

Water Needs Analysis of Deficit Irrigation for Winter-Wheat under Different Moisture Treatments

Jianqin Ma, Ming Li

North China University of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou
Email: majianqin@ncwu.edu.cn

Received: Apr. 11th, 2012; revised: Apr. 26th, 2012; accepted: May 7th, 2012

Abstract: Aimed at the problem of water needs in crop's real-time irrigation, the experiment scheme is designed in the paper, the soil moisture is monitored via the technical soil-water environment monitoring system-EnviroScan, the weather data is measured by the automatic weather station (AWS). Based on those real-time measured data, the different irrigation simulation under different experiment deal is studied for deficit irrigation, the water needs of the whole growth stage, the trend of daily water needs, water needs coefficients of each growth period are all analyzed in the paper, which could provide theoretical basis and decision support for reasonable real-time irrigation for winter-wheat. The results showed that the irrigation simulations and the real water needs rule for the three experimental water deals were according with the real weather and the growth of winter wheat.

Keywords: Deficit Irrigation; Real-Time; Water Needs; Winter-Wheat; Water Needs Rule

冬小麦非充分灌溉不同水分处理下需水量分析

马建琴, 李明

华北水利水电学院, 郑州
Email: majianqin@ncwu.edu.cn

收稿日期: 2012年4月11日; 修回日期: 2012年4月26日; 录用日期: 2012年5月7日

摘要: 针对灌溉中作物实时需水量分析研究中存在的问题, 本文进行了实验方案设计, 利用土壤水环境测定系统 EnviroScan 进行了土壤水分测定, 自动气象站 AWS 对气象条件进行观测, 利用监测的实时数据资料, 研究了非充分灌溉条件下冬小麦不同水分处理时的灌水情况, 对生育期总需水量、生育期逐日需水量变化趋势和各生育阶段的需水量及需水模系数进行了分析, 实验的三组处理灌水情况与需水量情况都与试验区气候和冬小麦自身生长规律相符合, 可为冬小麦的节水高产和制定经济合理的实时灌溉制度提供理论依据。

关键词: 非充分灌溉; 实时; 需水量; 冬小麦; 需水规律

1. 引言

随着经济和社会的发展, 水资源短缺已经成为国民经济和社会发展的一个重要制约因素^[1]。随着人口

剧增和工业的发展, 能用于农业灌溉的可利用水量将不会有显著增加^[2]。如何利用有限的水资源, 减少农业生产中的需水量已成为一个国际性的研究问题。

作物需水量是农业用水最主要的消需部分, 是灌排工程规划、设计、管理和农田灌排措施的基本依据^[3]。非充分灌溉试验研究表明, 在一定条件下, 适当

作者简介: 马建琴(1973-), 女, 河南郑州人, 工学博士, 教授, 硕士生导师, 从事农业水资源开发利用研究。

减少作物蒸发蒸腾量不会导致显著的减产。由于作物在长期的进化过程中, 产生了对水分暂时亏缺的适应性, 因此不会导致显著减产, 反而使水分利用效率更高^[4]。因此, 准确地估算作物需水量, 掌握作物生育期需水量规律显得尤为重要, 特别是干旱半干旱地区, 对于减小作物生育期的水分消耗, 提高水分利用率, 发展节水农业有着十分重要的意义。

本文以冬小麦作为试验对象, 研究了非充分灌溉条件下不同水分处理时冬小麦生育期的总需水量、不同生育阶段的需水量及生育期的日需水规律, 了解冬小麦不同生长时期对水分的需求程度, 为冬小麦的节水高产、实时灌溉制度的制定以及节水农业的发展提供基础数据与决策依据。

2. 研究区域情况

实验于 2010 年 10 月~2011 年 6 月在华北水利水电学院龙子湖校区农业节水高效实验场(34°81'N~113°27'E)进行。实验区所处郑州市属暖温带大陆性气候, 年平均气温 14.4℃, 年平均降雨量 640.9 mm, 无霜期 220 天, 全年日照时间约 2400 h^[5], 适宜冬小麦种植。

