

# 集雨补灌对旱地冬小麦产量和水分利用的影响

王 勇

(甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070)

**摘 要:** 试验结果表明: 集雨补灌显著提高了冬小麦产量和水分利用效率, 蒸腾速率增大。无论是干旱年份或正常年份, 集雨补灌的最佳时期均为拔节期, 此期补灌 12~24 mm, 较其它时期等量供水的供水效率提高 2~6 倍, 表现出需水关键期有限水分供给的高效性。

**关键词:** 集雨补灌; 旱地; 冬小麦; 水分利用

**中图分类号:** S273.1; S512.11

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2003)01-0104-02

## Effect of the Supplemental Irrigation of Harvested Rainwater on Dryland Winter Wheat Yield and Water Use

WANG Yong

(Dryland Farming Institute of Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The field test results showed that supplemental irrigation of harvested rainwater increased winter wheat yield and water use efficiency (WUE), as well as the rate of transpiration remarkably. No matter in dry years or regular years, the best period of irrigation was jointing period, then irrigating 12~24 mm in this period it could increase 2~6 times of WUE than in other period. It showed that the limited water supply in key period of water wanting was high efficient and effective.

**Key words:** supplemental irrigation of collected rain; dryland; winter wheat; water using

降水不足是旱农地区农业生产发展的主要制约因子, 虽然传统的土壤水分蓄保措施取得了长足发展, 但作物需水关键期仍摆脱不了干旱及水分不足的胁迫。通过集水工程的实施, 研究了有限水分对旱地冬小麦产量和水分利用效率的影响。

### 1 试验概况及方法

#### 1.1 试验概况

试验设在甘肃陇东旱塬(镇原县上肖乡), 年均降水 550 mm, 年平均温度 8.3℃, 海拔 1297 m, 干燥度 1.17, 年降水变率大, 7~9 月降水占全年降水量的 54.4%, 为典型的半湿润偏旱雨养农业区。

在两个试验年份中, 1995~1996 年度和 1996~1997 年度较历年(553.3 mm)同期降水分别减少 28.0%、9.0%, 属大旱年份和基本正常年份。1995~1996 年度播种前夏闲期(7~9 月)降水是历年的 63.3%, 播前 0~200 cm 土层平均含水量仅为 9.8%, 土壤底墒不足; 1996~1997 年度夏闲期降水与历年(300.9 mm)持平, 播前土壤贮水量高, 抽穗后降水占历年同期(101.7 mm)的 10.1%。

#### 1.2 材料与方法

试验均在冬小麦地膜覆盖基础上进行, 设起身(3 叶 1

心)、拔节(4 叶 1 心)、孕穗、抽穗生育阶段为 4 个供水时期, 主处理: 每个主处理设 0(CK)、6、12、24、36、48 mm, 6 个补灌量为副处理。裂区设计, 重复 3 次, 小区面积 11.25 m<sup>2</sup>, 品种为陇鉴 127。

土壤水分测定采用烘干称重法, 在冬小麦主要生育时期对不同处理 200 cm 土层进行土壤水分测定, 以 20 cm 土层为单位。

蒸腾速率用 LI-1600 稳态气孔仪在冬小麦不同生育时期补灌后进行植株活体测定, 测定部位抽穗前为最上部展开叶, 抽穗后测定旗叶。测定时间为 10:00~12:00。

采用地面移动式塑料软管加压滴灌, 用水表计灌水量, 在冬小麦不同生育时期一次或分次补灌。

### 2 结果与分析

#### 2.1 集雨补灌的增产效果

2 年试验结果(表 1)表明, 旱地地膜冬小麦集雨节灌增产效果明显。就各生育时期不同灌水量的增产效果而言, 随着灌水量的增加, 产量相应提高。不同供水时期, 以拔节期补灌产量最高, 增产幅度最大, 2 年产量分别为 3100.5 kg/hm<sup>2</sup> 和 4845.0 kg/hm<sup>2</sup>, 增产率为 57.1% 和 29.2%。其次,

