

不同灌溉量下春小麦土壤水分变化规律

杜宏娟^{1,2}, 张磊², 李福生³, 王连喜^{2,4}, 车晶晶³, 官景得³, 郑方¹

(1. 宁夏吴忠市气象局, 宁夏 吴忠 751100; 2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002;

3. 宁夏气象科研所, 宁夏 银川 750002; 4. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

摘 要: 研究了不同灌水量处理条件下春小麦土壤水分变化规律。结果表明: 不同灌水量处理下土壤含水率在垂直方向上的变化规律一致, 随着深度的增加, 土壤含水率变异系数逐渐变小; 在春小麦整个发育期, 不同灌水量处理在拔节期耗水强度均达最大值, 为其需水高峰期; 从节水效益看, 全生育期灌水量为 428.6 mm 的处理水分利用效率和灌溉水利用效率较好, 灌溉效果最佳, 达到节水灌溉效果。

关键词: 灌溉量; 春小麦; 土壤水分

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0050-04

近年来黄河水资源短缺的问题日益严重, 断流频频出现, 宁夏引黄灌区也面临着严峻的缺水危机。春小麦是宁夏灌区的主要粮食作物, 春小麦整个生育期都处在干旱少雨季节, 全生育期的平均降水量为 130 mm, 远远满足不了春小麦对水分的需求; 水资源不足是影响宁夏灌区农业发展的关键因素, 合理、有效地利用黄河水资源是宁夏灌区农业增产、增收的关键措施。但引黄灌溉中存在许多问题, 例如, 在春小麦整个生育期一般要灌 4 次水, 然而在黄河上游以及地势低的田块, 灌水较方便, 大水漫灌, 灌水量无节制, 有的地方全生育期甚至灌水次数达 5~6 次, 水资源浪费严重; 而黄河下游及地势高的田块, 小麦整个生育期连三次灌水都无法达到, 生产潜力得不到有效发挥。所以合理、有效的灌水是必不可少的水资源措施。关于作物水分及农田耗水规律已进行了较多研究^[1-5], 但这些研究大多集中在冬小麦耗水规律^[6-18], 对春小麦的需水规律研究不多。本试验结合土壤、作物两个方面, 分析宁夏灌区春小麦在不同灌溉条件下的耗水规律。了解不同灌溉量条件下春小麦耗水规律, 为制定合理的灌溉制度及灌溉量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在宁夏永宁国家一级农业气象试验站, 该站设在宁夏永宁县王太堡村, 位于北纬 38°

15′、东经 106°14′, 海拔高度 1 116.7 m; 该地日照充足、干旱少雨, 年降水量 200 mm 左右, 降水集中在夏秋两季, 雨热同季; 试验田地处于平原, 地势平坦, 土壤质地为微碱性壤土, 肥力中等, 灌溉条件良好, 引黄河水自流灌溉; 前茬种植作物春小麦, 常年地下水位在 5 m 左右。品种选用宁春 4 号(本地主栽品种); 单种春小麦, 行距 12 cm, 播量 337.5 kg/hm², 采用播种机播种。

1.2 试验设计

试验设 4 个灌水量处理: T1 处理, 全生育期灌水量 300 mm, 每次灌水量 75 mm; T2 处理, 全生育期灌水量 360 mm, 每次灌水量 90 mm; T3 处理, 全生育期灌水量 420 mm, 每次灌水量 105 mm; 对照(CK)为当地大田常规灌水量, 全生育期灌水量 460 mm, 每次灌水量 115 mm。每个处理设 3 次重复, 共 12 个小区, 小区面积 96 m²(长 12 m, 宽 8 m), 随机区组排列。试验地四周留 1 m 保护行, 在第 1 次灌水之前每个小区间埋压 80 cm 深塑料膜, 防止侧渗。用量水堰控制灌水量, 根据不同灌水量计算控制时间, 由于大田试验中较难精确控制灌水量, 实际灌水量 T1 为 306 mm, T2 为 367.1 mm, T3 为 428.6 mm, CK 为 449.4 mm, 与试验设计的灌水量较接近(表 1)。

试验采用大田测试法, 土钻法分层分期测定作物全生育期 0~100 cm 内土壤含水率, 在作物生育期转换时、灌水前后、降大雨后、播种前、收获后观测。

收稿日期: 2009-10-20

基金项目: 中国气象局重点支持省所科研项目(CMATC2007S06)