试验设计为小区试验, 小区总面积为 990 m², 每个小区面积为 165 m², 小区土壤质地为沙壤土, 土壤孔隙率为 40%, 田间持水率为 65%(以占空隙体积的百分比计)。冬小麦种植日期为 2010 年 10 月 10 日, 收获日期为 2011 年 6 月 3 日。采用澳大利亚产的土壤水环境监测设备 EnviroScan 实时测定冬小麦根区的土壤含水率。

3. 试验方案与处理

为更好地开展非充分灌溉条件下冬小麦不同水分处理时的需水量研究, 结合实验设计, 在冬小麦生育期间共设置 A、B、C 三种处理, 每种处理设置两个重复, 实验设计见表 1。在冬小麦全生育期中, 各处理除土壤水分上、下限控制不同外, 所有处理的施肥水平和田间栽培管理措施完全一致。

采用参考作物蒸发蒸腾量法计算作物需水量, 第 α 日作物需水量 $ET_i(\text{mm})$ 为:

$$ET_i = K_{ci} \cdot K_{wi} \cdot ET_{0i} \quad (1)$$

式中: ET_{0i} 为第 i 日参考作物需水量(mm), 采用修正

Table 1. Field experiments design for winter wheat
表 1. 冬小麦田间试验处理设计

水分控制区间 \ 处理	A	B	C
下限	40% θ_{\max}	50% θ_{\max}	60% θ_{\max}
上限	80% θ_{\max}	90% θ_{\max}	90% θ_{\max}

的彭曼公式进行计算: K_{ci} 为第 i 日作物系数, 结合实验区气候和实验要求, 采用随作物生育期累计天数逐日变化的计算方法^[6]。

$$K_{ci} = 7.346(i/I)^2 - 1.606(i/I) + 0.0972 \quad (\text{当 } i/I \leq 0.58 \text{ 时}) \quad (2)$$

$$K_{ci} = -3.463 \ln(i/I) - 0.1909 \quad (\text{当 } i/I \geq 0.58 \text{ 时}) \quad (3)$$

式中: i 为生育期累计天数(d), I 为生育期总天数(d); K_{wi} 为非充分灌溉时第 i 日土壤水分修正系数^[7],

$$K_{wi} = \ln \left(1 + 100 \frac{\theta_i}{\theta_{\max}} \right) / \ln 101 \quad (\text{当 } \theta_{c2} \leq \theta_i \leq \theta_{c1} \text{ 时}) \quad (4)$$

$$K_{wi} = \alpha \cdot \exp[(\theta_i - \theta_{c2})] / \theta_{c2} \quad (\text{当 } \theta_i < \theta_{c2} \text{ 时}) \quad (5)$$

式中: θ_i 为第 i 日土壤含水率, 以占土壤体积百分比计; θ_{\max} 为田间持水率; θ_{c1} 、 θ_{c2} 分别为非充分灌溉适宜土壤水分上限、下限指标, 均以占田间持水率 θ_{\max} 的百分数表示; α 为经验系数, 旱作物可取 0.89。

4. 测定项目和方法

1) 土壤水分测定。研究过程中使用从澳大利亚引进的土壤水环境监测系统 EnviroScan 监测冬小麦根区的土壤含水率。按照本次冬小麦实验处理方案, 整个实验田共设 6 个实验小区, 在各小区内按预设位置埋设 2 个 EnviroScan 探测器, 每个探测器在 0~2 m 土层内共设 16 个传感器, 考虑到冬小麦的根系生长特点, 传感器的埋深分别为 10 cm、20 cm、30 cm、40 cm、50 cm、60 cm、70 cm、80 cm、90 cm、100 cm、110 cm、120 cm、140 cm、160 cm、180 cm、200 cm。探测器通过电缆与数据采集器相连, 设定每天分别对 8 时、14 时和 20 时 3 个时间监测点的土壤水分进行测定。

