

## 不同补充灌水量对小麦产量和灌水利用的影响

武继承<sup>1</sup>, 杨永辉<sup>1</sup>, 贾延宇<sup>2</sup>, 王洪斌<sup>3</sup>, 管秀娟<sup>4</sup>

(1. 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002; 2. 河南师范大学 生命科学院, 河南 新乡 453007; 3. 西平县土肥利用管理站, 河南 西平 463900; 4. 昌乐县五图街道办事处, 山东 昌乐 262400)

**摘要:** 在河南省黄褐土区, 研究了不同生育时期不同补充灌水量(0、450、900、1350 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)对小麦产量和水分利用的影响。结果表明, 前期补灌水处理土壤水分亏缺比较严重, 20~40 cm 是土壤含水量的低谷区, 其次是 40~60 cm 层次; 合理补灌可以改善小麦群体动态, 成穗数较对照增加 1.65 万~69.9 万穗/hm<sup>2</sup>, 单株分蘖和单株成穗分别增加 0.12~1.16 个与 0.01~0.11 个; 灌水对株高、穗长、穗粒数的影响以前期灌水和前后中量灌水结合的处理表现较好。与对照相比, 灌水处理分别增产 2.54%~13.61%, 以拔节期、孕穗期分别灌 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 和拔节期 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 孕穗期 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 效果最佳。灌水时期则以拔节期 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 与孕穗期灌水相结合最好, 比对照增产 11.09%, 其次为拔节期灌水, 比对照增产 7.11%, 说明在小麦中高产区, 拔节期小麦的灌水量在降水偏丰年和平水年以灌 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 为宜, 后期减半或等量补充。灌水利用效率并非随产量的提高而提高, 以拔节期灌水 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 和拔节期灌水 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 两处理较好, 进一步说明在试验所在区域, 小麦灌水以拔节期为宜。

**关键词:** 冬小麦; 灌水; 生育期; 水分利用; 土壤水分

**中图分类号:** S512.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2011)01-0074-05

## Effect of Different Compensation Irrigation on Yield and Water-use-efficiency of Winter Wheat in Henan Province

WU Ji-cheng<sup>1</sup>, YANG Yong-hui<sup>1</sup>, JIA Yan-yu<sup>2</sup>, WANG Hong-bin<sup>3</sup>, GUAN Xiu-juan<sup>4</sup>

(1. Institute of Plant Nutrition and Resource Environment, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China; 3. Xiping Station of Soil and Fertilizer Utilization Management, Xiping 463900, China; 4. Wutu Subdistrict Office of Changle County, Changle 262400, China)

**Abstract:** The effect of compensation irrigation on the yield and water use efficiency of winter wheat in Henan province was studied. The results showed that the soil was obviously short of moisture when the irrigation was managed in the former stage, and the layer of 20—40 cm was the lowest one in all of the layers. The group dynamics, the volume of spikes per hectare and the tiller volume of single plant were improved under national compensative irrigation. The spike volume per ha, the tillers and spikes per plant were increased by 16500—699000, 0.12—1.16 and 0.01—0.11, respectively. For the effect of irrigation on plant height, spike length and spike grains, the combinative treatment of irrigation in the former stage and medium irrigation compensation in the latter were better. The wheat yield was increased by 2.54%—13.61% compared to control and the treatments, irrigation of

收稿日期: 2010-06-20

基金项目: 国家节水农业重点项目(2006AA100215); 河南省重大公益性科研项目(081100911500)

作者简介: 武继承(1965-), 男, 河南通许人, 研究员, 博士, 主要从事节水农业、土壤资源利用与管理等方面的研究。

E-mail: wujc2065@126.com

900 m<sup>3</sup>/ha at the elongation stage and of 450 m<sup>3</sup>/ha at the booting stage or separate irrigation of 900 m<sup>3</sup>/ha at the two stage were the highest. As to the growth period, irrigation at the elongation stage of 900 m<sup>3</sup>/ha combined with the booting stage was the best, with the yield increased by 11.09%, followed by irrigation at the elongation stage with the yield increased by 7.11%. All of these results demonstrated that the suitable irrigation volume was 900 m<sup>3</sup>/ha at the elongation stage and half or equal volume at the latter stage in high flow or normal flow year in high and medium yield production region. The water use efficiency was not increased with the yield, and the better treatments were irrigation of 450 m<sup>3</sup>/ha and 900 m<sup>3</sup>/ha at the elongation stage, which further stated that the best irrigation stage was elongation stage in the experimental area.

**Key words:** Winter wheat; Compensation irrigation; Growth stage; Water use efficiency; Soil moisture

水资源不足在很多地区已成为限制小麦生产的主要因素<sup>[1]</sup>。同时,受季风气候和降雨年份的影响,水资源时空分布不均,年降雨高峰期与作物需水期错位。因此,科学用水,提高水分利用效率,使有限的水资源发挥最大的经济效益,是当前迫切需要解决的一个重大问题。针对农作物生长发育不同阶段需水特点调控灌溉,是充分利用有限水资源,解决农业灌溉用水短缺矛盾的主要途径之一<sup>[1-3]</sup>,如何在不减产甚至增产的条件下减少灌溉定额,以提高灌溉效益,实现优质高产高效已成为我国小麦生产过程中的关键环节<sup>[2,4-5]</sup>。

已有研究表明,土壤水分胁迫对冬小麦产量构成要素有重要影响,起身期浇水主要增加穗数,拔节水可显著增加穗粒数,孕穗期或开花期浇水对提高千粒重有重要作用,但是在灌浆期浇水却使千粒重降低<sup>[3,6-8]</sup>。关于冬小麦需水临界期,从拔节到成熟期都有报道<sup>[9-13]</sup>。关于不同生育时期土壤水分胁迫对小麦的影响,有人强调底墒水,有人强调孕穗水<sup>[14]</sup>,也有人强调拔节水<sup>[3,6,8,11,15]</sup>,而程宪国等认为,冬小麦灌浆期灌50 mm的关键水较为重要<sup>[16]</sup>。彭世彰等认为,在作物整个生长发育期内,节水灌溉模式的作物需水量变化规律是由小变大,再由大变小<sup>[17]</sup>。鉴于此,特进行了生育期不同补灌量对小麦生长发育和灌水利用的影响研究,以为麦田管理和节水灌溉提供基础依据。

## 1 材料和方法

试验在西平县谭店乡大武庄村民责任田内进行;土壤质地为壤质黄土,前茬为玉米;基础土壤肥力为有机质 8.4 g/kg、速效氮 49.4 mg/kg、速效磷 12.5 mg/kg、速效钾 87.2 mg/kg。

试验安排 2 个灌溉时期、3 种灌溉水平,共计 16 个处理:(1)对照(不灌水);(2)拔节期灌溉 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(3)拔节期灌溉 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(4)拔节期灌溉 1350 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(5)孕穗期 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(6)孕穗期 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(7)孕穗期 1350 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(8)拔节期 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;孕穗期 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(9)拔节期

450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;孕穗期 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(10)拔节期 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;孕穗期 1350 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(11)拔节期 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;孕穗期 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(12)拔节期 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;孕穗期 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(13)拔节期 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;孕穗期 1350 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(14)拔节期 1350 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;孕穗期 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(15)拔节期 1350 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;孕穗期 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;(16)拔节期 1350 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;孕穗期 1350 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。随机区组设计,小区面积 3.6 m×4 m=14.4 m<sup>2</sup>,3 次重复。供试小麦品种郑麦 9023-8,播种量为 150 kg/hm<sup>2</sup>。试验所用氮肥为尿素,含 N 46%;磷肥为磷酸一铵,含 N 11%,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 44%;钾肥为氯化钾,含 K<sub>2</sub>O 60%。统一管理,统一进行除草剂除草及纹枯病、条锈病、红蜘蛛等药剂防治和植物生长调节剂——麦健等化控技术应用与管理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌水处理对土壤水分的影响

从表 1 可以看出,与基础土壤水分含量相比,不同处理 0~20 cm、20~40 cm、60~80 cm 和 80~100 cm 土层的含水量均有明显降低,说明受作物生长和降水补偿滞后的影响,土壤水分匮乏比较严重;但对于 40~60 cm 土层在灌水合理分配和灌水量大时,对土壤水分补给有积极效果,其中处理 5—处理 16 的土壤含水量高于基础土壤水分,处理 1—处理 4 的土壤含水量低于基础土壤水分。

同时,不同处理对土壤水分的影响受其产量、灌水等多因素的影响,具有明显的差异性。表层 0~10 cm 土壤水分含量只有处理 4 和处理 13 低于对照,其他灌水处理均高于对照,并以处理 16 最高;亚表层 10~20 cm 土壤水分含量只有处理 4、处理 13、处理 15 和处理 3 低于对照,其他灌水处理均高于对照,也以处理 16 最高;20~40 cm 灌水处理的土壤含水量均高于对照,以处理 14 最高;40~60 cm 只有处理 2、处理 3 的土壤含水量低于对照,其他灌水