作者简介: 杜宏娟(1979—), 女, 宁夏隆德人, 助工, 学士, 主要从事农业气象研究。E-mail: meili257@163.com。

表 1 不同处理灌水量
Table 1 Different treatments irrigation

处理 Treatments	阶段灌 溉 量 (mm) Irrigation rate in different stage				灌溉总量 (mm) Total irrigation
	4 月 28 日 April 28	5 月 8 日 May 8	5 月 25 日 May 25	6 月 29 日 June 29	
T1	76.0	75.9	76.1	78.0	306.0
T2	91.2	92.2	92.7	91.0	367.1
T3	107.0	107.2	108.4	106.1	428.6
CK	116.7	116.9	108.1	107.7	449.4

1.3 试验区土壤物理特性

试验区不同深度土壤田间持水量、容重见表 2。

表 2 土壤物理特性
Table 2 Soil physical properties

深度 (cm) Depth	田间持水量 (%) FMC	容重 (g/cm³) Bulk density
0 ~ 10	26.2	1.27
10 ~ 20	23.3	1.32
20 ~ 30	21.6	1.45
30 ~ 40	22.2	1.39
40 ~ 50	22.7	1.43
50 ~ 60	22.5	1.42
60 ~ 70	22.4	1.44
70 ~ 80	23.2	1.45
80 ~ 90	22.6	1.44
90 ~ 100	21.8	1.47
平均 Mean	22.9	1.41

1.4 计算方法^[9-11]

(1) 春小麦耗水量的计算

本研究采用水量平衡法来计算耗水量。试验区地下水位常年平均值在 5 m 左右,因此地下水在作物生长过程中所起作用不大,试验小区隔离,无地表径流,作物生长所需水分主要由农田灌溉和降水来供

应,进入根层的毛管上升水量和土层下边界渗漏量也可忽略不计。所以,春小麦田间耗水量可以简化为:

$$ET = P + I + \triangle W$$

式中,ET 为作物耗水量(mm);P 为生育期内降水量(mm);I 为生育期内的灌溉量(mm);△W 为土壤水分消耗量(初期土壤含水量与末期土壤含水量的差,mm)。

(2) 水分利用效率和灌溉水利用效率采用产量水平上的计算公式为:

$$WUE = Y/ET \quad WUE_i = Y/I$$

式中,WUE 为水分利用效率(kg/m³),WUE_i 为灌溉水利用效率(kg/m³);Y 为作物的经济产量(kg/hm²);ET 为作物耗水量(mm);I 为灌水量(mm)。

(3) 数据分析试验数据采用 SPSS 13.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同灌水量处理下土壤含水率在垂直方向上的变化

由表 3 分析可知,不同灌水量处理下作物全生育期内各土层平均土壤含水率在垂直方向上的变化规律一致,0~10 cm 变异系数较大;20~40 cm 变异系数减小,在此段土层变异系数值较接近,且值变化较平稳;随着深度的增加,变异系数逐渐变小,说明随着深度的增加,平均土壤含水率变化值逐渐变小,且越到深层变化较平稳。对全生育期内 0~100 cm 平均土壤含水率做聚类分析,聚类效果较好,结合表 3 可以清楚看到聚类结果:0~10 cm 为土壤水分体积含水量变化率最大层;20~40 cm 为土壤水分体积含水量变化率次之层;50~100 cm 为土壤水分体积含水量变化率平稳层次。

表 3 不同灌水处理下全生育期 0~100 cm 平均土壤含水率在垂直方向上的变异

Table 3 Whole growth period under different irrigation treatments an average of 0~100 cm soil moisture variations in the vertical direction

深度 Depth (cm)	T1			T2			T3			CK			聚类 分析 等级 Rank
	均值 Mean (%)	标准差 SD	变异系数 Coefficient of variation	均值 Mean (%)	标准差 SD	变异系数 Coefficient of variation	均值 Mean (%)	标准差 SD	变异系数 Coefficient of variation	均值 Mean (%)	标准差 SD	变异系数 Coefficient of variation	
10	22.69	4.76	21.00	23.26	5.18	22.28	24.06	4.82	20.02	23.50	4.85	20.65	1
20	25.35	4.35	17.18	26.47	4.80	18.14	27.13	4.45	16.41	26.78	4.68	17.49	2
30	25.35	4.35	17.18	26.47	4.80	18.14	27.13	4.45	16.41	26.78	4.68	17.49	2
40	24.81	4.11	16.57	24.99	4.01	16.04	25.77	3.89	15.11	25.22	4.07	16.13	2
50	24.52	2.58	10.51	24.92	2.56	10.27	26.20	2.38	9.10	25.07	2.73	10.90	3
60	25.34	2.63	10.37	25.46	2.04	7.99	26.05	1.98	7.61	25.62	2.06	8.04	3
70	26.13	2.61	9.99	26.20	1.89	7.20	26.54	2.40	9.04	26.64	2.55	9.56	3
80	25.59	2.39	9.34	26.86	1.72	6.42	27.22	2.23	8.17	28.17	2.32	8.22	3
90	25.52	1.95	7.64	26.49	1.39	5.26	26.79	2.05	7.63	26.87	2.09	7.77	3
100	25.83	2.04	7.89	26.70	1.48	5.53	26.93	2.17	8.04	26.71	2.18	8.18	3

