

河北省典型灌区田间畦灌技术节水模式试验研究

武兰春

(河北省水利科学研究院, 石家庄 050057)

摘要: 通过在河北省石津灌区试验区内开展对冬小麦不同条件下的灌溉模式对比试验, 包括水分生产效率和粮食产量等项目, 并对井渠结合灌区畦田规格进行试验, 包括田畦宽 10 m 和 3 m 两种模式。结果表明, 在试验区现状肥力条件下, 在中等干旱年墒情充足播种基础上, 保证冬小麦产量 $6\ 750\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 以上, 最佳灌溉定额分别为 $2\ 250\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 和 $2\ 700\ \text{m}^3/\text{hm}^2$; 项目区井渠结合适宜的田间畦田规格, 田畦长度控制在 30~50 m, 田畦宽度应满足耕作要求, 一般可选取 3 m 左右或按当地习惯确定。通过对河北省平原区畦灌技术节水试验模式分析, 可为其他类似灌区推广节水灌溉提供参考依据。

关键词: 畦灌技术; 灌溉模式试验; 灌水定额; 田畦灌水试验; 河北省平原区

中图分类号: S275 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)03-0201-04

Study on Water-saving Mode Test in Border Irrigation Technology of Hebei Typical Irrigation District

WU Lan chun

(Hebei Provincial Academy of Water Resources, Shijiazhuang 050057, China)

Abstract: Border irrigation is one of the most popular surface irrigation methods. The border irrigation technology in the experimental district is promoted and it found the suitable water saving border irrigation program, which can improve the water use efficiency and relief the water shortage. Comparative test are taken for winter wheat in different irrigation program in Shijin Irrigation District, including water use efficiency and crop yield. It studied the influence of the side of border with the width of 10 m and 3 m in combined well with canals area. The result shows that the optimum irrigation quotas are $2\ 250\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ and $2\ 700\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ respectively to ensure the yield above $6\ 750\ \text{kg}/\text{hm}^2$ in the condition of normal soil fertility, medium drought year and sufficient seeding. The optimum border size should be 30~50 m long and 3 m wide.

Key words: Border irrigation technology; Irrigation mode experiment; Irrigation water quota; field irrigation test; Hebei Plain area

1 试验区概况

试验区设在河北省石津灌区, 该灌区有效灌溉面积 11.5 万 hm^2 , 为水利部大型灌区节水续建配套试点灌区, 也是典型的北方井渠结合灌区。灌区范围涉及石家庄、衡水、邢台 3 个市的 14 个县 158 个乡镇, 主要种植小麦、玉米、棉花。

试验区地处河北省宁晋县境内, 属石津灌区第一干渠五分干控制范围, 由大陆村渠道管理所负责灌溉管理。试验区建设前, 支渠以下灌溉渠道均为土渠, 过水能力差, 渗漏严重, 绝大部分建筑物建设标准较低, 很难满足运行和调度上的要求, 量水设施和设备缺乏, 灌溉管理粗放, 灌水效率低。试验区建设工程共包括改造支渠 2 条, 长 1.19 km; 混凝土防渗衬砌斗渠 5 条, 全长 3.39 km, 农渠 38 条, 全长 13.17 km; 配套各类建筑物 846 座, 其中量水设施 41 座; 修建低压管道

3 条, 全长 0.7 km; 简易气象站 1 处等。灌溉面积 356.93 hm^2 , 总投资 425.78 万元。

试验区属暖温带大陆性季风气候区, 多年平均降水量 471.2 mm, 降水量年内分配不均, 多集中在 6、7、8 三个月, 占全年降水量的 70% 左右。年蒸发量为 1 000~1 200 mm (E601 蒸发器), 年平均气温 $12\ ^\circ\text{C}$ ~ $13\ ^\circ\text{C}$, 极端最低气温 $-22\ ^\circ\text{C}$, 极端最高气温 $41.9\ ^\circ\text{C}$ 。年最大冻土深 47 cm, 无霜期 190~200 d, 年日照总时数 2 629.5 h, $0\ ^\circ\text{C}$ 以上积温 $4\ 600\ ^\circ\text{C}$ ~ $5\ 000\ ^\circ\text{C}$, 适宜冬小麦、玉米、棉花等作物及苹果、梨等果树生长。

