

春季灌溉制度对冬小麦产量形成及水分利用的影响

张胜爱¹, 李正来¹, 秦青春¹, 何建兴¹, 李瑞奇²

(1. 藁城市农技推广中心, 河北 藁城 052160; 2. 河北农业大学 农学院, 河北 保定 071001)

摘要: 在河北省山前平原小麦—玉米两熟区, 在传统的施肥种类和施肥量基础上, 采用 3 个灌水次数处理, A1(起身拔节水)、A2(起身拔节水、孕穗水)、A3(起身拔节水、孕穗水、灌浆水), 研究了春季不同灌溉制度对冬小麦籽粒产量构成和水分生产效率的关系。结果表明, 春一水处理明显降低了小麦穗粒数和粒重, 春二水处理与春三水处理之间差异不明显; 春二水处理的水分生产效率最高。

关键词: 冬小麦; 灌溉制度; 产量构成; 水分生产率

中图分类号: S512.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2007)增刊-0164-05

The Influence of Irrigation System in Spring to Winter Wheat Yield and WUE

ZHANG Sheng-ai¹, LI Zheng-lai¹, QIN Qing-chun¹, HE Jian-xing¹, LI Rui-qi²

(1. The Institute of Agricultural Technology Spreading of Gaocheng County, Gaocheng 052160, China;

2. The Agronomy College of Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

Abstract: Studied on the effect of dissimilar irrigation to the factors of winter wheat yield or the water usage effective based on the traditional fertilization in the zone of wheat-maize production one year in Hebei province, involved A1(irrigate on the time of wheat jointing), A2(irrigate on the time of wheat jointing and booting), A3(irrigate on the time of wheat jointing, booting and filling). As a result, the A1 treatment reduced the kernels per spike and weight per kernels evidently, no distinction between A2 and A3 treatments; the A2 treatment has the highest WUE among A1, A2 and A3 treatment.

Key words: Winter wheat; Irrigation system; Factors of yield; WUE

长期以来, 我国小麦生产以获得最高产量为目标, 不计投入, 大水大肥, 不仅浪费了资源, 而且产投比很低。农民种植小麦收益不高。有关废水运筹对小麦品质和产量的影响, 前人已做了大量研究^[1-7]。但多是针对氮肥的投入施用对小麦籽粒品质和产量的影响。针对节水灌溉的研究鲜见报道。另外, 在冀中南山前平原小麦—玉米两熟区, 农业用水占总用水量的 70% 左右, 地下水位下降速度每年超过了 0.8 m^[8]。提高农田水分利用率, 是减少对地下水过度开采, 实现地下水采补平衡的有效途径, 也是目前实现节本高效农业的一项重要措施。本研究立足河北省山前平原区生产上传统施肥种类和施肥量, 通过春季不同浇水次数处理, 研究了灌水量对冬小麦籽粒产量构成要素及产量的影响和水分利用效率

(Water usage effective, WUE), 以期为小麦的节水生产提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验地基本情况

试验用地位于藁城市廉州镇系井村。土壤容重 1.44 g/cm³, 有机质 12.1 g/kg, 全氮 0.40 g/kg, 速效氮 57.00 mg/kg, 速效磷 8.00 mg/kg, 速效钾 72.00 mg/kg。前茬作物为玉米, 全部秸秆还田。

1.2 供试品种

藁优 9618。

1.3 试验设计

本研究试验设计包括 3 个处理, 春一水处理 (A1): 春后浇 1 次水 (起身拔节水); 春二水处理

收稿日期: 2007-05-01

基金项目: 国家粮食丰产科技工程项目 (2006BAD02A08)

作者简介: 张胜爱 (1965-), 女, 河北藁城人, 高级农艺师, 主要从事农业试验示范和农技推广工作

通讯作者: 李瑞奇 (1969-), 男, 硕士, 高级实验师, 主要从事棉花遗传育种研究。

(A2): 春后浇 2 次水(起身拔节水、孕穗水); 春三水处理(A3): 春后只浇 3 次水(起身拔节水、孕穗水、灌浆水)。每小区用地 0.1 亩, 3 次重复, 随机区组排列。

1.4 田间调查与测产

1.4.1 生育指标调查 调查办法: 采取定点调查, 每个处理选取有代表性的 3 个点, 每个点为 1 m³ 行。调查内容: 亩茎数、单株分蘖、单株大蘖、次生根、百苗鲜质量、百苗干质量等。

