6 处理的小麦实际产量和总耗水量差异都不显著 ( $P < 0.05$ ), 综合比较其灌水利用率和水分利用率等因素, T5 处理最有利于节水增产的处理。

4) 研究表明, 在整个生育期中, 孕穗期、灌浆期、完熟期的耗水量对产量构成因素影响最大。其中, 灌浆期耗水尤为重要, 它与千粒质量、单穗粒数、有效穗数都达到极显著相关。孕穗期的耗水量对单穗粒数和有效穗数较为重要, 完熟期的耗水量对千粒质量较为重要。拔节期不益过多灌水, 一定的水分胁迫反而有益于水分利用效率和单穗粒数的提高。

#### 参考文献:

- [1] 慕彩芸, 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] 廉喜旺. 阿勒泰地区地下滴灌条件下苜蓿滴灌带布设方式及高效用水研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [3] 张磊, 李福生, 王连喜, 等. 不同灌溉量对春小麦生长及产量构成的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4): 46- 49.
- [4] 江俊燕, 汪有科, 不同灌水量和灌水周期对滴灌马铃薯生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(2): 121- 125.
- [5] 薛丽华. 新疆滴灌小麦的生产应用与研究进展[A]. 中国作物学会栽培专业委员会小麦学组. 第十五次中国小麦栽培科学学术研讨会论文集[C]. 中国作物学会栽培专业委员会小麦学组. 2012: 3.
- [6] 王克全, 何新林, 王振华, 等. 不同灌水处理对滴灌春小麦生长及产量的影响研究[J]. 节水灌溉, 2010(9): 41- 42, 47.
- [7] GAN Y T, STOBBE E H. Roblin Seedling vigor and grain yield of Roblin wheat affected by seed size [J]. Agronomy Journal, 1996, 88: 456- 460.
- [8] 宋常吉, 王振华, 郑旭荣, 等. 北疆滴灌春小麦耗水特征及作物系数的确定[J]. 西北农业学报, 2013, 6(3): 58- 63.
- [9] 吴巍, 陈雨海, 李全起, 等. 垄沟耕作条件下滴灌冬小麦田间土壤水分的动态变化[J]. 土壤学报, 2006, 43(6): 1 011- 1 017.
- [10] 张永丽, 于振文. 灌水量对不同小麦品种籽粒品质、产量及土壤硝态氮含量的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5): 155- 158, 174.
- [11] 程裕伟. 北疆地区滴灌春小麦需水规律及产量形成特征研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2010.
- [12] 王德梅, 于振文. 灌溉量和灌溉时期对小麦耗水特性和产量的影响[J]. 应用生态报, 2008, 19(9): 1 965- 1 970.

(下转第 84 页)