2.2 不同灌溉量对春小麦不同生育期耗水强度的影响

由图 1 可看出,春小麦生育期内耗水强度与供水量(灌溉、降雨)关系密切:在前期播种至分蘖,由于温度低、叶面系数小,此阶段各个处理灌水量为 0 mm,所以在同一生长环境下耗水强度基本相似,耗水强度较小;后期由于供水量不同,不同处理耗水强度变化较大;随着温度的升高,植株生长加快,叶面系数增大,耗水量增加,小麦耗水主要集中在其生长发育中后期。从图 1 可以看出在拔节期不同灌水处

理下春小麦耗水强度均达最大值,为其需水高峰期;拔节至抽穗至乳熟期,耗水强度降低,耗水强度随灌水量增加而增大,但耗水强度 CK 处理小于 T3 处理;乳熟至成熟期,耗水强度又增大,并且耗水强度 $T1 > CK > T2 > T3$ 。由试验结果可知,拔节期为小麦需水高峰期,由于在整个生育期,缺水时期往往比缺水数量对产量和水分利用效率影响更大^[8],因此,在宁夏灌区,根据作物生长发育需水规律,合理分配灌水时间及灌水量,充分利用水资源,可提高灌溉水的利用效率。

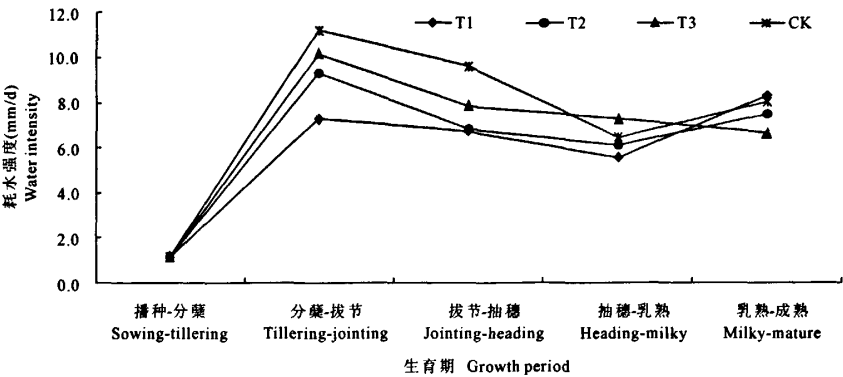


图 1 不同灌溉对作物不同生育期耗水强度的影响

Fig.1 Effects of different irrigation water on water consumption intensity of crop in different growth period

2.3 灌溉及降雨对春小麦耗水来源的影响

本试验区地下水位深在 5 m 左右,对土壤水补充很小,可忽略。由表 4 可以看出土壤底墒供水量随灌溉及降雨增加而减少,春小麦耗水逐渐以灌溉水和降雨为主。T1、T2、T3、CK 处理土壤供水占到总耗水量 14.2%、7.6%、4.8% 和 6.7% 左右,并且全生育期处理 T2、T3、CK 与 T1 相比灌水量分别增加 60 mm、120 mm、140 mm,土壤底墒供水分别降低

54%、33%、47%,说明灌水量增加,土壤底墒水供水量减少,且随着灌水量增加土壤水分消耗量减小,但 CK 处理土壤水分消耗量大于 T3 处理。因此在宁夏引黄灌区水资源缺乏特别是降雨量少、灌溉困难的地区,应该考虑合理的灌水量,使春小麦充分利用土壤中储存的水分,提高土壤水分利用效率,从而更高效地利用土壤水资源和灌溉水资源。

表 4 不同灌水处理土壤供水占总耗水量的比例

Table 4 Different irrigation on soil water ratio of the total water consumption

处理 Treatments	总耗水量 Total water consumption (mm)	灌水量 Total irrigation (mm)	降雨量 Precipitation (mm)	土壤水分消耗 Soil water consumption (mm)	占总耗水量的比例(%) Rate in total water consumption		
					灌溉 Irrigation	降水 Precipitation	土壤供水 Soil water supply
T1	533.2	306.0	151.3	75.9	57.4	28.4	14.2
T2	560.9	367.1	151.3	42.5	65.4	27.0	7.6
T3	609.1	428.6	151.3	29.2	70.4	24.8	4.8
CK	643.6	449.4	151.3	42.9	69.8	23.5	6.7