1.4.2 水分测定 在每个生育时期和每次浇水前后, 对土壤含水量进行了系统测定, 每个区测 3 个点, 取土深度针对不同时期的需要, 分别取至 30, 50 和 100 cm。全生育期搞好降雨量的记载。

1.4.3 测产与实收 成熟时采取 S 型取样, 每个处理 3 点, 每点区分别取 2 m² 进行测产与实收, 同时

考种。测产结果按 85% 折算。

1.5 田间管理措施

种子包衣, 适期播种, 播量 9.5 kg。足墒播种, 每亩底施磷酸二铵 25 kg、氯化钾肥 9 kg。结合起身拔节期灌溉每亩追施尿素 20 kg。小麦拔节前喷施除草剂, 抽穗期、灌浆初期(间隔 10 d) 2 次综合防治田间病虫害。其他管理措施与大田一致。

2 结果与分析

2.1 不同浇水次数对小麦生长发育的影响

结果表明(表 1), 小麦起身期之前, 小麦群体及个体的各项生长和生育指标在各处理之间基本相同。这是基于各处理在小麦起身期之前的水、肥等措施一致的原因。

表 1 小麦不同浇水次数试验苗情调查

Tab. 1 Growth parameters of wheat with different irrigation treatments

生育时期 Growing stage	调查指标 Parameter	A1	A2	A3	生育时期 Growing stage	调查指标 Parameter	A1	A2	A3
冬 前 Prowinter	基本苗/ 万	20	20	20	拔节期 Jointing	亩茎数/ 万	71. 3	72. 4	74. 2
	亩茎数/ 万	74. 8	70. 7	71		单株蘖/ 个	3. 8	4. 2	4. 2
	单株蘖/ 个	3. 4	3. 3	3. 4		单株次生根/ 条	21. 6	22. 7	23
	单株次生根/ 条	3. 83	3. 93	3. 87		百苗鲜质量/g	1254	1274	1389
	百苗鲜质量/g	110. 9	109. 3	112. 5	抽穗期 Ear emergence	百苗干质量/g	332. 7	356. 7	359. 8
	百苗干质量/g	41. 2	39. 8	41. 1		亩茎数/ 万	45. 8	46. 1	45. 9
起身期 Double ridge	亩茎数/ 万	111. 8	109. 7	113. 6		倒二叶面积/ cm ²	24. 1	27. 5	28. 4
	单株蘖/ 个	5. 9	6. 3	6. 3		旗叶面积/ cm ²	25. 4	29. 6	29. 0
	单株次生根/ 条	13. 9	12. 3	12. 9					

表 2 小麦不同浇水次数试验产量预测

Tab. 2 Yield components of wheat with different irrigation treatments

处 理 Treatment	株高 / cm Plant height	每穗小穗数 / 个 Spikelet per ear	有效小穗数 / 个 Grain-setting spikelet per ear	结实率 / % Grain-setting percentage	亩穗数/ 万 Ears per 667 m ² (10 ⁴)	穗粒数 / 个 Grains per ear	千粒重/g 1 000 grain weight	理论产量 / (kg/ 667m ²) Calculated yield	实产 / (kg/ 667m ²) Grain yield
A1	73. 7	17. 1	13. 8	80. 9	45. 8	29. 6	37. 2	428. 7	426. 7
A2	78. 0	18. 0	14. 8	82. 2	46. 1	32. 6	38. 9	495. 4	501. 7
A3	77. 0	17. 9	14. 9	82. 9	45. 9	34. 1	38. 4	510. 9	513. 0

抽穗后, 通过对 3 个处理的旗叶和倒二叶的叶面积测定得出: A2 和 A3 2 个处理的功能叶面积相近, 而 A1 处理的功能叶面积较低, 旗叶与倒二叶叶面积合计为 49. 5 cm², 较 A2 和 A3 2 个处理分别低 7. 6 cm² 和 7. 9 cm², 由此可见孕穗期浇水, 能有效地促进倒二叶和旗叶的生长。

2.2 不同浇水次数对小麦产量及产量构成因素的影响

结果表明(表 2), 不同浇水次数对小麦成熟时各项生育指标均有不同程度的影响。春一水处理的株高较春二水和春三水处理分别降低 4. 3 和 3. 3 cm; 小穗数分别减少 0. 9 个和 0. 8 个; 有效小穗数分

