

河北平原区冬小麦合理灌溉制度试验研究

武 剑

(河北省水利水电勘测设计研究院, 天津 300250)

摘要: 通过试验确定合理的冬小麦灌溉制度, 可以达到节水、增产、环保的效果。在河北省平原区进行冬小麦合理灌溉制度的试验, 灌溉制度试验设定4个处理进行对比, 在足墒播种的情况下, 灌溉定额分别为春季灌 $900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $2\ 250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $2\ 700 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $3\ 600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。根据示范区实验数据说明, 在河北省中南部平原区, 冬小麦合理灌溉定额在 $2\ 250\sim 2\ 700 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 范围内, 产量较高。在灌溉定额为 $2\ 250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时, 可分别在小麦拔节、开花和灌浆期分3次灌溉, 灌水定额为 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$; 灌溉定额为 $2\ 700 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时, 可分别在小麦拔节、开花期分2次灌溉, 灌水定额为 $1\ 350 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。通过试验, 合理确定河北平原区冬小麦合理灌溉制度, 为农田合理灌溉、农业节水、增产增收提供科学依据。

关键词: 灌溉制度试验; 冬小麦种植; 灌溉定额; 灌水时间和方法; 河北省平原区

中图分类号: S274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)04-0785-03

Experimental research on reasonable irrigation system of winter wheat in Hebei plain

WU Jian

(Hebei Research Institute of Investigation and Design of Water Conservancy and Hydropower, Tianjin 300250, China)

Abstract: A reasonable irrigation system of winter wheat determined by experiments can achieve the effects of water saving, increased production, and environmental protection. Experiments on reasonable irrigation system of winter wheat in Hebei plain were conducted, and four irrigation treatments were compared under the condition of sufficient seeds, which included the irrigation quota of $900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, $2\ 250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, $2\ 700 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, and $3\ 600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ in spring. The results showed that in the plains of central and southern Hebei Province, reasonable irrigation quota of winter wheat is in the range of $2\ 250$ to $2\ 700 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ to generate higher yield. For the irrigation quota of $2\ 250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, three irrigations can be applied to the wheat jointing stage, flowering stage, and filling stage with each of $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. For the irrigation quota of $2\ 700 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, two irrigations can be applied to the wheat jointing stage and flowering stage with each of $1\ 350 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. Determination of reasonable irrigation system of winter wheat in Hebei plain through the experiments can provide the scientific basis for reasonable irrigation, agricultural water saving, and increasing production.

Key words: irrigation system experiment; winter wheat planting; irrigation quota; irrigation time and method; Hebei plain

灌溉试验主要研究作物需水规律, 揭示水分与作物生长发育及产量的关系, 探求经济合理的灌溉制度和灌水技术等问题的科学试验。它为灌溉工程的规划、设计和管理提供基本资料, 通过在河北省石津灌区示范区冬小麦合理灌溉制度的试验, 找出适合本区域的合理节水、高产的灌溉方法, 为农田合理灌溉、水资源合理利用以及进行灌溉经济分析提供基本依据。

1 农作物灌溉制度

本示范区在河北省宁晋县大陆村, 是石津灌区节水续建

配套试点灌区, 也是典型的井渠结合灌区。主要种植小麦、玉米和棉花^[1]。

灌溉制度是灌溉工程规划的基础, 是已建成灌区编制执行用水计划、合理用水的重要依据, 关系到灌区内作物产量和品质的提高、灌区水土资源成分利用和灌溉工程设施工程效益的发挥^[2]。

试验研究不同灌溉制度和作物生长发育、产量、土壤性状等因素之间的关系; 探求适宜的土壤含水率、土壤水分吸力、田面水层控制标准和不同气象条件、不同灌水技术时的灌溉制度。

1.1 水量平衡法确定旱作物灌溉制度

根据旱作物的生理和生态特性,灌溉的作用在于补充土壤水分的不足,要求作物生长阶段土壤计划湿润层内土壤含水量维持在易被作物利用的范围内^[3]。其最大允许含水量为田间持水量,而最小允许含水量应保持在田间持水量的 50%~60%。

旱作物灌溉制度可通过水量平衡计算来确定。当某一时段内尚未灌水时,时段末土壤储水量为:

$$W = W_0 + P - E + K \quad (1)$$

式中: W 为时段末土壤储水量(m^3/hm^2); W_0 为时段初的土壤储水量(m^3/hm^2); P 为时段内的有效降雨量(m^3/hm^2); E 为时段内农田耗水量(m^3/hm^2); K 为时段内地下水补给量(m^3/hm^2)。