2.4 不同灌水量下春小麦产量与水分利用效率的比较

由表 5 可知不同灌水量下春小麦的产量与耗水

量间存在密切的关系,建立二元回归方程为: $Y = -67.712ET^2 + 511.48ET + 1625.1$ 。其中, Y 为产量 (kg/hm^2), ET 为耗水量 (mm), 相关系数为 R 为

0.9839。不同灌溉量下水分利用效率和灌溉水利用效率不同,随着灌水量增加,水分利用效率变化趋势是先增加后减小,并且处理 T2(全生育期灌水量为 367.1 mm)水分利用效率最大,处理 T3(全生育期灌水量为 428.6 mm)水分利用效率次之;灌溉水利用效率变化趋势呈减小的趋势,且处理 T3(全生育期灌水量为 428.6 mm)与对照 CK(全生育期灌水量为 449.4 mm)灌溉水利用效率相同。

表 5 不同灌溉量下春小麦产量与水分利用效率比较

Table 5 Comparison of yield and water use efficiency of spring-wheat under different irrigation levels

处理 Treatments	总耗水量 Total water consumption (mm)	总灌水量 Total irrigation (mm)	籽粒产量 Grain yield (kg/hm ²)	水分 利用效率 Water use efficiency (kg/mm)	灌溉水 利用效率 Irrigation water use efficiency (kg/mm)
T1	533.2	306.0	2052.2	3.8	6.7
T2	560.9	367.1	2427.2	4.3	6.6
T3	609.1	428.6	2500.1	4.1	5.8
CK	643.6	449.4	2604.3	4.0	5.8

3 结果与讨论

1) 宁夏灌区春小麦在不同灌水处理条件下土壤含水率在垂直方向上的变化规律一致,随着深度的增加,土壤含水率变异系数逐渐变小;0~10 cm 土壤体积含水量变化率最大;10~40 cm 次之;40~100 cm 平稳。

2) 在春小麦整个生育期,拔节-抽穗期春小麦耗水强度达最大值,为其需水高峰期,此时叶面积系数最大,为水分敏感期,应注意水分供应;抽穗-乳熟期,耗水强度降低,但灌水量越大,耗水强度越大。

3) 土壤底墒供水量随灌溉及降雨量增加而减少,春小麦耗水逐渐以灌溉水和降雨为主。本试验不同灌水处理(T1、T2、T3、CK)土壤供水占到总耗水量 14.2%、7.6%、4.8% 和 6.7% 左右,并且全生育期处理 T2、T3、CK 与 T1 相比灌水量分别增加 60 mm、120 mm、140 mm,土壤底墒供水分别降低 54%、33%、47%。由以上结论可知,在宁夏引黄灌区水资源缺乏特别是降雨量少,灌溉困难的地区,应该考虑合理的灌水量,使春小麦充分利用土壤中储存的水分,提高土壤水分利用效率,从而更合理、高效地利

用土壤水资源和灌溉水资源,达到节水、高效、优质、高产的效果。

4) 从灌水量、水分利用效率和灌溉水利用效率综合效果出发,4 种灌水处理水平下,以 T3(全生育期灌水量为 428.6 mm)灌溉水平最佳,达到节水灌溉效果。

参 考 文 献:

[1] 张旭东,柯晓新,杨兴国,等.甘肃河小冬麦需水规律及其分布特征[J].干旱地区农业研究,1999,17(1):39—44.

[2] 张旭东,杨兴国,杨启国,等.半干旱区旱作春小麦耗水规律研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(2):63—66.

[3] 李健民,王 璞.灌溉制度对冬小麦耗水及产量的影响[J].生态农业研究,1999,7(4):23—26.

[4] 孙宏勇,刘昌明,张永强,等.不同时期干旱对冬小麦产量效应和耗水特性研究[J].灌溉排水学报,2004,22(2):13—16.

[5] 房全孝,陈雨海.节水灌溉条件下冬小麦耗水规律及其生态基础研究[J].华北农学报,2003,18(3):19—22.

[6] 裴 冬,张喜英,陈素英,等.局部灌水方式对冬小麦产量与水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):60—64.

[7] 于沪宁.作物与水分关系研究[M].北京:中国科学技术出版社,1992:9—18.

[8] 吕凤荣,季书勤,赵淑章.灌水次数和时期对小麦产量影响[J].河南农业科学,2000,(10):5—6.