别减少 1. 0 个和 1. 1 个; 结实率分别降低 1. 3% 和 2%; 亩穗数分别减少 0. 3 万个和 0. 1 万个; 穗粒数分别减少 3. 0 个和 4. 5 个; 千粒重分别降低 1. 7 和 1. 2 g, 实测亩产分别降低 75. 0 和 86. 3 kg。

为了明确不同浇水次数对小麦产量的影响程度, 分别对小麦产量的构成要素亩穗数、穗粒数及千粒重和产量进行方差分析, 并对处理间差异显著的产量构成因素进行 SSR 显著性测验, 结果见表 3~表 9。

2.2.1 不同浇水次数对小麦亩穗数的影响 由表 3 得出, 春一水处理亩穗数为 45. 8 万, 春二水处理亩穗数为 46. 1 万, 春三水处理为 45. 9 万。经方差分

析(表 3), 处理间亩穗数差异不显著。

表 3 不同浇水次数处理对小麦穗数影响结果的方差分析

Tab.3 Varial analysis of ear number of wheat with different irrigation treatments

差异来源 Source of variance	自由度 DF	平方和 SS	均方 MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}	显著性 Significance
处理间 Treatment	2	0.14	0.07	0.35	0.718 173	5.143 253	不显著 ns
误差 Error	6	1.2	0.2				
总计 Total	8	1.34					

2.2.2 不同浇水次数对小麦穗粒数的影响 由表 3 得出, 春一水处理穗粒数为 29.6 粒, 春二水处理穗粒数为 32.5 粒, 春三水处理为 34.1 粒。春三水处理穗粒数比春一水处理多 4.5 粒, 比春二水处理多 1.5 粒; 春二水处理穗粒数比春一水处理多 3.0 粒。

方差分析(表 4)表明, 不同浇水次数对穗粒数的影响呈极显著差异。新复极差检验(表 5)表明, 春二水处理与春一水处理之间, 春三水处理与春一水处理之间的小麦穗粒数之间均存在极显著性差异, 而春二水处理和春三水处理之间差异不显著。

表 4 不同浇水次数处理对小麦穗粒数影响结果的方差分析

Tab.4 Variable analysis of grains per ear of wheat with different irrigation treatments

差异来源 Source of variance	自由度 DF	平方和 SS	均方 MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}	显著性 Significance
处理间 Treatment	2	31.498 9	15.749 4	25.96	5.14	10.92	极显著
误差 Error	6	3.639 6	0.606 6				very significant
总变异 Total	8	35.138 5					

2.2.3 不同浇水次数对小麦千粒重的影响 由表 3 得出, 小麦春一水处理的千粒重为 37.2 g, 春二水处理的千粒重为 38.9 g, 春三水处理的千粒重为 38.4 g。春三水处理的千粒重比春一水处理的多 1.2 g, 比春二水处理的少 0.5 g; 春二水处理的千粒重比春一水的多 1.7 g。经方差分析 F 检验(表 6)和

新复极差检验(表 7), 不同浇水次数对小麦千粒重的影响呈显著差异; 春二水处理和春三水处理的千粒重之间差异不显著, 春三水处理与春一水处理的千粒重之间呈显著性差异, 春二水处理与春一水处理的千粒重之间呈极显著性差异。

表 5 不同浇水次数处理对小麦穗粒数影响结果的差异显著性分析(SSR 检验)

Tab.5 Multiple comparison of grains per ear of wheat (SSR test)

试验处理区号 Treatment	各处理平均数 Mean	极差额 Difference		显著性 Significance	
		K= 2	K= 3	5%	1%
A3	34.10			a	A
A2	32.60	1.5		ab	AB
A1	29.60	3.00**	4.5**	c	C

表 6 不同浇水次数处理对小麦千粒重影响结果的方差分析

Tab.6 Variable analysis of 1000 grain weight of wheat with different irrigation treatments

变异来源 Source of variance	自由度 DF	平方和 SS	均方 MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}	显著性 Significant
处理间 Treatment	2	4.580 1	2.290 0	9.82	5.14	10.92	显著
误差 Error	6	1.400 4	0.233 4				
总变异 Total	8	5.980 0					

表 7 不同浇水次数处理对小麦千粒重影响结果的差异显著性分析(SSR 检验)

Tab.7 Multiple comparison of 1000 grain weight of wheat (SSR test)