若计算时段较长,计划湿润层加深,则在水量平衡方程式右端加上因计划湿润层增加而增加的水量 WH 。当时段末土壤储水量 W 小于或等于土壤允许最小含水量的土壤储水量时,则应进行灌水。其灌水定额等于土壤允许最大储水量(田间持水量)与时段末土壤储水量 W 的差值。旱作物灌溉制度也可用图解法来确定。

1.2 合理灌溉制度

在灌溉水量有限时,根据作物需水特性及水分亏缺的敏感因子和当地气象、土壤、农业技术及灌水技术等因素而制定的最佳灌水方案。合理灌溉制度是伴随着非充分灌溉而产生的,与传统灌溉制度的最大区别在于使整个灌水决策的整体效果合理,而不是使某个阶段的灌水决策合理。它是灌溉计划用水和地区水土资源合理规划的基础。

表 2 宁晋县实验期间降水量年内分配统计

Tab. 2 Monthly precipitation in Ningjin County during experimental period

年份	各月降水量/mm											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2008年	1.1	0.6	11.3	43.0	48.0	55.9	42.6	122.5	56.7	12.8	0	0
2009年	0	11.0	8.1	18.9	37.4	102.1	77.3	176.1	92.4	8.1	33.3	0.2
2010年	0.5	10.2	9.7	13.0	18.2	7.2	60.0	146.2	68.4	6.2	0	0.5

冬小麦品种采用石麦 15 号。需要对肥料进行控制,小麦全生育期施肥量见表 3。氮肥底施与追肥各占 1/2,磷肥与钾肥全部底施。氮肥追肥在起身拔节时施用。灌水方法采用管道输水灌溉,超声波流量计计量。同时采用取土烘干法观测土壤水分,每个小区取 1 点,每点取到 1 m,每 20 cm 为一层,每层取 3 个土样。

表 3 示范区种植冬小麦施肥量统计

Tab. 3 Statistics of fertilizer application for winter wheat in the demonstration area

化肥名称	氮肥(折纯量)	磷肥(P_2O_5)	钾肥(K_2O)	合计
施用量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	210	75	45	330
所占百分数(%)	63.6	22.7	13.6	100

2.1 水分生产效率计算

水分利用效率系指植物消耗单位水量生产出的同化量,它是反映植物生长中能量转化效率的重要指标^[6],水分利用效率计算公式:

在实践上,对旱作物有的是采用减少灌水次数的方法,即减少对作物减产影响不大的非需水关键期的灌水,保证需水关键期的灌水;也有采用减少灌水定额的方法,即灌水上线仅为田间持水量的 80%~90%。

2 井渠结合灌区冬小麦灌溉制度试验研究

根据项目区的实际灌溉情况,灌溉制度试验设定 4 个处理进行对比,在足墒播种的情况下,分别为春季灌 $900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $2\ 250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $2\ 700 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $3\ 600 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。各处理情况见表 1。每种处理设 3 个重复,共设计小区 12 个^[5]。

表 1 不同灌溉定额下的灌溉制度设计

Tab. 1 Irrigation system design under different irrigation quota

灌水试验方案	灌水方法和时间	灌溉次数	灌水定额 $I/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	灌溉定额 $I/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$
\bar{N}	起身拔节水	1	900	900
$\hat{0}$	起身拔节水+ 开花+ 灌浆水	3	750	2 250
$\acute{0}$	起身拔节水+ 开花水	2	1 350	2 700
$\hat{0}$	起身拔节水+ 开花水	2	1 800	3 600

根据宁晋县 2008、2009、2010 年降水量资料统计,年降水量分别为 394.5 mm、564.9 mm、340.1 mm,而在小麦非生长期 6 月—9 月,该区降水量仅占全年降水量的 70.4%、79.3%、82.9%,即在小麦生长期降水量较小,则灌溉实验按照实验要求的定额进行灌溉。表 2 为宁晋县试验期间降水量年内分配统计表。

$$WP = \frac{Y}{(W + P + U - D \pm \Delta)} \quad (2)$$

式中: WP 为某一区域的水分生产率(kg/m^3); Y 为某一区域内作物总产量(kg); W 为从地面进入该区域内的总水量(m^3); P 为进入该区域内的总降水量(m^3); U 为地下水补给量以及通过侧渗进入该区域内的总水量(m^3); D 为流出该区域的总水量(m^3); Δ 为该区域内的储水量变化,储水量减少为正,反之为负(m^3)。