[9] 信乃谕.计算农田蒸发的水量平衡法[J].干旱地区农业研究,1986,4(2):37—43.

[10] 陶毓汾,王立祥,韩仕峰,等.中国北方旱农地区水分生产潜力及开发[M].北京:气象出版社,1993.

[11] 郑 捷,李光永,韩振中.中美主要农作物灌溉水分生产率分析[J].农业工程学报,2008,24(11):46—50.

[12] 李远华,赵金河,张思菊,等.水分生产率计算方法及其应用[J].中国水利,2001,(8):65—66.

[13] 王育红,姚宇卿,吕军杰,等.调亏灌溉对冬小麦光合特性及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):59—62.

[14] 王俊儒,李生秀.不同生育时期水分有限亏缺对冬小麦产量及其构成因素的影响[J].西北植物学报,2000,20(2):193—200.

[15] 林同保,孟战威,曲奕威,等.不同土壤水分条件下夏玉米蒸发蒸腾特征研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(5):22—26.

[16] 马元喜.小麦超高产应变栽培技术[M].北京:中国科学技术出版社,1992:112—143.

[17] 何文涛.宁夏不同农业生态区土壤养分时空变化特征[J].干旱地区农业研究,2004,22(2):25—30,53.

[18] 林 琪,石 岩,位东斌.干旱地区农业土壤水与冬小麦产量形成的关系及节水灌溉方案[J].华北农学报,1998,13(3):1—4.

Effect of regulated deficit irrigation and fertilization on dry matter accumulation and related physiological properties of maize

WEI Cai-hui, LI Fu-sheng, XU Chun-hui, NONG Meng-ling, YU Jiang-min, LUO Hui

(College of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530005, China)

Abstract: A pot experiment was carried out to study the effect of four water deficit levels during the jointing and tasseling stages of maize crop, i.e. serious water deficit(SD 40% ~ 50% θ_f , θ_f is field water capacity), medium water deficit(MD, 50% ~ 60% θ_f), mild water deficit(LD, 60% ~ 70% θ_f) and normal irrigation(CK, 70% ~ 80% θ_f) on dry matter accumulation, water use and related physiological properties of maize under two fertilization levels. Fertilization was beneficial for dry matter accumulation of maize, LD treatment did not decrease or slightly increased total dry matter of maize, but SD treatment decreased total dry matter significantly at the jointing and tasseling stages, and any water deficit and fertilization level had no significant effect on canopy water use efficiency. Compared to CK, LD treatment had insignificant effect on leaf chlorophyll(Chl), soluble sugar(SS), proline(Pro) and malondialdehyde(MDA) contents, and superoxide dismutase(SOD), peroxidase(POD) and catalase(CAT) activities during the two growth stages. However, SD treatment declined the Chl content and SOD, POD and CAT activities greatly, but increased SS, Pro and MDA contents significantly. Rewatering can recover the physiological and biochemical indices to the levels of CK after suffering the LD treatment and the levels of CK to some extent after suffering the MD treatment, but it cannot recover them to the levels of CK after suffering the SD treatment. Thus mild water deficit during the jointing and tasseling stages is suitable for the regulated deficit irrigation of maize crop in this experiment.

Keywords: maize; water deficit; fertilization level; rewatering; water use; dry matter accumulation; physiological properties

(上接第 53 页)

Soil moisture change of spring wheat field under different irrigation quantity

DU Hong-juan^{1,2}, ZHANG Lei², LI Fu-sheng³, WANG Lian-xi^{2,4}, CHE Jing-jing³, GUAN Jing-de³, ZHENG Fang¹

(1. Wuzhong Meteorological Office, Wuzhong, Ningxia 751100, China;

2. Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction of Ningxia, Yinchuan, Ningxia 750002, China;

3. Ningxia Institute of Meteorological Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China;

4. Nanjing Information Engineering University, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract: The main purpose of this article is to show the variation of soil moisture of spring wheat field under the condition of different irrigation treatments. The experimental results show that: the probability of the variation of soil moisture on vertical direction under different irrigation treatments is the same, and the coefficients of variation of the probability of soil moisture become smaller and smaller as the depth increases; At the period of jointing which is in the highest need of water, all of the intensity of water consumption under different irrigation treatments achieve to the maximum during the whole period of spring wheat growth; From water-saving irrigation treatment T3 can obtain the best effect under different irrigation levels, because of the better using water and irrigation water and the best irrigation level. So that it can achieve the effect of water-saving irrigation.

Keywords: irrigation quantity; spring wheat; soil moisture