

宁夏引黄灌区水稻节水灌溉生产效应研究

李凤霞, 张学艺, 袁海燕, 韩颖娟

(宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002)

摘 要: 针对宁夏引黄灌区严重缺水的问题, 在当地气候条件下, 开展不同灌溉技术〔控制灌溉、浅湿晒灌、深水灌溉(CK)〕应用研究。研究结果表明: 控制灌溉主要降低了渗漏量和需水量, 与常规灌溉相比, 控制灌溉节约用水量 $4\,014.0\text{ m}^3/\text{hm}^2$, 节水幅度达 39.5%, 水稻水分生产效率提高了 65.3%, 灌溉水生产效率提高了 82.1%, 在农艺措施相同的条件下, 充分利用有限的水资源, 形成合理的灌溉方式, 提高成穗率, 具有较好的生理效应。

关键词: 水稻; 节水灌溉; 生产效应

中图分类号: S274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)04-0046-05

针对宁夏引黄灌区农业用水日趋势紧张的现状, 大力推广水稻节水灌溉技术是水稻发展的必然。但目前水稻节水灌溉还没有成型的理论依据, 节水灌溉的发展还缺乏科学性。因此, 2002~2003 年开展了水稻不同灌溉技术的应用研究。

1 材料与方法

1.1 试验点的基本情况

试验地设在宁夏青铜峡市邵岗乡高渠村, 属中温带干旱气候, 主要气候特点是: 干旱少雨, 蒸发量大, 年均日照时数为 $2\,853.5\text{ h}$, 日照百分率为 60%~70%, 年均降水量 188.7 mm , 年均无霜期 164 d , 土壤含盐量为 12.8 g/kg , 有机质含量为 14.6 g/kg , 土壤中含全 N 量 0.894 g/kg , 全 P 量 0.74 g/kg , 全 K 量 15.6 g/kg , 碱解 N 为 58.71 mg/kg , 速效 P 含量 23.15 mg/kg , 速效 K 为 18.4 mg/kg 。

1.2 试验设计与方法

在育秧方式、插秧时间、密度、施肥等农业技术措施相同的条件下, 选用控制灌溉、浅湿晒灌、深水灌溉(CK)3 个处理, 各 3 次重复, 随机区组排列, 试验区面积为 0.07 hm^2 。供试品种为宁粳 16 号, 行株间距 $30\text{ cm}\times 13\text{ cm}$, 每穴 3 株, 于 5 月 10 日移栽。试验区间田埂采用塑料薄膜埋深 50 cm , 在各试验区安装了量水堰, 对每次灌水量进行记载, 在试验区安装蒸发皿, 每天观测一次。控制灌溉法: 从返青到分蘖期灌浅水层, 待其自然消耗到没有水层时, 再补充灌溉水量。分蘖后期与深灌溉相同: 拔节以后维持土壤含水量在 80%~90% 的饱和含水量水平, 低于该水平时再补充灌水量, 黄熟期落干。浅湿晒灌法: 分蘖后期晒田, 其余各生育期稻田土壤水分和控

制灌溉相同。深水灌溉法: (CK), 以深水层灌溉为主, 随苗体增高加深水层, 以不淹没主茎最上位叶枕为度, 当 50% 主茎倒二叶露尖时再灌水, 黄熟期落干。

暗管排水采用 Ведриков 公式进行计算求得暗管出流量为各试验区的渗漏量。水稻生育期间定点观测土壤含水量、地温、水温、气温、田间水层、分蘖、株高、叶面积指数、茎秆、根系等指标, 收获后进行考种测产和稻米品质化验。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉方式对水稻生长发育的影响

2.1.1 根系生长发育 由于水稻根系的取样和测定比较困难, 目前尚没有可靠的根系模型资料。本试验采用多点取样的统计法, 分析不同灌溉方式下水稻根系的对比差异, 控制灌溉的水稻比深水灌溉总根数多, 且主根较深, 功能根多。水稻的根系吸收水肥能力不仅取决于总根数和根系分布, 而更重要的是根系的活力。在水稻根系中, 吸收水肥能力最强的是“浮根”和“白根”。当水稻短期受旱时, 浮根能迅速长出较多的白根。如果受旱时间较长或受到严重水分胁迫后, 则叶面积指数会减小, 气孔开度也很难恢复到最大值, 所以控制灌溉水稻的白根或黄白根都较深水灌溉多。