2 冬小麦灌溉制度试验研究

北方农田普遍采用畦灌方式, 针对农田灌溉中畦田规模较大, 灌水定额偏高, 缺乏科学的灌溉制度等问题^[1], 2007 年~2010 年在试验区内集成与示范井灌小畦灌溉技术和优化渠

收稿日期: 2014-04-14 修回日期: 2014-05-05

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目 (2006BAD11B092)

作者简介: 武兰春 (1956-), 男, 河北衡水人, 研究员, 主要从事节水灌溉方面的研究。E-mail: lan Chun wu@sina.com

节水灌溉制度等田间节水技术。

在试验区,现状的灌溉制度为冬小麦采用地表水灌溉,畦田规格较大,畦田宽一般与农户的种植地块宽度相同,约 3~15 m 不等,畦长与农户种植长度相等,部分农户在中间打垄,长度在 100~300 m 之间;夏玉米灌水多数基本采用地下水灌溉,畦田规格较小,灌水次数较少。

根据上述分析,灌水不科学问题主要体现在冬小麦上,要解决灌水定额过大的问题有两种解决思路,根据试验,对其畦田规格进行适当的调整和优化,确定出合理的畦田规格和科学的灌溉制度。图 1 为冬小麦种植灌溉定额试验方案。

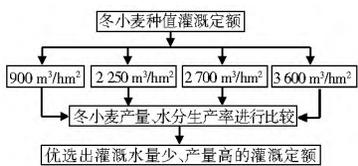


图 1 冬小麦种植灌溉定额试验方案

Fig. 1 Experiment Scheme of Irrigation Water Quota for Winter Wheat

2.1 水分生产率

水分生产率指单位水资源量在一定的作物品种和耕作栽培条件下所获得的产量或产值。它是衡量农业生产水平和农业用水科学性与合理性的综合指标。狭义的水分生产率还有作物水分生产率和灌溉水分生产率。作物水分生产率指作物消耗单位水量的产出,其值等于作物产量(一般指经济产量)与作物净耗水量或蒸发蒸腾量之比。灌溉水分生产率指单位灌溉水量所能生产的农产品的数量^[2]。作物水分生产率计算公式为:

$$WP_c = \frac{Y}{M} + P + D \quad (1)$$

式中: WP_c 为作物水分生产率 (kg/m^3); Y 为作物产量 (kg/hm^2); M 为净灌溉水量 (m^3/hm^2); P 为有效降水量 (m^3/hm^2); D 为地下水补给量 (m^3/hm^2)。

经过 2008 年-2010 年的连续 3 年试验,设计灌溉定额分别为 900、2250、2700、3600 m^3/hm^2 ,有效降雨量 2008 年为 1130 m^3/hm^2 ,2009 年为 962 m^3/hm^2 ,2010 年为 707 m^3/hm^2 。通过计算,得出了不同处理条件下的冬小麦产量与产量结构试验结果。不同灌溉制度下的冬小麦水分生产率变化过程见图 2。

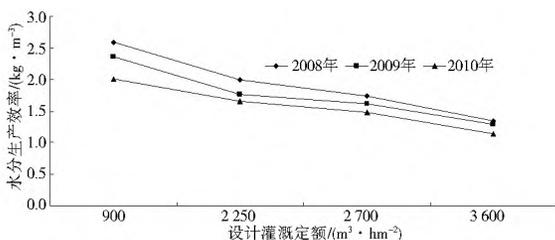


图 2 不同灌溉制度下冬小麦水分生产率分布

Fig. 2 Water Productivity Distribution of Winter Wheat under Different Irrigation Programs