2) 气象条件观测。在田间设置小型自动气象站(AWS), 测量每天的天气信息, 包括风速、风向、太阳能辐射、土壤湿度、土壤温度、雨量、空气湿度、

空气温度、大气压等, 用于计算当天的参考作物蒸发蒸腾量。

5. 结果与分析

5.1. 冬小麦不同试验处理灌水情况

在实验期, 冬小麦播种后降水较少, 至返青 - 拔节期有降水, 降水多集中在 4、5 月份, 整个生育期降水总量为 89.9 mm。以试验区 2010~2011 年气象资料为基础, 利用非充分实时在线灌溉制度模型^[8]对冬小麦生长进行实时在线灌溉模拟, 各方案灌水情况模拟结果见表 2。

从表 2 可以看出, 三个实验方案的灌水都集中分布在分蘖 - 越冬期、返青 - 拔节期、拔节 - 抽穗期和抽穗 - 成熟期这几个生育阶段, 播种 - 分蘖期灌水较少, 越冬 - 返青期则无灌水。对于 A 方案, 由于灌水下限设定较低, 灌水次数较少, 整个生育期共灌水 4 次; B 方案灌水上、下限设定虽与 A 方案不同, 但灌水情况与 A 方案相似, 整个生育期灌水次数为 4 次, 灌水总量为 2950.35 m³/hm², 比 A 方案仅多 62.85 m³/hm², 在分蘖 - 越冬期灌水时间比 A 方案提早 14 天, 抽穗 - 成熟期灌水时间比 A 方案晚 8 天, 其他灌水日期相差不远; 对 C 方案, 由于冬小麦播种后降水较少, 当土壤水分下限控制在田间持水量的 60%时,

在播种 - 分蘖期灌水一次, 灌水量为 286.95 m³/hm², 整个生育期灌水次数为 6 次, 其中拔节 - 抽穗期灌水 2 次, 生育期总灌水量为 3151.5 m³/hm², 灌水较多。

从灌水时间上看, 不同处理方案规定的不同灌水下限值使各方案的灌水时间不同, 但可以看出, 冬小麦在分蘖 - 越冬期均有灌水, 拔节 - 抽穗和抽穗 - 成熟期灌水较多, 播种 - 分蘖期灌水较少, 与冬小麦生长规律和生育期内降雨情况相符合。

从灌水量上看, 冬小麦在拔节 - 抽穗和抽穗 - 成熟期灌水较多, 播种 - 分蘖和越冬 - 返青期灌水较少, 由于各试验方案制定的土壤水分湿度范围不同, 各方案灌水定额不同, 但灌水总量符合试验区的灌溉定额标准。

5.2. 冬小麦不同水分处理日需水量分析

对三种不同的水分处理, 由田间气象观测数据、土壤水分逐日递推模型模拟与实时监测土壤水分数据, 可得到冬小麦全生育期日需水量变化情况, 见图 1。

由图可以看出, 对于不同的处理方案, 尽管供水不同, 但是需水过程在整个生育期的变化规律基本一致, 全生育期内日需水量变化过程大体呈双峰曲线。播种后, 随着冬小麦的出苗及群体的不断长大, 日需

Table 2. Winter wheat Irrigation simulation for different experiment deal
表 2. 冬小麦不同实验方案灌水情况

生育阶段		播 - 分	分 - 越	越 - 返	返 - 拔	拔 - 抽	抽 - 成
方案 A	灌水日期(月/日)		11/25		3/8	4/9	5/4
	灌水量(m ³ /hm ²)		418.8		690	832.65	945.75
	灌水次数	4 次					
	总灌水量(m ³ /hm ²)	2887.5					
方案 B	灌水日期(月/日)		11/11		3/8	4/11	5/12
	灌水量(m ³ /hm ²)		419.85		694.8	877.95	957.75
	灌水次数	4 次					
	总灌水量(m ³ /hm ²)	2950.35					
方案 C	灌水日期(月/日)	10/26	12/5		3/8	4/4	4/22
	灌水量(m ³ /hm ²)	286.95	330.45		530.4	614.7	685.65
	灌水次数	6 次					
	总灌水量(m ³ /hm ²)	3151.5					