\* 收稿日期: 2002-11-25

基金项目: 国家科技攻关项目(2001BA508B18)。

作者简介: 王勇(1964-), 男, 副研究员, 主要从事旱地作物栽培与耕作研究工作。

1995~ 1996 年起身、孕穗、抽穗期灌水分别增产 34 1%、26 5%、20 8%, 1996~ 1997 年孕穗、抽穗、起身期灌水分别增产 23 3%、21 6% 和 18 9%。2 年各生育时期平均灌水量从 12 mm 增加到 48 mm 时, 冬小麦产量由 3 151. 5 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 4 336. 5 kg/hm<sup>2</sup>, 增产幅度从 10 1% 上升到 51. 5%。更为重要的是无论干旱年还是平水年, 有限集雨在拔节期补灌比其它时期补灌均表现出较高的水分补偿效应, 2 年平均增产 38 8%, 而起身、孕穗、抽穗期补灌分别增产 24 1%、24 3%、21. 4%。拔节期一次供水 12, 24, 36, 48 mm 时, 1995~ 1996 年度的冬小麦产量较对照分别提高 18 2%、47. 9%、

62 1%、99 1%, 1996~ 1997 年度分别提高 20 0%、27. 1%、43 3% 和 48 4%。拔节期 2 年供水的平均较对照提高 19. 4%、34 3%、49 8%、66 2%。起身期一次供水 12, 24, 36, 48 mm 时较对照分别增产 7. 0%、14 2%、34 2%、53 3%, 孕穗期一次供水 12, 24, 36, 48 mm 时增产 8 7%、18 5%、34 8%、46 1%, 抽穗期一次供水 12, 24, 36, 48 mm 时增产 5 4%、18 2%、33 2%、40 4%。表明一定量的水分(12 mm, 24 mm)在拔节期补灌的增产产量是其它时期等量补灌的 2~ 4 倍, 展示出低量水分在作物关键期补灌的高效性。

表 1 不同时期集雨灌溉对地膜冬小麦产量的影响

灌溉时期	不同灌溉量的产量/(kg · hm <sup>-2</sup> )						较对照增产/%	
	0	6 mm	12 mm	24 mm	36 mm	48 mm		平均
1995~ 1996 年度								
起身	1974 0	-	2160 0	2320 5	2733 0	3375 5	2512 5b	34 1
拔节	1974 0	-	2334 0	2920 5	3199 5	3946 5	2875 5a	57. 1
孕穗	1974 0	-	2085 0	2386 5	2685 0	2830 5	2392 5c	26 5
抽穗	1974 0	-	2031 0	2214 0	2524 5	2767. 5	2302 5c	20 8
平均	1974 0d	-	2152 5d	2460 0c	2785 5b	3229 5a	-	-
1996~ 1997 年度								
起身	3750 5	3774 0	3963 0	4213 5	4950 0	5400 0	4341. 0a	18 9
拔节	3750 0	4020 0	4500 0	4765 5	5373 0	5565 0	4662 0a	29. 2
孕穗	3750 0	4006 5	4140 0	4404 0	5035 5	5533 5	4477. 5b	23 3
抽穗	3750 0	3886 5	4000 5	4549 5	5100 0	5269 5	4426 5b	21. 6
平均	3750 0e	3922 5e	4150 0					

注: 表中数据为 3 次重复平均值。

2 2 集雨补灌对地膜冬小麦WUE、IWUE 的影响

在试验设计范围内, 地膜冬小麦不同生育阶段各处理蒸腾蒸散量(耗水量)随一次补灌量的增大, 产量提高, 同时以耗水量和产量为基础的冬小麦水分利用效率(WUE)也表现出随灌水量增大而提高。干旱年不同补灌量在各生育时期的WUE 平均值以拔节期最高, 达 10 87 kg/(mm·hm<sup>2</sup>), 孕穗、起身、抽穗补灌WUE 分别为 9 24, 8 14, 7 95 kg/(mm·hm<sup>2</sup>), 较 CK (7 11 kg/(mm·hm<sup>2</sup>)) (分别增加52 9%、30 0%、14 5%、11 8%。正常年份WUE 仍为拔节期最大, 为 12 81 kg/(mm·hm<sup>2</sup>), 且拔节、孕穗、抽穗、起身补灌WUE 分别较 CK (10 71 kg/(mm·hm<sup>2</sup>)) 提高 19 6%、11 4%、8 6% 和 7 5%。同时 2 年的未供水处理WUE 明显低于补灌处理, 可能与土壤水分胁迫, 使冠层发育不良等有关。总之, 不论干旱年份还是正常年份, 在供水时期上WUE 均表现为拔节至孕穗期较大, 且以拔节期最大。试验结果还表明, 以集雨灌溉的增产量和一次补灌量的供水效率(I-WUE)与籽粒产量和WUE 变化趋势一致。供水量、供水时期对IWUE 有明显的影响, 以拔节期补灌IWUE 最大, 干旱年为 36 14 kg/mm, 正常年为 46 54 kg/mm。从不同补灌量来看, 干旱年随灌溉量的增加IWUE 增大, 正常年灌溉量在 36 mm 时, IWUE 最大, 为 37. 91 kg/mm。更重要的是在拔节期供给低量(12 24 mm)水分, 不论干旱年还是正常年, I-WUE 均较其它时期补灌增大 2~ 6 倍, 是高效补灌的适宜时期, 这对指导旱地地膜冬小麦集雨节灌具有重要意义。

2 3 地膜冬小麦集雨节灌土壤水分变化

地膜冬小麦在不同生育时期一次不等量供水后, 15~ 20 d 内表层及下层土壤含水随供水量的增加而提高。随着生育进程的渐进, 土壤含水量在不同土层发生较大的变化, 由于旱后供水的水分“跃迁”效应, 地面生物量增加, 总耗水增大。1996 年 6 月 30 日测定表明, 在各供水时期随着一次灌水量的增加, 土壤贮水依次降低, 即随着产量的提高, 耗水量增加。起身期当供水量从 12 mm 增加到 48 mm 时, 供水量增大 36 mm, 0~ 20 cm 土壤贮水降低 23 00 mm; 同样, 拔节、孕穗、抽穗期供水后, 土壤贮水分别降低 41 45, 53 77, 18 23 mm。这种差异在各时期土层的含水量垂直分布上表现较为明显, 起身期供水处理, 不同灌水量 0~ 40 cm 土层的含水量基本一致, 40~ 120 cm 各土层单位随着供水量的增加含水量降低, 即供水量为 12, 24, 36, 48 mm 时, 其平均含水量分别为 66 20, 62 10, 60 90, 61 00 g/kg, 120~ 200 cm 土层变化规律是, 供水量分别为 24, 36, 48 mm 时, 对土壤贮水的吸收利用较 CK 提高 3 2%、7 5%、11 7%。其它时期 0~ 200 cm 供水均有同样的趋势。两年度在拔节期补灌 48 mm 时, 收获期测定土壤水分的垂直分布具有以下关系式(式中 y 为土壤含水量, x 为土层单位):

干旱年
$$Y=31.50x^{0.216}$$
$$r=0.8103^{**}$$

正常年
$$Y=17.55x^{0.302}$$
$$r=0.9370^{**}$$

度, 因此容易产生比较强烈的土壤侵蚀。

表 5 不同轮作条件下产生的土壤侵蚀量

轮作顺序	1987	1988	1989	1990	1991	1995 年平均	与 CK 水平沟相比
1	53	4887	338	493	1230	1400	49.78
2	135	1301	628	745	2614	1085	61.10
3	42	411	813	1078	1244	718	74.26
4	157	235	405	519	1873	638	77.12
5	52	3187	1038	1345	1972	1519	45.52
6	57	620	2065	2160	1740	1328	52.35
7	133	5473	2102	2414	2998	2624	5.88
8	166	2840	2361	2998	1801	2033	27.07
9	331	3216	2291	2319	1759	1983	28.87
10	66	4621	4985	1800	2468	2788	
11	244	18872	6677	2973	2952	6344	

2.4 合理轮作模式的选择

农业种植模式的推广需要有广大农民的参与和支持, 农民是农业生态系统的原型经管人。没有农民出自内心的热情改善境遇, 就不会有任何持久的重大改良。鼓励农民采用较好的作物生产方法(包括作为其必然结果的较好的地上覆盖), 其结果不仅能够提高作物生产, 而且也能够做好水土保持工作, 这正是我们期望的目的所在。目前最大的困扰是从属于解决土壤侵蚀问题的现行农业制度, 如果不能将侵蚀控制在母质生成土壤基本速率的水平, 在这种情况下, 一个看参考文献:

[1] 卢宗凡, 等. 中国黄土高原生态农业[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997.