从图 2 可以看出,2008 年-2010 年 3 年的水分生产率变化趋势,从灌溉定额 900 m^3/hm^2 至 2250 m^3/hm^2 ,冬小麦水分生产率出现了下降,二者变幅较大;随着灌溉定额从 2250 m^3/hm^2 增至 2700 m^3/hm^2 ,水分生产率缓慢下降;

灌溉定额从 2700 m^3/hm^2 增至 3600 m^3/hm^2 ,水分生产率出现加快下降的趋势。

2.2 冬小麦产量

水是影响冬小麦生长和产量最重要的生态条件^[3]。水分不仅是构成植株体的主要成份,还是进行一切生理代谢过程不可缺少的重要原料,因此冬小麦生长发育的优良状况及产量的高低等都与水分因子有密切的关系^[4]。根据试验区 2008 年至 2010 年 3 年试验数据,计算出不同灌溉定额下的冬小麦产量。不同灌溉制度下冬小麦产量变化情况见图 3。

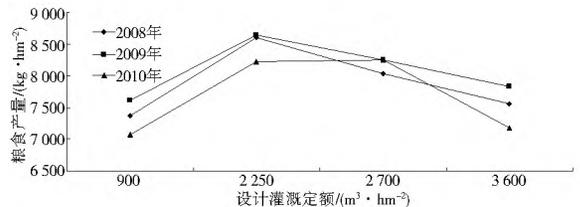


图 3 不同灌溉制度下冬小麦产量变化分布

Fig. 3 Variation of Winter Wheat Yield under Different Irrigation Programs

从图 3 可以看出 2008 年-2010 年灌溉定额从 900 m^3/hm^2 增加到 2250 m^3/hm^2 ,冬小麦平均产量增加明显,但冬小麦水分生产率也相应的出现了下降,二者变幅较大;随着灌溉定额从 2250 m^3/hm^2 增至 2700 m^3/hm^2 ,冬小麦产量变化不大或基本持平,相应的水分生产率缓慢下降;灌溉定额从 2700 m^3/hm^2 增至 3600 m^3/hm^2 ,冬小麦的产量不增反降,水分生产率出现加快下降的趋势。

2.3 灌水定额试验结果

综合分析表明,在试验区现状肥力条件下,在中等干旱年墒情充足种植的基础上,保证冬小麦产量 6750 kg/hm^2 以上,最佳灌溉定额分别为 2250 m^3/hm^2 和 2700 m^3/hm^2 。

最佳灌溉制度为:灌溉定额为 2250 m^3/hm^2 时,分别在春后起身拔节、开花、灌浆期 3 次灌水,灌水定额为 750 m^3/hm^2 ;灌溉定额为 2700 m^3/hm^2 时,分别在春后起身拔节、开花期 2 次灌水,灌水定额为 1350 m^3/hm^2 。

灌溉定额为 2250 m^3/hm^2 的灌溉制度适合于田间畦田规格较小的情况;灌溉定额为 2700 m^3/hm^2 的灌溉制度适合于田间畦田规格较大的储水灌溉情况。在实际情况中可根据当地的实际情况进行选择。

3 井渠结合灌区畦田规格试验研究

畦灌的灌水质量除与土壤性质及自然坡降有关外,还要受畦长、单宽流量、灌水长度、灌水定额、灌水时间等诸项技术要素影响^[5]。井渠结合灌区不同于单纯的井灌区,在灌溉水源和灌水流量方面具有特殊性,为确定井渠结合灌区田间畦田适宜规格,进行了田间补充试验。小畦灌田间试验在项目区内第一干渠五分干闫庄支 2 斗农 26 进行,农渠控制地块总长度 300 m,选取试验区宽度分别为 4 m 和 10 m。

入畦单宽流量的大小,取决于地面坡度及土壤透水性。地面坡度小,土壤透水性大,入畦单宽流量要大一些;反之,入畦单宽流量要小些^[6]。一般根据土壤质地确定入畦单宽流量。入畦单宽流量的大小及土壤的渗水能力决定着灌水的均匀性,不合理的流量常使得田畦首与田畦尾所入渗的水