2.1.2 茎蘖动态分析 以控制灌溉与深水灌溉结果为列(表 2), 在深水灌溉区(6 月 10 日~6 月 20 日)10d 中, 分蘖增长率比控灌减少 0.3%, 而分蘖成穗率却比控灌提高 12.8%。这反映出深水比控灌能有效的控制无效分蘖, 又能确保有效分蘖。因为水稻分蘖发育经过分化, 充实定型、萌动伸长和生出

叶片四个阶段^[1]。前两个阶段对环境反应不敏感,即在较差条件下,仍能自行分化、充实定型。萌动阶段则对环境条件较为敏感,当处于不适宜的环境条件时,只能保持原状成为潜伏芽;而当环境条件适宜时,即可开始萌发。最后导致深水灌溉分蘖实收穗数高于控制灌溉这样一个结果。

表 1 不同灌溉处理根系活力(%)情况调查(2 年平均值)

Table 1 The vigor of roots under different irrigating treatments (average value of 2 years)

处理 Treatment	白根 White roots	黄根 Yellow roots	黄白根 Yellow-white roots	黑根 Black roots	黑根增长 Growth of black roots
控 灌 Controlled irrigation	45.1	52.1	97.6	2.4	1.0
浅湿晒 Shallow solarizing	35.7	53.6	89.2	10.8	4.5
深灌法 Deep irrigation	18.5	62.0	80.5	19.5	8.1

表 2 不同灌溉方式对水稻分蘖的影响

Table 2 The effects of different irrigating treatment on shooting of rice

项目 Item	分蘖增长率(%) Tiller growth rate	最高分蘖数 Maximum tiller number	分蘖成穗数 Panicle number	分蘖成穗率(%) Rate of panicles to tillers	每穴收获穗数 Reaped panicles of each aperture
深水灌溉 Deep irrigation	22.0	8.3	6.9	83.1	12.1
控制灌溉 Controlled irrigation	22.3	10.1	7.1	70.3	11.9

2.2 不同灌溉方式对蒸发量、渗漏量、需水量的影响

在农艺措施和气象因素相同情况下,不同灌溉方式的蒸发量和渗漏量有一定差异(表 3),水层愈深,叶片奢侈蒸腾量愈大,渗漏量亦愈大^[2]。故不同灌溉方式的蒸发量、渗漏量和需水量都不同。控

灌分别比深水灌减少蒸发量 33.2 mm,渗漏量 243.2 mm,灌溉量 18.9 m³/hm²。从渗漏的变化规律看,主要与土壤性质和灌水量有关,稻田长期淹没土壤耕层通气性和土壤含氧量都比较差,使水稻根系下扎困难不利于旺盛生长,反而减少水分利用率。

表 3 不同灌溉方式不同发育期蒸发量、渗漏量、需水量对比 (mm)

Table 3 Contrast of evaporation, leakage and water demand at different development periods under different irrigation treatment

项目 Item	返青期 Regreening	分蘖期 Tillering	孕穗期 Booting	抽穗期 Earing	乳熟期 Milk ripening	黄熟期 Yellow ripening	全期 Total
深水灌 Deep irrigation							
蒸发量 Evaporation	88.1	169.0	280.5	97.1	211.0	150.7	996.4
渗漏量 Leakage	263.1	378.4	326.0	335.2	317	321.8	1941.5
需水量 Water demand	178.4	321.8	104.8	225.0	130.7	—	961.1
浅湿晒 Shallow solarizing							
蒸发量 Evaporation	109.9	154.2	321.2	100.8	159.8	122.1	968.0
渗漏量 Leakage	261.4	326.4	240.0	321.9	307.4	315.8	1772.9
需水量 Water demand	185.5	281.5	96.0	153.5	112.5	—	829.0
控制灌 Controlled irrigation							
蒸发量 Evaporation	100.9	154.1	316.9	98.2	157.8	135.3	963.2
渗漏量 Leakage	262.4	312.8	214.0	314.7	305.2	289.2	1698.3
需水量 Water demand	149.5	193.5	108.0	131.0	102.0	—	684.0

注:数据为两年平均值。
Note: The data stands for the average value of 2 years.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.3 气象因素对不同灌溉量的影响