水量也开始逐渐增加至出现第一峰值。然后随着气温的不断降低, 冬小麦的生长速度开始减缓, 日需水量也逐步降低, 冬小麦进入越冬生长期, 在越冬期, 冬小麦的日需水量持续较低。越冬过后, 随着气温的回升, 冬小麦开始返青, 作物群体也不断加大, 这时冬小麦的日需水量开始迅速增加, 并逐渐达到整个生育期的最大值, 由图1及生育期划分可看出, 此时大约处于5月上、中旬, 冬小麦处于抽穗期, 这一时期的日需水量峰值要明显大于越冬前的峰值。在随后的一段时间里, 随着冬小麦的逐渐成熟, 可用于蒸腾的叶面积逐渐减少, 日需水量也有所下降。

由图1还可看到, 不同水分处理的冬小麦, 虽需水规律总体趋势比较一致, 但各处理的日需水量仍有差别。从图中三组曲线的趋势看来, A处理与B处理在整个生育期日需水量上差值不大, C处理与A、B

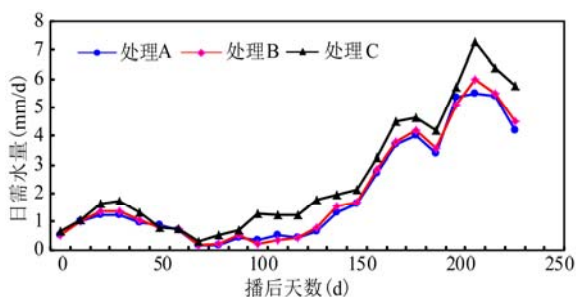


Figure 1. Water requirement changing process of winter wheat
图1. 冬小麦日需水量变化过程

处理在整个生育期日作物需水量上差值稍大。其中C处理与A、B处理在日需水量上差值的大小在生育后期要明显大于生育前期, 在播种-分蘖和分蘖-越冬两个生长阶段内, 由于A、B、C三种处理的播前水分状况相同, 且小麦较小, 生长较慢, 日需水量不仅变化趋势一致, 且差值不大。进入春季后, 随着气温的升高和作物群体的扩大, 冬小麦日需水量迅速加大, C处理峰值可达7.3 i, 而A处理峰值只有5.2 mm, 相差2.1 mm, 差值变的明显。

大体来说, 不同的处理方案需水过程在整个生育期内变化规律一致, 土壤水分下限控制越低的作物日需水量越小。

5.3. 冬小麦不同生育阶段需水量分析

对冬小麦每日的作物需水量分生育阶段分别进行累加, 得到冬小麦不同生育阶段的需水量, 则各生育阶段需水量占整个生育期总需水量的比值就成为该生育阶段的需水模系数, 对各生育阶段的需水参数进行计算与统计, 得到冬小麦实验的A、B、C三种处理不同生育阶段的需水规律, 见表3。

从表3可以看出, 不同水分处理的冬小麦各生育阶段需水量与生育期总需水量都有一定的差值, 各生育期的需水模系数变化比较一致。需水模系数以抽穗-成熟期最大, 在43%左右; 其次为拔节-抽穗期,

Table 3. Water requirement rules of winter wheat for different water treatments
表3. 不同水分处理冬小麦生育期需水规律

处理	项目	播-分	分-越	越-返	返-拔	拔-抽	抽-成	全生育期
		10.10~11.10	11.11~12.30	12.31~02.18	02.19~03.20	03.21~04.25	04.26~06.03	
A 处理	阶段需水(mm)	29.09	39.57	18.52	36.46	124.38	196.26	444.28
	日平均需水(mm)	0.94	0.79	0.37	1.22	3.55	5.03	1.89
	模系数(%)	6.5	8.9	4.2	8.2	27.9	44.2	100
B 处理	阶段需水(mm)	30.49	41.55	16.35	40.51	129.21	202.33	460.44
	日平均需水(mm)	0.98	0.83	0.33	1.35	3.69	5.19	1.96
	模系数(%)	6.6	9.0	3.6	8.8	28.1	43.9	100
C 处理	阶段需水(mm)	35.11	48.96	48.50	58.96	148.29	238.51	578.33
	日平均需水(mm)	1.13	0.98	0.97	1.97	4.24	6.12	2.46
	模系数(%)	6.1	8.5	8.4	10.2	25.6	41.2	100