水分利用效率指植物消耗单位水量所产出的同化量^[7],反映植物生产过程中的能量转化效率,也是评价水分亏缺下植物生长适宜度的综合指标之一^[8]。作物在有限水分条件下的产量取决于作物对水分的获取、水分利用效率和收获指数,特别是在干旱半干旱地区,提高水分利用效率是提高作物产量的主要途径之一^[9]。

经过 2008 年、2009 年、2010 年 3 年试验资料分析,在不同灌溉定额条件下,冬小麦产量与产量结构变化情况。表 4 为示范区不同灌溉定额条件下冬小麦产量计算表。

表4 示范区不同灌溉定额条件下冬小麦产量计算表

Tab. 4 Production of winter wheat in the demonstration area under different irrigation quota

年度	灌水参数/($m^3 \cdot hm^{-2}$)			均产量 /($kg \cdot hm^{-2}$)
	灌溉定额	土壤水分有效利用量	生育期耗水量	
2008年	900	392	2 424	7 381
	2 250	269	3 652	8 595
	2 700	341	4 174	8 044
	3 600	349	5 082	7 566
2009年	900	837	2 699	7 598
	2 250	857	4 069	8 658
	2 700	793	4 455	8 251
	3 600	834	5 396	7 828
2010年	900	1 323	2 930	7 066
	2 250	1 259	4 216	8 231
	2 700	1 307	4 713	8 247
	3 600	1 846	6 153	7 189

在土壤水分胁迫条件下,小麦对深层土壤水分的利用能力提高,适当减少灌水次数及灌水总量,合理进行定额灌溉,不会影响小麦生育后期主要供水层的土壤水分含量。土壤深层蓄水对小麦后期的生长发育及产量形成起重要作用^[10]。通过2008年-2010年试验资料可以看出,灌溉定额按照制定的试验方案进行灌溉,由于各年有效降雨量变化较大,使得土壤水分有效利用量变化较大。水分生产效率随着灌溉定额的增大而逐渐降低。

2.2 合理灌溉制度试验

小麦生育前、中期适度灌溉,在保证适宜亩穗数和幼穗正常发育的前提下,适度抑制营养生长。后期补充灌溉,延缓根系和功能叶片的衰老,保证穗粒数和粒重,是确定高产高效定额灌溉方案的原则^[11]。表5为各年不同灌溉制度下的冬小麦产量结构情况统计表。

表5 各年不同灌溉制度下的冬小麦产量结构

Tab. 5 Yield structure of winter wheat in the demonstration area under different irrigation quota

年分	灌溉定额 /($m^3 \cdot hm^{-2}$)	穗数 /(万个· hm^{-2})	穗粒数 /个	千粒重 /g	产量 /($kg \cdot hm^{-2}$)
2008年	900	502.5	36.0	40.8	7 381
	2 250	483.0	41.0	43.4	8 595
	2 700	504.0	38.0	42.0	8 044
	3 600	475.5	36.0	44.2	7 566
2009年	900	439.5	39.2	44.1	7 598
	2 250	511.5	37.7	44.9	8 658
	2 700	523.5	35.5	44.4	8 251
	3 600	517.5	33.1	45.7	7 828
2010年	900	580.5	29.4	41.4	7 066
	2 250	628.5	30.6	42.8	8 231
	2 700	628.5	32.4	40.5	8 247
	3 600	562.5	30.0	42.6	7 189

通过试验结果可以看出,方案0(灌溉定额 $2\ 250\ m^3/hm^2$)的灌溉制度,即灌溉3次:起身拔节水+开花+灌浆水,每次灌水定额 $750\ m^3/hm^2$,产量最高,三年产量分别为 $8\ 595\ kg/hm^2$ 、

$8\ 658\ kg/hm^2$ 、 $8\ 231\ kg/hm^2$ 。而方案0(灌溉定额 $3\ 600\ m^3/hm^2$)的灌水制度,灌溉定额是方案N(灌溉定额 $900\ m^3/hm^2$)灌溉定额的4倍,而产量略高于方案N。因此,灌溉水量的多少不是唯一提高产量的方法,适时灌水与合理灌水可以提高冬小麦产量。

通过对不同灌溉定额对比分析,冬小麦产量和水分生产效率发生明显变化。对三年试验数据中的产量变化分析,灌溉定额的变化对产量影响显著。通过对2008年-2010年三年的产量试验数据及三年的产量平均值的变化趋势分析,从灌溉定额 $900\ m^3/hm^2$ 增至 $2\ 250\ m^3/hm^2$,小麦产量增加明显;灌溉定额从 $2\ 250\ m^3/hm^2$ 增至 $2\ 700\ m^3/hm^2$,冬小麦产量变化不明显;灌溉定额从 $2\ 700\ m^3/hm^2$ 增至 $3\ 600\ m^3/hm^2$,冬小麦的产量不增反降。合理灌溉制度试验结果见表6。

表6 合理灌溉制度试验结果

Tab. 6 Experimental results of reasonable irrigation system

项目	灌溉定额/($m^3 \cdot hm^{-2}$)				
	2250		2700		
冬小麦 生长期	拔节	开花	灌浆	拔节	开花期
灌水定额 /($m^3 \cdot hm^{-2}$)	750	750	750	1350	1350
适合条件	适合于田间畦田规格较小的情况。			适合于田间畦田规格较大的储水灌溉情况。	

3 结论

研究主要作物的节水型灌溉制度,以适应日益紧张的农业水资源供需关系和发展灌溉的需要。根据农田水量平衡原理分析制定作物灌溉制度,同时参考灌水经验和田间灌溉试验资料,通过对河北省平原区冬小麦灌溉制度进行试验,确定合理的灌溉制度,使灌溉制度建立在完善基础上,达到节水高产的目的。

根据示范区试验数据说明,在河北省中南部平原区,冬小麦合理灌溉定额在 $2\ 250\sim\ 2\ 700\ m^3/hm^2$ 范围内,产量较高。在灌溉定额为 $2\ 250\ m^3/hm^2$ 时,可分别在小麦拔节、开花和灌浆期分3次灌溉,灌水定额为 $750\ m^3/hm^2$;灌溉定额为 $2\ 700\ m^3/hm^2$ 时,可分别在小麦拔节、开花期分2次灌溉,灌水定额为 $1\ 350\ m^3/hm^2$ 。

参考文献(References):

- [1] 郑红. 石津灌区节水现状与发展对策[J]. 河北水利水电技术, 2001(6): 6-7. (ZHENG Hong. Ishizu water saving present situation and the development countermeasures[J]. Hebei Province Water Conservancy and Hydropower Technology, 2001(6): 6-7. (in Chinese))
- [2] 黄秋生, 胡中兴, 倪进现. 实用农业节水灌溉工程规划与设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010. (HU Qiu sheng, HU Zhong xing, NI Jin xian. Planning and Design of Practical Agricultural Water saving Irrigation Project[M]. Beijing: China Water power Press, 2010. (in Chinese))

(下转第797页)

- ao yan. Factors affecting the price of water analysis[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2006(6): 34-35. (in Chinese)
- [2] 王谢勇, 谭欣欣, 陈易. 构建水价完全成本定价模型的研究[J]. 水电能源科学, 2011(5): 109-112. (WANG Xie yong, TAN Xir xin, CHEN Yi. Study on construction of full cost water pricing model[J]. Water Resources and Power, 2011(5): 109-112. (in Chinese))
- [3] 胡兴明. 影响水价的因素浅析[J]. 人民黄河, 2007(6): 33-35. (HU Xing ming. Analysis on the influence factors of water price[J]. Yellow River, 2007(6): 33-35. (in Chinese))
- [4] 冯广志. 完善农业水价形成机制若干问题的思考[J]. 水利发展研究, 2010(8): 26-32. (FENG Guang zhi. On the perfection of agricultural water price forming mechanism of some problems[J]. Water Resources Development Research, 2010(8): 26-32. (in Chinese))
- [5] 高媛媛, 姜文来, 殷小琳. 典型国家农业水价分担及对我国的启示[J]. 水利经济, 2012, 30(1): 5-10. (GAO Yuan yuan, JIANG Wen lai, YIN Xiao lin. Agricultural water price share and its inspiration to China[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2012, 30(1): 5-10. (in Chinese))
- [6] 田元君. 山东省引黄灌区农业水价研究[D]. 山东: 山东大学水利工程系, 2010. (TIAN Yuan jun. Yellow River irrigation area in Shandong province agricultural water price research[D]. Shandong: School of Civil Engineering, Shandong University, 2010. (in Chinese))
- [7] 柳长顺. 关于新时期我国农业水价综合改革的思考[J]. 水利发展研究, 2010(12): 16-20. (YANG Chang shun. Thinking about the new era of comprehensive reform of agricultural water price[J]. Water Resources Development Research, 2010(12): 16-20. (in Chinese))
- [8] 张献锋, 冯巧, 尤庆国, 等. 推进农业水价改革的思考[J]. 水利经济, 2014, 32(1): 50-53. (ZHANG Xian feng, FENG Qiao, YOU Qing guo, et al. Thoughts on the promotion of agricultural water price reform[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2014, 32(1): 50-53. (in Chinese))
- [9] 年自力, 郭正友, 雷波, 等. 农业用水户的水费承受能力及其对农业水价改革的态度——来自云南和新疆灌区的实地调研[J]. 中国农村水利水电, 2009(9): 158-162. (NIAN Zi li, GUO Zheng you, LEI Bo, et al. Agricultural water users' affordability of water fees and their attitude toward irrigation water pricing reform—An on the spot investigation of irrigation districts in Xinjiang and Yunnan[J]. China Rural Water and Hydropower, 2009(9): 158-162. (in Chinese))
- [10] 孙建光, 韩桂兰. 基于资源环境水价的塔里木河流域农业水价的节水效应[J]. 中国农村水利水电, 2012(12): 88-90, 95. (SUN Jian guang, HAN Gui lan. Research on the effect of the future adjustment of agriculture water pricing based on the research and environment water price the quantity of irrigation water in Tarim River Basin[J]. China Rural Water and Hydropower, 2012(12): 88-90, 95. (in Chinese))
- [11] 薛薇. SPSS 统计分析方法及应用(第三版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013. (XUE Wei. Statistical Analysis and SPSS Application[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2013. (in Chinese))
- [12] 耿金花, 高齐圣, 张嗣瀛. 基于层次分析法和因子分析的社区满意度评价体系[J]. 系统管理学报, 2007(6): 673-677. (GENG Jin hua, GAO Qi sheng, ZHANG Si ying. Evaluation system of community satisfaction based on analytic hierarchy process and factor analysis[J]. Journal of System Management, 2007(6): 673-677. (in Chinese))
- (上接第 787 页)
- [3] 蔡昆争. 作物根系生理生态学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011. (CAI Kun zheng. Physiological Ecology of Crop Root[M]. 2011. (in Chinese))
- [4] 吴瑞霞, 任卫东, 贺金良. 加强灌溉管理充分发挥高效节水效益[J]. 内蒙古水利, 2010(1): 118-119. (WU Rui xia, REN Wei dong, HE Jir liang. Give full play to strengthen irrigation management efficient water saving benefits[J]. Inner Mongolia Water Resources, 2010(1): 118-119. (in Chinese))
- [5] 武兰春. 河北省典型灌区田间畦灌技术节水模式试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(3): 201-204. (WU Lan chun. Study on water-saving mode test in border irrigation technology of Hebei typical irrigation district[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(3): 201-204. (in Chinese))
- [6] 段爱旺. 水分利用效率的内涵及使用中需要注意的问题[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(1): 8-11. (DUAN Ai wang. Need to pay attention of the problem of the connotation of the water use efficiency and use[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2005, 24(1): 8-11. (in Chinese))
- [7] 刘彦军. 灌水量灌水时间对麦田耗水量及小麦产量的影响[J]. 河北农业科学, 2003(2): 6-11. (LIU Yan jun. Irrigation water irrigation time impact on crop water consumption and wheat production[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2003(2): 6-11. (in Chinese))
- [8] 王会肖, 刘昌明. 作物水分利用效率内涵及研究进展[J]. 水科学进展, 2000, 11(1): 99-104. (WANG Hui xiao, LIU Chang ming. Advances in crop water use efficiency research[J]. Advances in Water Science, 2000, 11(1): 99-104. (in Chinese))
- [9] 张忠学, 于贵瑞. 不同灌水处理对冬小麦生长及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(2): 1-4. (ZHANG Zhong xue, YU Gui rui. Effects of irrigation scheduling on development and water use efficiency in winter wheat[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2003, 22(2): 1-4. (in Chinese))
- [10] 黄占斌, 山仑. 水分利用效率及其生理生态机理研究进展[J]. 中国生态农业学报, 1998, 6(4): 21-25. (HUANG Zhan bin, SHAN Lun. Research Progression on water use efficiency and its Physiological mechanism[J]. Ecological Agriculture Research, 1998, 6(4): 21-25. (in Chinese))
- [11] 刘宝萍, 刘增进, 康迎宾. 冬小麦最优灌溉制度的研究[J]. 华北水利水电学院学报, 1999, 30(3): 9-12. (LIU Bao ping, LIU Zeng jin, KANG Ying bin. A practical method to calculate the lastoplastic J Integral[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 1999, 30(3): 9-12. (in Chinese))