处理均高于对照,也以处理 14 最高;60~80cm 只有处理 2、处理 3、处理 8、处理 4 的土壤含水量低于对照,其他灌水处理均高于对照,也以处理 14 最高;80~100cm 只有处理 3 的土壤含水量低于对照,其他灌水处理均高于对照,以处理 12 最高。

从总体上看,0~10 cm、10~20 cm 是水分活跃

层,20~40cm 处于所有土层土壤含水量的低谷区(水分亏缺层),其次是 40~60 cm 交替处于低谷区(水分次亏缺层),相对于其他层次,60~80 cm 受作物需水的影响(水分渐变层),变化也十分大,仅次于 40~60 cm 层。80 cm 以下层次(水分相对稳定层),水分相对较高,且平稳。

表 1 不同灌水处理对土壤水分的影响 %

处理	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm
1(CK)	13.44	14.05	11.21	12.69	14.29	14.58
2	14.04	14.50	11.94	11.16	13.15	14.78
3	13.57	13.20	11.74	12.43	13.70	14.37
4	12.50	12.12	12.07	13.50	14.13	14.88
5	15.02	15.24	14.52	15.14	14.81	14.92
6	14.57	14.69	13.05	14.04	14.54	15.44
7	13.75	15.01	13.52	14.69	14.93	15.21
8	13.65	14.41	13.57	14.86	14.09	15.32
9	14.14	14.87	13.98	14.37	14.52	14.75
10	13.78	14.48	13.95	14.17	15.02	15.32
11	13.80	15.09	13.95	14.67	15.16	14.97
12	13.76	14.61	14.08	15.02	15.23	15.87
13	13.26	12.89	13.75	14.16	15.06	15.69
14	15.24	14.68	14.83	15.55	15.66	15.56
15	14.65	12.89	13.16	14.93	15.59	15.25
16	15.22	15.79	14.53	14.48	15.13	15.22

注:播种前 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 层次的土壤水分含量分别为 15.94%、15.10%、13.87%、19.20%、18.87%。

2.2 不同灌水处理对小麦生长发育特征的影响

从表 2 可以看出,与对照相比,单位成穗数除处理 4、处理 12 外,所有处理均有不同的增加,分别增加 1.65 万~69.9 万穗/hm<sup>2</sup>,以处理 13 增加最多;单株分蘖除处理 2、处理 3 外,所有处理均有不同增加,分别增加 0.12~1.16 个,以处理 8 提高最多;单株成穗除处理 12 降低、处理 4 和处理 16 持平外,所有灌水处理分别比对照增加 0.01~0.11 个;分蘖成穗率以处理 2、处理 3 最高,分别达到 54.59%和 53.71%,其他均低于对照的 53.06%;说明其他处理的无效分蘖过多。越冬群体除处理 3 外,所有处理均高于对照,分别高 7.50 万~169.95 万个/hm<sup>2</sup>;最高群体除处理 3、处理 4 外,所有处理比对照分别提高 7.50 万~169.95 万个/hm<sup>2</sup>。总之,合理的补充灌水对改善小麦群体动态,提高单株成穗、单株分蘖、单位成穗数等具有积极效果。

从表 3 室内考种结果可以看出,灌水对株高、穗长、穗粒数的影响比较复杂,但总体上,以前期灌水和前后结合的中量灌水表现较好。其中穗粒数表现为处理 3、处理 4、处理 11、处理 8 比对照高 0.1~1.2 粒;穗长除处理 3 外,处理 8、处理 11、处理 15 持平,

其他处理均有所缩短;株高表现为处理 3、处理 5、处理 6、处理 7、处理 9、处理 10、处理 14、处理 15 分别比对照高 0.1~8.6 cm,以处理 7 增高最多;千粒重表现为后期灌水影响较大,处理 2、处理 4、处理 6、处理 10、处理 11、处理 13、处理 14、处理 15、处理 16 分别比对照增加 0.12~2.69 g,其他处理比对照低。

2.3 不同灌水处理对小麦产量的影响

从表 3 可以看出,不同灌水对小麦产量的影响因灌水量、灌水时期的不同而有明显差异。所有灌水处理分别较 CK 增产 2.54%~13.61%,并且以处理 12 和处理 11 增产效果最佳。若按生育期时段划分,则拔节期灌水平均比对照增产 7.11%,孕穗期灌水平均比对照增产 3.92%,拔节期 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>与孕穗期不同量的结合平均比对照增产 5.47%,拔节期 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>与孕穗期不同量的结合平均比对照增产 11.09%,拔节期 1350 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>与孕穗期不同量的结合平均比对照增产 5.08%,说明早期灌水对小麦的影响较大,合理的灌溉量再加上后期的补充灌溉对小麦增产更有利。因此,在小麦中高产区拔节期小麦的灌水量在降水偏丰年和平水年以灌 900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 为宜,后期减半或等量补充。

表 2 不同灌水处理对小麦群体动态变化的影响

处理	基本苗/ (万个/hm <sup>2</sup> )	越冬群体/ (万个/hm <sup>2</sup> )	最高群体/ (万个/hm <sup>2</sup> )	单株分蘖/ 个	单株成穗/ 个	分蘖成穗率/ %	穗数/ (万穗/hm <sup>2</sup> )
1(CK)	327.45	982.50	1285.05	3.92	2.08	53.06	680.10
2	330.00	990.00	1292.55	3.92	2.14	54.59	705.00
3	325.05	977.55	1270.05	3.91	2.10	53.71	682.50
4	315.00	1032.45	1272.45	4.04	2.08	51.49	654.15
5	322.50	1052.55	1384.95	4.29	2.12	49.42	685.05
6	332.55	1069.95	1442.55	4.34	2.12	48.84	705.00
7	340.05	1097.55	1502.55	4.42	2.09	47.29	709.95
8	340.05	1129.95	1725.00	5.07	2.17	42.80	736.65
9	330.00	1092.45	1422.45	4.31	2.12	49.19	699.15
10	337.50	1112.55	1620.00	4.80	2.11	43.96	711.75
11	325.05	1067.55	1382.55	4.25	2.12	49.89	689.25
12	319.95	1062.45	1305.00	4.08	2.06	50.49	660.00
13	342.45	1152.45	1740.00	5.08	2.19	43.11	750.00
14	327.45	1095.00	1435.05	4.38	2.13	48.63	695.85
15	337.50	1122.45	1650.00	4.89	2.17	44.38	730.80
16	327.45	1082.55	1399.95	4.28	2.08	48.60	681.75

表 3 不同灌水处理对小麦生长特征及产量的影响

处理	株高/cm	穗长/cm	穗粒数/粒	千粒重/g	小区产量/ kg	产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	比对照 增减/%	灌水利用率/ (kg/m <sup>3</sup> )
1(CK)	80.0	9.5	30.9	41.27	9.06	7549.95	—	—
2	79.0	9.1	30.2	41.63	9.67	8055.60	6.70	1.12
3	83.1	10.3	32.1	39.47	9.78	8152.80	7.98	0.67
4	79.4	9.2	32.0	41.97	9.66	8052.75	6.66	0.37
5	80.1	9.3	30.7	39.91	9.29	7741.65	2.54	0.43
6	83.9	8.9	30.2	43.01	9.56	7963.95	5.48	0.46
7	88.6	8.2	30.2	38.97	9.40	7833.30	3.75	0.21
8	77.6	9.5	31.4	40.09	9.66	8052.75	6.66	0.56
9	84.8	8.9	28.1	41.21	9.48	7902.75	4.67	0.26
10	83.2	9.2	28.5	41.39	9.52	7933.35	5.08	0.21
11	76.9	9.5	31.0	43.09	10.07	8391.60	11.15	0.62
12	79.6	9.0	30.9	39.87	10.29	8577.75	13.61	0.57
13	79.2	8.9	30.7	42.77	9.83	8191.65	8.50	0.29
14	83.2	9.1	29.3	43.96	9.48	7900.05	4.64	0.19
15	80.1	9.5	29.2	41.43	9.50	7919.40	4.89	0.16
16	76.0	9.0	30.1	43.64	9.58	7980.60	5.70	0.16

2.4 不同灌水处理对灌水利用率的影响

从表 3 可以看出,不同灌水处理对灌水利用率的影响因灌水量、灌水时期的不同而有明显差异,灌水利用率并非随产量的提高而提高,而是产量和灌水综合效应的体现,各处理表现为处理 2>处理 3>处理 11>处理 12>处理 8>处理 6>处理 5>处理 4>处理 13>处理 9>处理 7>处理 10>处理 14>处理 15>处理 16。进一步说明在降水偏丰年和平水年小麦中高产区小麦灌水以拔节期为宜,与前期旱作区的研究结果相一致<sup>[3,6]</sup>。

3 结果与讨论

1) 不同灌水处理对土壤水分的影响明显,前期灌水处理土壤亏缺比较严重;所有处理的 20~

40 cm 是土壤含水量的低谷区,其次是 40~60 cm 层次,80 cm 以下层次水分相对平稳。

2) 合理的补充灌水对改善小麦群体动态,提高单株成穗、单株分蘖、单位成穗数等具有积极效果。灌水处理越冬群体较对照提高 7.50 万~169.95 万个/hm<sup>2</sup>,单位成穗数增加 1.65 万~69.9 万穗/hm<sup>2</sup>,单株分蘖和单株成穗分别增加 0.12~1.16 个与 0.01~0.11 个,分蘖成穗率仅处理 2、处理 3 高于对照,说明其他处理的无效分蘖过多。

3) 室内考种结果表明,灌水对株高、穗长、穗粒数的影响以前期灌水和前后中量灌水结合的表现较好。

4) 灌水对小麦籽粒产量具有积极影响,灌水处理较对照分别增产 2.54%~13.61%,并以处理 12 和处理 11 增产效果最佳。生育期则以拔节期

900m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>与孕穗期灌水相结合最好,平均增产11.09%,其次为拔节期灌水,平均比对照增产7.11%,说明在小麦中高产区拔节期小麦的灌水量在降水偏丰年和平水年以灌900m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>为宜,后期减半或等量补充。

5) 不同灌水处理灌水利用效率并非随产量的提高而提高,而是产量和灌水综合效应的体现,表现为处理2>处理3>处理11>处理12>处理8>处理6>处理5>处理4>处理13>处理9>处理10>处理7>处理14>处理15>处理16。进一步说明在降水偏丰年和平水年,小麦中高产区小麦灌水以拔节期为宜。

#### 参考文献:

- [1] 许振柱,于振文,李晖,等. 限量灌水对冬小麦光合性能和水分利用的影响[J]. 华北农学报,1997,12(2):65-70.
- [2] 武继承,张长明,王志勇,等. 河南省降水资源高效利用技术研究与应用[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(3):152-155.
- [3] 武继承,王志和,徐建新. 河南省旱作节水农业建设的有效技术途径[M]. 郑州:黄河水利出版社,2006:81-116.
- [4] 贾秀领,蹇家利,马瑞昆,等. 高产冬小麦水分利用效率组分特征分析[J]. 作物学报,1999,25(3):309-314.
- [5] 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,2003,7(2):6-11.
- [6] 武继承. 农艺节水技术研究与应用[M]. 郑州:黄河水利出版社,2008.
- [7] 程俊,武继承,尚莉,等. 限量灌溉对冬小麦农艺性状与水分利用效率的影响[J]. 河南农业科学,2008(7):57-60,76.
- [8] 孔祥旋,杨占平,武继承,等. 限量灌溉对冬小麦产量和水分利用的影响[J]. 华北农学报,2005,20(5):64-66.
- [9] 武继承,朱鸿勋,杨占平. 不同水肥条件下旱地小麦水肥利用率研究[J]. 华北农学报,2003,18(4):95-98.
- [10] 武继承,杨永辉,郑惠玲,等. 不同水分条件对小麦—玉米两熟制作物生长和水分利用的影响[J]. 华北农学报,2010,25(1):126-130.
- [11] 夏国军,闫耀礼,程水明. 旱地冬小麦水分亏缺补偿效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2001,19(1):79-82.
- [12] 武继承,郑惠玲,史福刚,等. 不同水分条件下保水剂对小麦产量和水分利用的影响[J]. 华北农学报,2007,22(5):41-43.
- [13] 孙宏勇,张永强,张喜英,等. 华北平原冬小麦生长对水分胁迫的响应[J]. 华北农学报,2003,18(3):23-26.
- [14] 陈培元,李英. 限量灌溉对冬小麦抗旱增产和水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究,1992,10(1):4-53.
- [15] 孙宏勇,刘昌明,张永强,等. 不同时期干旱对冬小麦产量效应和耗水特性研究[J]. 灌溉排水学报,2003:13-16.
- [16] 程宪国,汪德水. 不同土壤水分条件对冬小麦生长及养分吸收的影响[J]. 中国农业科学,1996,29(4):67-74.
- [17] 彭世彰,朱成立. 作物节水灌溉需水规律研究[J]. 节水灌溉,2003(2):5-8.