量出现较大的差异。图4为畦田规格试验方案。

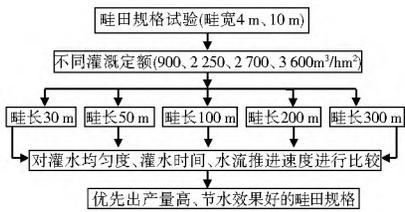


图4 畦田规格试验方案

Fig. 4 Experiment scheme of Border Sizes

3.1 畦宽 10 m 的畦田规格试验

长期以来,我国田间改造推行长畦改短畦,宽畦改窄畦,大畦改小畦的“三改”畦灌灌水技术,具节水、灌水均匀、减轻土壤冲刷等优点。

(1) 对灌水均匀度的影响。

灌水均匀度通常分为两部分,即灌溉系统的灌水均匀度和土壤湿润均匀度。其中,灌水系统和设备品质的高低通常用灌水均匀度来评价,其水力设计也以灌水均匀度为标准。

宽度为 10 m 的畦田规格试验过程中设定畦的长度分别为 30、50、100、200 和 300 m,单宽流量 3.0、4.5 L/(s·m),通过不同处理小畦灌水时间、田间推进速度、灌水均匀度及灌水量的测定,最终确定井渠结合灌区适宜的畦田规格及灌水要素。

畦田长度的选定,取决于地面坡度、土壤透水性、入畦流量及土地平整程度^[7]。当土壤透水性强、地面坡度小且土地平整差、入畦流量小(如井水)时,畦田长度宜短些;反之,畦田宜长些。畦田愈长,则灌水定额愈大,土地平整工作量愈大,灌水质量愈难以掌握。

在试验区内,畦长分别为 30、50、100、200、300 m 时,测量其灌水均匀度。畦长与灌水均匀度关系曲线见图 5。

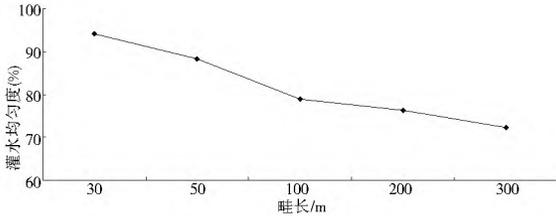


图5 畦长与灌水均匀度关系曲线

Fig. 5 Relation Curve between Border Length and Irrigation Uniformity

通过图5畦灌试验资料表明:长畦改短畦,灌水均匀度明显提高,畦长为 300 m 时,灌水均匀度为 72.3%,畦长为 30 m 时,灌水均匀度为 94.2%,基本上呈直线变化。

(2) 对灌水时间的影响。

实施畦灌方法,要注意提高灌水技术,要根据地面坡度、土地平整情况、土壤透水性、农业机具等因素合理地选定畦田规格和控制入畦流量、放水时间等技术要素^[8]。在试验区,灌水时进行了长畦改短畦与传统畦进行对比试验。图6为长畦改短畦与传统畦灌水时间对比分析过程线。

由图6可以看出,长畦改短畦、宽长畦平均推进速度分别为 0.0115 m/s、0.0172 m/s,130 m 畦长总输水时间分别为 218 min、190 min,长畦改短畦平均推进速度较宽、长畦提高了 50%,总灌溉时间缩短了 12.84%。灌水时间过长会造成灌水量大,增加渗漏量,使灌水效率下降^[9]。

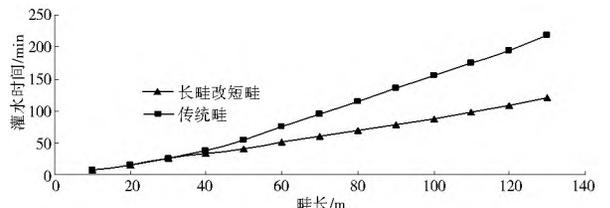


图6 长畦改短畦及传统畦灌溉灌水时间对比分析

Fig. 6 Comparison of Irrigation Times between Short Border and Traditional Border