试验处理区号 Treatment	各处理平均数 Mean	极差额 Difference		显著性 Significance	
		K= 2	K= 3	5%	1%
A2	38.90			a	A
A3	38.40	0.5		ab	AB
A1	27.20	1.20**	1.7**	c	C

2.2.4 不同浇水次数对小麦产量的影响 春三水处理亩测实产为 513 kg, 较春一水处理的亩产增

86.3 kg, 增产率为 20.2%, 比春二水处理的亩产增 11.3 kg。春二水处理的亩测实产为 501.7 kg, 较春

一水处理的亩产增 75 kg, 增产率为 17. 6%。方差分析(表 8)和 F 检验(表 9)表明, 不同浇水次数处理对小麦产量的影响呈极显著差异。春二水处理与春一

水处理、春三水处理与春一水处理的籽粒产量之间均呈极显著性差异, 而春二水处理和春三水处理的小麦产量之间无显著性差异。

表 8 不同浇水次数处理对小麦产量影响结果的方差分析

Tab. 8 Variable analysis of grain yield of wheat with different irrigation teatments

变异来源 Source of variance	自由度 DF	平方和 SS	均方 MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}	显著性 Significant
处理间 Treatment	1	11 556. 89	5 778. 44	55. 79	5. 14	10. 92	极显著
误差 Error	4	621. 50	103. 58				
总变异 Total	5	12 178. 39					

2.3 不同浇水次数的墒情变化分析

小麦播种前耕层土壤体积含水量为 34. 5%, 1 m 深土层内土壤体积含水量为 27. 4%。小麦越冬前降雨量达 119. 6 mm, 较上年 41. 2 mm 多 78. 4 mm, 较历年 49. 3 mm 多 70. 3 mm。由于墒情充足, 试区内没有浇封冻水。

试验区土壤耕层相对含水量基本接近, 以越冬前最高。浇春一水前(3 月 24 日)最低; 春二水后, A1 区土壤相对含水量已下降到了 55. 9%, A2 区和 A3 区相对含水量分别在 70% 以上。由于 2004 年 3 月 25 日至 4 月 28 日有几场零星降水, 总降水量为 25. 9 mm, 也为耕层土壤补充了少量的水份, 才使 A1 区的土壤相对含水量下降较为平缓。

从浇水时间及墒情基础分析看, 浇春二水前各

表 9 不同浇水次数处理对小麦产量影响结果的差异显著性分析(SSR 检验)

Tab. 9 Multiple comparion of grain yield of wheat (SSR test)

试验处理区号 Treatment	各处理平均数 Mean	极差额 Difference		显著性 Significance	
		K= 2	K= 3	5%	1%
A3	510. 8			a	A
A2	496. 3	14. 53		ab	AB
A1	428. 3	67. 7**	82. 2**	c	C

小麦全生育期因浇水次数不同, 耕层土壤储水量呈现不同的变化(图 1)。对处理的耕层土壤连续观测数据可以看出, 在小麦整个生育期春一水处理的土壤耕层储水量曲线有 1 个高峰, 春二水处理的

土壤耕层储水量曲线有 2 个高峰, 春三水处理的小麦土壤储水量受灌溉、降雨及小麦生长耗水的影响较大, 3 个处理的耕层土壤储水量也有一定的差距。

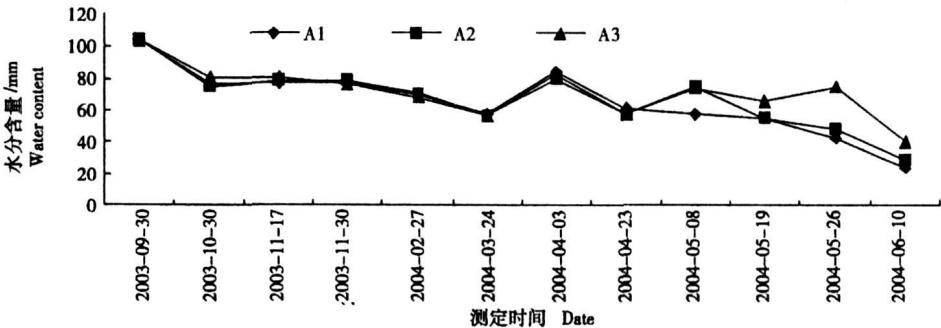


图 1 不同浇水次数耕层土壤含水量变化

Fig. 1 Soil water content in different trial plots

表 10 不同浇水次数处理的水分生产率

Tab. 10 Water productivity of different treatments

处理 Treatment	降水量 /mm Rainfall	有效降水量 /mm Effective	灌水量 /m ³ Irrigation	土壤供水量 /mm Soil water	籽粒产量 /(kg/667 m ²) Grain yield	水分生产率 /(kg/mm/667 m ²) Water productivity
A1	184. 2	154. 8	45	79. 53	426. 7	1. 08
A2	184. 2	154. 8	90	85. 03	501. 7	1. 10
A3	184. 2	154. 8	135	63. 00	513. 0	0. 99

2.4 不同浇水次数的水分利用效率分析

根据有效降雨量、小麦总浇水量、土壤供水量、

小麦产量四项数值进行测算得出(表 10), 春一水处理的水分生产率为 1. 08 kg/(mm•667 m²); 春二水处

理的水分生产率为 $1.1 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot 667 \text{ m}^2)$; 春三水处理的水分生产率为 $0.99 \text{ kg}/(\text{mm} \cdot 667 \text{ m}^2)$ 。以春二水处理的水分生产率最高。

3 讨论

小麦个体发育, 拔节期之前, 观察和测定的小麦个体发育指标和群体大小(亩穗数) 在 3 个处理之间差异不明显。这应该是在该生育阶段, 3 个处理之间的管理措施一致的原因。抽穗期, 春一水处理的旗叶和倒二叶的叶面积之和明显低于二、三水处理, 而二、三水之间基本一致。原因可能是春一水处理的水分亏缺影响了该叶片的生长发育。

小麦产量构成要素的影响, 春一水处理的小穗数、有效小穗数和结实率均明显低于二、三水处理, 而二、三水处理之间差异不显著。在产量要素上反映为春一水处理的穗粒数和千粒重均明显低于二、三水处理, 二、三水处理之间差异不显著。试验结果说明, 春一水处理在小麦小花分化期以后, 水分亏缺显著降低了小麦的穗分化效果和花器活力, 致使结实率降低, 穗粒数减少, 库容降低。同时, 生育后期的水分亏缺限制了营养体的生长, 功能叶面积减少, 表现为千粒重降低。这也说明, 在小麦库源关系上, 生育后期水分亏缺, 对“源”的影响大于对“库”的影响。

水分生产率, 本试验结果是春二水处理的水分生产率最高, 一水处理次之, 春三水处理最低。这与薛绪掌等^[9]的试验结果一致, 但与吴桥试验站常年研究结果有差别, 这可能是由于试验年灌浆早中期的持续高温对一水处理的影响大于二、三水处理。

春一水处理在灌浆期的光和物质合成明显下降, 从而降低了水分生产率。

综上所述, 在河北省山前平原区传统肥料运筹基础上, 冬小麦的春季灌溉以二水处理最为适宜。春二水处理(拔节水、孕穗水) 水分生产率最高, 小麦产量构成因素搭配合理。

参考文献:

- [1] 黄正来, 姚大年, 马传喜, 等. 氮素供应对不同类型小麦品种籽粒产量和品质形状的影响[J]. 安徽农业大学学报, 1999, 26(4): 414– 418.
- [2] 徐恒永, 赵振东, 刘爱峰, 等. 氮肥对优质专用小麦产量和品质的影响[J]. 山东农业科学, 2001(2): 13– 17.
- [3] 潘庆民, 于振文, 王月福, 等. 公顷产 9 000 kg 小麦氮素吸收分配的研究[J]. 作物学报, 1999, 25(5): 541– 547.
- [4] 王立秋, 靳占忠, 曹敬山, 等. 氮肥不同底追比例和时期对春小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 1996, 16(6): 45– 47.
- [5] 郜俊红, 廖祥政, 廖先静, 等. 灌水对强筋小麦品质及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(2): 258.
- [6] 蒋家慧, 韩伟, 衣先众, 等. 氮肥不同底追比例对强筋小麦籽粒品质和产量的影响[J]. 莱阳农学院学报, 2003, 20(2): 101– 103.
- [7] 季书勤, 郭瑞, 赵淑章, 等. 废水运筹对不同金磊小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(2): 130– 134.
- [8] 刘艳辉. 建设节水型农业的思考与对策[J]. 中国农业信息, 2005(01): 16– 17.
- [9] 薛绪掌, 王志敏. 全量基肥不同灌溉制度对小麦生长发育和耗水的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(2): 141– 146.