2.3.1 稻田温、湿度变化规律 土壤温度的变化对水稻生长有着直接影响,植株生长在小环境中,不仅受气温、土温的影响,还受水温的影响,水稻苗期主要受水温的影响^[3],分蘖至幼穗分化期受气温与水温影响并重,孕穗以后主要受气温的影响。根据观测,稻田中气温变化,与大气候相似,最高值出现在 14 h,最低值出现在日出前 6 h 左右,由于有水和植

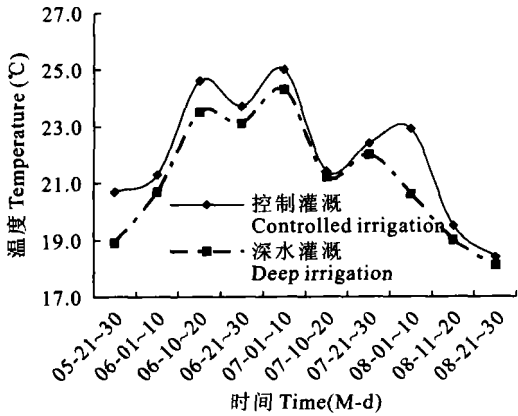


图 1 不同灌溉方式 20 cm 泥温变化

Fig. 1 The changes of soil temperature in 20 cm depth under different irrigating amount

2.3.2 水稻生育阶段耗水量与温度的关系 利用水稻生育阶段深水灌溉区耗水量与其 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温(用 $\sum T$ 表示)建立数学算式:

$$E_1 = -0.0002(\sum T)^2 + 2.1478\sum T + 0.978 \quad (1)$$

说明气温越高,水稻耗水量越大。因为随着气温的升高,水面蒸发量就增大;同时,在一定的温度范围之内,随着温度的升高,作物体内各种酶的活性也随之增强,新陈代谢、光合作用、蒸腾等消耗的水分也就越多^[5]。

2.3.3 水稻生育阶段耗水量与日照时数的关系

水稻生育阶段耗水量与日照(用 $\sum S$ 表示)有较好的对应关系。

$$E_2 = -0.0004(\sum S)^2 + 0.46\sum S - 14.51 \quad (2)$$

水稻拔节至灌浆期是水稻由营养生长逐渐向生殖生长过渡的时期,植株日趋长大定型,群体日趋茂盛,需要足够的日照,用于增强光合作用,用于蒸腾、蒸发,因此耗水量也就多。

2.4 土壤水分变化

土壤水分的变化影响土壤环境条件下的肥、气、热等因素,对水稻生长发育起促控作用^[6]。水稻控灌区各生育阶段达到土壤水分控制下限指标,分蘖前期土壤含水量较高,灌水时间间隔 3~4 d。分蘖后期为抑制无效分蘖,促进根系下扎,控制茎秆节间

株的调节作用,稻田中气温日变化比大气候低 2~3 $^{\circ}\text{C}$ 。稻田中由于空气湿度大,水汽对热量吸收作用强烈,所以稻田中的温度以活动面变化最剧烈^[4]。随着植株高度的增加温度降低,生育前期控制灌溉区水温、泥温均高于深水灌溉区。生育后期各处理间的泥温和水温变化逐渐缓和,以控制灌溉和深水灌溉的水稻田不同深度水温和泥温变化为例(图 1、2)。

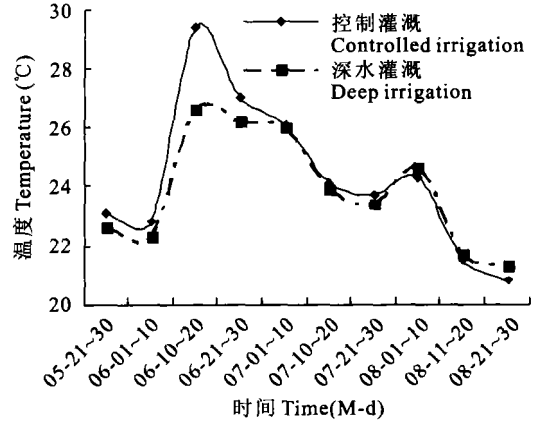


图 2 不同灌溉方式田面水温变化

Fig. 2 The changes of water temperature on field surface under different irrigating amount

过量伸长,在该阶段土壤含水量较低,说明此阶段灌水量把握的比较准确,做到了适时控灌,灌水时间间隔 6~7 d,7 月下旬~8 月初为水稻拔节孕穗、抽穗开花期,是水稻生育过程中的需水临界期,水稻对土壤水分的反映比较敏感,该阶段土壤含水量相对较高,灌水时间间隔 5~6 d。乳熟期土壤含水量逐渐下降,灌水时间间隔 8~10 d。不同生育期控制土壤不同的含水率,使水稻根系交替受到一定的水分胁迫锻炼,刺激根系吸收补偿功能,使根源营养向上输送至叶片调节气孔保持适宜的开度,达到减少叶面蒸腾,降低了棵间蒸发、田间渗漏等目的。8 月中旬到 9 月上旬是水稻的乳熟期,这时试验区含水量比较低,是因为此时田面形成了 10 cm 以上的灌淤泥层,阻隔了灌溉水量下渗,造成水稻根层水分分布不均,呈上高下低,此时土壤含水量未达到下限时应提前灌水^[7]。图 3 为控制区土壤变化情况。

2.5 不同灌溉方式对产量的影响

不同灌水方式直接影响水稻的生长量及产量的构成,适宜的灌溉量可以改善产量参数和提高单株产量。由表 4 可看出,不同灌水方式对水稻稻穗部形态均有影响。

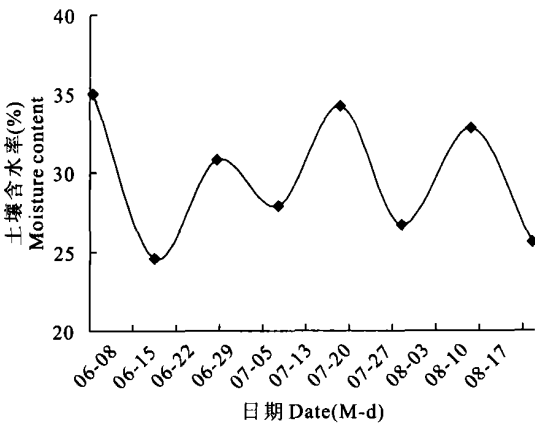


图 3 控灌区土壤水分变化
Fig 3 The changes of soil moisture in controlled irrigation plot

水稻的穗部形态包括穗长、穗粒数、结实率、千粒重等四部分。不同灌溉处理水稻的穗部形态具有以下规律:控灌>浅晒灌>深灌法。在水稻的穗部形态中,以控制灌溉和深水灌溉处理的各项参数进行对比,穗长增加 7 cm,穗粒数增加 10.9 粒,结实率平均提高 5.3%,千粒重增加 0.7 g。

三种不同的灌溉技术处理的水稻,两年平均实际灌水量分别为:深水灌溉技术处理的为 14 179.5 m³/hm²;浅水灌溉技术处理的为 12 321.0 m³/hm²,比深水灌溉技术处理的每公顷节约用水量 1 858.5 m³/hm²,节水 13.1%,控制灌溉技术处理的水稻灌水量为 10 165.5 m³/hm²,比深水灌溉技术处理的每公顷节约灌溉用水量 4 014.0 m³/hm²,节水 28.3%,水分生产效率分别提高了 17.2 和 72.4%。

表 4 不同灌溉方式对水稻穗部形态的影响
Table 4 The effects of different irrigation amount on spike characters of rice

处理 Treatment	穗长(cm) Ear length	平均穗粒数 Average grain number of each panicle	饱满粒数 Full grain number	结实率(%) Seed maturing rate	千粒重(g) TKW
控水灌 Controlled irrigation	146	126.9	116.6	91.6	23.9
浅湿晒 Shallow solarizing	142	105.7	94.8	89.6	24.8
深灌法 Deep irrigation	139	116	100.7	86.6	23.2

表 5 不同灌溉方式对水稻单产、灌溉水生产效率比较
Table 5 The yield and irrigation production efficiency of rice under different irrigation amount

灌溉处理 Treatment	实际灌水量 Irrigation amount (m ³ /hm ²)	与深水区比(%) Compared with deep irrigation	实收单产 Yield (kg/hm ²)	与深水区比(%) Compared with deep irrigation	生产效率 Production efficiency (kg/hm ²)	与深水区比(%) Compared with deep irrigation
深水灌 Deep irrigation	14179.5	—	8232.0	—	8.7	—
浅晒灌 Shallow solarizing	12321.0	—13.1	8379.0	—1.8	10.2	17.2
控灌法 Controlled irrigation	10162.5	—28.3	10197.0	+23.9	15	72.4

2.6 稻米品质的分析

经宁夏农林科学院农作物研究所稻米品质检测中心对各处理间样品进行检测:(以控制灌溉技术与深水灌溉技术生产的水稻化验结果为例)两年检测结果平均为大米糙米率比深水试验提高了 0.1%~0.2%,特别是控制灌溉水稻的精米率提高了 1.6%,整精米率提高了 4.2%~5.2%,垩白率和垩白度分别降低 1.12%~0.29%,透明度<0.1%,粒长提高了 0.2 mm,胶稠度提高了 2.8~4 mm,直链淀粉<0.2%~0.3%,蛋白质提高了 0.2%~0.3%,达到了部颁一级米标准。

3 结 论

1) 对于同一个水稻品种,在同一年份,相同气候条件下,不同灌溉量的穗部形态、产量形成都以控制灌溉为最佳,浅灌晒田次之,深水较差。从不同灌溉处理的水稻生态变化可以看出,控制灌溉的水稻从群体结构到植株的根、茎、叶、穗等器官,都具有明显的优势。

2) 水稻的节水潜力主要是降低渗漏量、需水量、蒸发量,控制灌溉各项指标分别比深水灌减少渗漏量 243.2 mm、需水量 18.9 m³/hm²、蒸发量 33.2 mm。

从而能显著地提高土壤肥力,避免有害物质的积累。

3) 控制灌溉水稻试验区产量为 10 197.0 kg/hm²,比深水灌溉(CK)的水稻增产 289.5 kg/hm²,增产幅度为 19.3%,水稻全生育期(含泡田水量)的田间灌水量为 10 165.5 m³/hm²,与常规灌溉相比,节约用水量 4 014.0 m³/hm²,节水幅度达 39.5%,灌水次数平均减少 16 次,水稻水分生产效率提高了 65.3%,灌溉水生产效率提高了 82.1%,节水直接效益达 849.3 元/hm²,为我区水稻节水灌溉提供了理论依据。

参 考 文 献:

[1] 司徒淞,张 薇,稻田高产节水灌溉方式的研究[J].中国水稻

科学,1990,5(3):125—132.

[2] 中国农业科学院·中国水稻学[M].北京:农业出版社,1986. 163—164.

[3] 徐国郎,王寿岷,张少康,等·节水农业灌溉技术[M].北京:气象出版社,1990.123~126.

[4] 冯宝平,张建丰,汪志荣,等·温度对土壤水分运动影响的研究[J].灌溉排水,2001,20(1):46—49.

[5] 彭世彰,郝树荣,刘 庆,等·节水灌溉水稻高产优质成因分析[J].灌溉排水,2000,19(3):3—7.

[6] 冯宝平,张建丰,汪志荣,等·温度对土壤水分运动影响的研究[J].灌溉排水,2001,20(1):46—49.

[7] 齐学斌,庞鸿宾·节水灌溉的环境效应研究现状及研究重点[J].农业工程学报,2000,16(2):37—40.

[8] 张 薇,司徒淞·稻田土壤水分优化调控技术研究[J].中国水稻科学,1995,5(4):211—216.

Study on production effect of rice under water saving irrigation

LI Feng-xia, ZHANG Xue-yi, YUAN Hai-yan, HAN Ying-juan

(Ningxia Key Lab for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002 China)

Abstract: Aimed at the severe shortage of water resource in the Yellow River irrigation district of NingXia, the field experiment was conducted to study the effects of water-saving irrigation techniques on rice, and analyze the influences of soil temperature and water condition to the growth of roots and the forming characters of stems, tillers, leaves, ears and grains of rice. Compared with conventional irrigation, controlled irrigation saved water consumption by 4 014.0 m³/hm², or 39.5%, raised water production efficiency by 65.3%, and increased irrigation production efficiency by 82.1%. Water-saving irrigation was effective in fully using limited water source, and forming reasonable irrigating means to raise ear-ripening rate of rice. Therefore, it was beneficial to realize the objectives of water saving, high yield and superior quality by using controlling irrigation.

Keywords: rice; water-saving irrigation; production effect