(3) 对水流推进速度影响。

在试验区内,对不同田畦长度灌水推进速度与传统畦灌推进速度进行对比分析,在畦长小于 30 m 时基本上没有变化,畦长 30~60 m 变化明显,畦长大于 60 m 均趋于稳定,但长畦改短畦的推进速度大于传统畦灌的推进速度。图7为长畦改短畦及传统畦灌田间推进速度对比分析过程线。

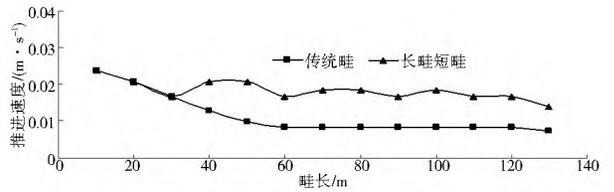


图7 长畦改短畦及传统畦灌溉田间水推进速度对比

Fig. 7 Comparison of Irrigation Wave Velocity between Short Border and Traditional Border

畦田规格研究结果表明:项目区井渠结合适宜的田间畦田规格,田畦长一般控制在 30~50 m、单宽流量 3~5 L/(s·m) 为宜。如地面坡度较小,土壤透水性较强,畦田要适当缩短,并加大入畦流量,才能使灌水均匀,并减少深层渗漏。畦田宽度应满足耕作要求,一般可选取 3 m 左右或按当地习惯确定。

3.2 畦宽 4 m 的畦田规格试验

在试验区内,对畦宽 4 m 的畦田进行水流推进试验。畦田的地面水流流速可用曼宁公式描述:

$$V = \frac{1}{n} h^{2/3} J^{1/2} \quad (2)$$

式中:V 为水流流速(m/s);n 是曼宁系数,是综合反映管渠壁面粗糙情况对水流影响的系数;h 为水流的水深(m);J 为地面坡度。

宽度为 4 m 的畦田规格试验采用畦长为 123 m,流量为 120 m³/h,单宽流量为 8.33 L/(s·m),推进速度每 2 m 测定一个时间,最终根据观测数据测定现状灌溉条件下合理的畦田规格。

由于水流的推进过程受多种因素的影响,造成流速过程出现波动,为从宏观上反映水流速度变化过程,常对流速推进过程进行概化处理^[10]。图8为畦田试验水流推进概化曲线。

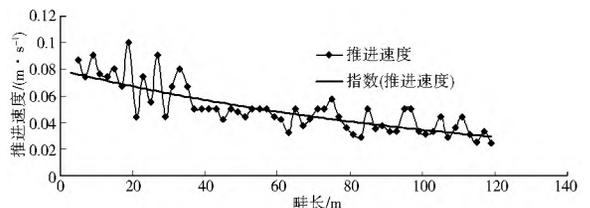


图8 畦田试验水流推进概化曲线

Fig. 8 Idealized Curve of Irrigation Water Flow

在试验区习惯的畦田宽度下,田畦长 30 m 时,灌水定额在 $900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 左右;田畦长 50 m 时,灌水定额在 $1200 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 左右,田畦长度 70~100 m 时,灌水定额在 $1350\sim 1800 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 左右。这与农艺节水灌溉制度试验结论相一致,当采用 $750\sim 900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 灌水定额时,畦田长度 30~50 m;当采用储水灌溉时,畦田长度在 70~100 m 之间。图 9 为畦田长度与灌水定额关系。

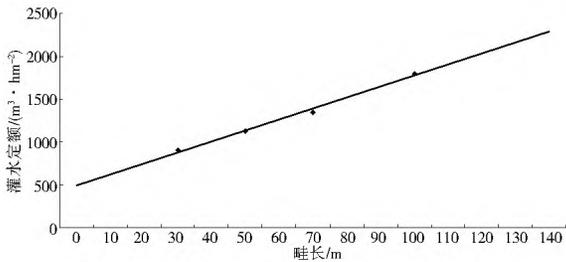


图 9 畦田长度与灌水定额关系

Fig. 9 Relation between Border's Width and Irrigation Water Quota

5 结论

通过对河北省平原区畦灌技术节水模式试验研究,利用 2008 年-2010 年 3 年试验资料分析,对冬小麦灌水定额和田畦长、畦宽等指标进行对比试验,提出了适合本区域的灌溉模式。