在 27%左右; 在越冬期需水模系数最小, 在 4%左右。可见, 对不同的处理, 冬小麦各生育阶段的需水比率相对比较稳定, 在整个生育期内的变化规律相同, 不随需水量水平的不同而明显变化, 符合冬小麦不同生育阶段需水量的固有规律。

6. 结论

本文以 2010~2011 年气象资料为基础, 用水量平衡逐日递推模型对试验中冬小麦非充分灌溉的三组不同水分处理的灌水情况进行了模拟分析, 结果表明不同的处理方案中冬小麦都是在分蘖期和拔节期左右灌水较多, 而越冬期则灌水较少, 符合试验区气候和冬小麦的生长规律, 灌水总量也符合试验区的灌溉定额标准。并对冬小麦不同水分处理的需水量进行了分析, 表明冬小麦不同水分处理的日需水量变化趋势大体一致, 呈双峰曲线型, 在越冬期冬小麦日需水量最低, 而在抽穗期日需水量最高; 并且不同水分处理在整个生育期日作物需水量上差值稍大, 土壤水分下限控制较低的日需水量较少。把冬小麦每日的作物需水量按生育期划分进行累加, 对冬小麦不同生育阶段的需水量及需水系数进行了分析, 结果表明, 不同水分处理的冬小麦各生育阶段需水量与生育期总需水量都有很大差值, 但各生育期的需水模系数变化比较一致。在抽穗 - 成熟期需水模系数最大, 在 43%左右, 其次为拔节 - 抽穗期, 在 27%左右; 在越冬期左右需水模系数最小, 在 4%左右, 符合冬小麦不同生育阶段需水量的固有规律。对于非充分灌溉的三组处理灌水情况与需水量情况都与试验区气候和冬小麦自身生长规律相符合, 为以后冬小麦非充分灌溉中适宜的

灌水量与适宜的土壤水分上、下限指标的制定提供参考依据。

参考文献 (References)

- [1] 王仰仁, 孙小平. 山西农业节水理论与作物高效用水模式[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
WANG Yangren, SUN Xiaoping. Agricultural water saving theory and efficient water using model for crops in Shanxi. Beijing: China Science and Technology Press, 2003. (in Chinese)
- [2] 杜尧东, 宋丽莉, 刘作新. 农业高效用水理论研究综述[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 808-812.
DU Yaodong, SONG Lili and LIU Zuoxin. An overview on theoretic research of high efficient water use in agriculture. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(5): 808-812. (in Chinese)
- [3] 郭元裕. 农田水利学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 24-25.
GUO Yuanyu. Irrigation and drainage engineering. Beijing: China Water Power Press, 2009: 24-25. (in Chinese)
- [4] 吕金印, 山仑, 高俊凤. 非充分灌溉及其生理基础[J]. 西北植物学报, 2002, 22(6): 1512-1517.
LU Jinyin, SHAN Lun and GAO Junfeng. Unsufficient irrigation and its physiological bases. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2002, 22(6): 1512-1517. (in Chinese)
- [5] 郑州市气候特征[URL]. http://www.hudong.com/wiki/Zhengzhou_Climatic_Characters.
<http://www.hudong.com/wiki> (in Chinese)
- [6] 刘兵, 何新林, 蒲胜海, 等. B/S 模式实时灌溉调度系统框架设计[J]. 中国水利, 2007, 15: 51-52.
LIU Bing, HE Xinlin, PU Shenghai, et al. Framework design for real-time irrigation dispatching system. China Water Resources, 2007, 15: 51-52. (in Chinese)
- [7] 顾世祥, 李远华, 袁宏源. 霍泉灌区作物需水量实时预报[J]. 武汉水利电力大学学报, 1998, 31(1): 37-41.
GU Shixiang, LI Yuanhua and YUAN Hongyuan. Real time forecasting of crop evapotranspiration of Huoquan irrigation district. Journal of Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering, 1998, 31(1): 37-41. (in Chinese)
- [8] 马建琴, 李明. 作物在线实时灌溉制度研究及其管理软件研制[J]. 节水灌溉, 2011, 8: 55-57.
MA Jianqin, LI Ming. Study on online real-time irrigation schedule and its management software. Journal of Water Saving Irrigation, 2011, 8: 55-57. (in Chinese)