(上接第 105 页)

随年份不同, 同一灌水量, 0~ 200 cm 土层土壤水分的垂直分布有所差异, 但每一年份内同一灌水量不论在冬小麦任何生育期一次补灌, 到收获期土壤水分的垂直分布规律相似, 因此地膜冬小麦在不同生育期一次补灌后, 收获期的土壤有效水分均基本耗竭。

同时, 在冬小麦的总耗水量组成中, 干旱年份 0~ 200 cm 土层土壤供水随供水量的增加而增大, 起身期供水 12, 24, 36, 48 mm 时土壤供水分别较 CK 增加 2.01, 15.45, 18.99 和 25.10 mm, 依次占总耗水量的 15.7%、18.8%、18.9% 和 19.7%。正常年份同样表现出随灌水量增大土壤供水增加, 但土壤供水占总耗水的百分率比干旱年份高出近一倍, 这与播前土壤贮水有关(1996~ 1997 年度 0~ 200 cm 土层播前土壤平均含水量较 1995~ 1996 年度高出 46.5 g/kg), 同时与降水分布特征有密切联系。正常年份降水基本满足作物阶段生长发育的需要, 冠层发育与光合同化产物积累分配正常, 促进土壤水分的吸收运转。

2.4 集雨补灌提高了地膜冬小麦蒸腾速率

旱地农田土壤水分的消耗主要有两个途径: 一是土壤水分的无效消耗, 二是可以带来干物质累积的有效消耗, 即作物蒸腾用水。研究结果表明, 冬小麦田土壤水分的无效消耗可以通过全生育期地膜覆盖穴播技术大大减轻, 使土壤水分

参考文献:

[1] 李凤民, 等. 黄土高原半干旱地区春小麦农田有限灌溉对策初探[J]. 应用生态学报, 1995, 6(3): 259- 264  
[2] 高世铭, 等. 半干旱区春小麦水分亏缺补偿效应研究[J]. 西北植物学报, 1995, 15(8): 32- 39

来暗淡的前景是, 土壤表土或根层土壤或快或慢的流失, 而对土地的需要却在不断增加, 矛盾的冲突和恶化必将给当地的环境带来灾难。近年来有关混农林业, 复合农业, 生态农业以及农业可持续性发展等方面的研究都证实, 农民参与项目实施的积极性是当地开发与治理的关键。而农民参与开发的积极性是与其所能够获得的经济收入是直接相关的, 即与农产品的产值大小有直接的关系。因此, 在考虑农业种植模式生态效益的基础上, 应该把这种种植模式所能够产生的经济效益纳入选择种植模式的评价因子体系当中。

通过对不同轮作方式作物的产量、产值、地表径流量和土壤侵蚀量等项目的比较分析可以发现, 4, 3, 2 三种轮作方式, 即谷子 黑豆 糜子 马铃薯 黄豆; 黑豆 春播荞麦 黑豆 谷子 黑豆; 和黄豆 谷子 春播荞麦 黄豆 谷子 三种轮作方式具有良好的经济效益和生态效益, 是一种合理的, 值得推广的种植模式。在各种不同的作物中, 黑豆、春播荞麦和谷子等农作物不仅具有较高的经济效益水平, 同时对土壤侵蚀量的减少具有较为明显的效果。因此, 根据不同作物的特点, 选择合理的作物种类进行轮作, 既可以带来较高的经济收益, 同时又可以较好的发挥其水土保持效益, 使二者达到和谐统一。

无效消耗由占总耗水量的 55.98% 下降到 46.73%, 降低 9.25 个百分点。因此, 衡量有效消耗的水分利用效率也显著提高, 这主要是提高了蒸腾用水比率。进一步深入研究集雨补灌后作物有效用水变化表明, 集雨补灌提高土壤水分利用效率的关键是提高了蒸腾速率。干旱年份在地膜冬小麦灌浆期测定各补灌时期及每一时期不同补灌量蒸腾速率的结果表明, 随着一次补灌量的增加, 蒸腾速率明显提高。拔节期当补灌量为 12, 24, 36, 48 mm 时, 其蒸腾速率分别为 6.36, 6.64, 6.84, 7.35  $\mu\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ , 较不补灌蒸腾速率(5.05  $\mu\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ) 提高 25.94%、31.48%、35.45%、45.54%; 从每一时期各供水量的平均值来看, 以拔节期最大, 在拔节期 24 mm 灌水量较其它时期补灌蒸腾速率提高 0.31~ 1.06  $\mu\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。正常年份冬小麦扬花期测定灌水量 24 mm 处理, 拔节期蒸腾速率 3.41  $\mu\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$  较其它时期提高 0.04~ 0.11  $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 。

3 结 论

旱地冬小麦集雨节灌具有显著的增产效果, 最佳补灌时期为拔节期, 其次为孕穗期。不同生育期补灌, 随供水量增大 WUE 提高。在拔节期 12, 24 mm 的低量供水较其它时期补灌 WUE 提高 2~ 6 倍, 表现出有限水分在作物需水关键期补灌的高效性。