在试验区现状肥力条件下,在中等干旱年墒情充足播种基础上,保证冬小麦产量 $6750 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 以上,最佳灌溉定额分别为 $2250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和 $2700 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。最佳灌溉制度为:灌溉定额为 $2250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时,分别在春后起身拔节、开花、灌浆期 3 次灌水,灌水定额为 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$;灌溉定额为 $2700 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时,分别在春后起身拔节、开花期 2 次灌水,灌水定额为 $1350 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

在试验区习惯的畦田宽度下,田畦长 30 m 时,灌水定额在 $900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 左右;田畦长 50 m 时,灌水定额在 $1200 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 左右,田畦长 70 m~100 m 时,灌水定额在 $1350\sim 1800 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 左右。这也与农艺节水的灌溉制度试验结论相一致,当采用 $750\sim 900 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 灌水定额时,畦田长度 30~50 m;当采用储水灌溉时,畦田长度在 70~100 m 之间。畦田宽度应满足耕作要求,一般可选取 3 m 左右,原则上不大于 4 m 或按当地习惯确定。

参考文献(References):

[1] 李益农,许迪,李福祥.影响水平畦田灌溉质量的灌水技术要素

分析[J].灌溉排水,2001,20(4):10-15.(LI Yirong, XU Di, LI Fuxiang. Factors Effecting Irrigation Performance in Level Border Irrigation[J]. Irrigation and Drainage, 2001, 20(4): 10-15. (in Chinese))

- [2] 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.(HENG Jie, LI Guangyong, HAN Zhenzhong, et al. Sinø US Irrigation Water use Efficiencies of Main Crops[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(11): 46-50. (in Chinese))
- [3] 刘昌明,魏忠义.华北平原农业水文及水资源[M].北京:科学出版社,1989.(LIU Changming, WEI Zhongyi. The North China Plain Agricultural Hydrology and Water Resources[M]. Beijing: Science Press, 1989. (in Chinese))
- [4] 姜会飞.农业气象学[M].北京:科学出版社,2009.(JIANG Huifei. Agricultural Meteorology [M]. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese))
- [5] 聂卫波,费良军,马孝义.畦灌灌水技术要素组合优化[J].农业机械学报,2012,43(1):83-89.(NIE Weibo, FEI Liangjun, MA Xiaoyi. Optimization for Combination of Irrigation Technique Element for Border Irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(1): 83-89. (in Chinese))
- [6] 楼骏.农田水利学[M].北京:中国水利水电出版社,2005.(LOU Jun. Irrigation and Drainage Engineering [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2005. (in Chinese))
- [7] 莫正涛,刘彦珍,董云德,等.畦田灌溉试验分析[J].中国农村水利水电,2004,(3):9-11.(MO Zhengtao, LIU Yanzhen, DONGYurde, et al. Irrigation Experimental Analysis of Furrowed Field[J]. China Rural Water and Hydropower, 2004, (3): 9-11. (in Chinese))
- [8] 郭元裕.农田水利学[M].北京:中国水利水电出版社,1999.(GUO Yuanyu. Irrigation and Drainage Engineering [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1999. (in Chinese))
- [9] 郑和祥,史海滨,程满金,等.畦田灌水质量评价及水分利用效率分析[J].农业工程学报,2009,25(6):1-6.(ZHENG Hexiang, SHI Haibin, CHENG Manjin, et al. Analysis of Irrigation Efficiency and Water use Efficiency of Border Irrigation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(6): 1-6. (in Chinese))
- [10] 吴普特,朱德兴,吕宏兴,等.灌溉水力学引论[M].北京:科学出版社,2012.(WU Pute, ZHU Dexing, LYU Hongxing, et al. Irrigation Hydraulics Introduction [M]. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese))