

## 喷灌对冬小麦水分利用的影响

宫飞 陈阜 杨晓光

(中国农业大学作物学院)

苑丽娟

(农业部农垦管理干部学院)

**摘要** 华北平原的冬小麦应用喷灌与常规畦灌相比,有明显改善灌溉水利用效率的作用。其主要原因在于: 1)喷灌尽管每次灌水量较少,但其土壤贮水量的下降速率明显低于畦灌; 2)喷灌使灌溉水大部分集中于0~ 60 cm 土层,有利于冬小麦的水分利用; 3)喷灌可以在不降低光合的前提下减小作物的蒸腾速率,在喷灌的各生育期间作物耗水量较畦灌减少,耗水强度也相对较小; 4)喷灌可以在产量基本不减或稍有提高的情况下节约大量灌溉水,从而提高作物对灌溉水的利用效率。

**关键词** 冬小麦; 喷灌; 畦灌; 水分利用

中图分类号 S275.5

## Effects of Sprinkle Irrigation on Water Use of Winter Wheat

Gong Fei Chen Fu Yang Xiaoguang

(College of Crop Science, CAU)

Yuan Lijuan

(Cadre College of Agricultural Cultivation Management, Ministry of Agriculture)

**Abstract** Compared with border irrigation, sprinkle irrigation could improve WUE of winter wheat in Hua-Bei plain. The main reasons concluded as below: 1) Although less water was applied with sprinkle irrigation than border irrigation, the decrease soil moisture pool was obviously slower than that of border irrigation. 2) Sprinkler irrigation concentrated water mostly in the soil layers of 0~ 60 cm, which was accessible to winter wheat. 3) The transpiration rate in sprinkler irrigation treatment was lower while photosynthesis rate was not decreased, and water consumption of sprinkler irrigation and intensity were less than that of border irrigation in different growing period. 4) Sprinkle irrigation could save plenty of irrigation water while yield was not decreased or even increased slightly, so sprinkler irrigation could improve WUE and WUE.

**Key words** winter wheat; sprinkle irrigation; border irrigation, water use

近年来,喷灌作为工程节水的主要形式,在华北平原地区得到重视并迅速发展。对于喷灌的节水效果已为大量研究和实践所证明<sup>[1,2]</sup>,而应用喷灌对农田土壤水分分布及作物水分利用影响等方面的研究较少<sup>[3,4]</sup>。农田土壤水分利用状况是影响作物生长发育及产量形成的关键因素<sup>[5,6]</sup>,探讨喷灌对冬小麦农田土壤水分分布状况及水分利用率对喷灌的应用理论及生产实践都有重要意义。为此,我们于1998—1999年在河北省藁城进行了冬小麦喷灌对农田水分利用影响的定位试验研究。

收稿日期: 2001-03-02

本课题为国家九五攻关专题资助项目(98-015-01-04)

陈阜,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094



## 1 材料与方法

### 1.1 试验地区域背景

本试验于 1998—1999 年在中国农业大学藁城试验站进行。该地区属温带大陆性气候, 太阳年辐射总量  $530 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 年日照  $2\ 710 \text{ h}$ , 多年平均降水量  $494 \text{ mm}$ 。可利用水资源以地下水为主, 近年地下水水位为  $26 \text{ m}$  左右。土壤为轻壤质石灰性褐土。试验地土壤有机质含量为  $1.08\%$ , 全氮  $0.071\%$ , 碱解氮  $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $8.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 土壤容重为  $1.43$ 。

### 1.2 材料与方法

在冬小麦全生育期内, 利用北京核业超能科技有限公司生产的 CNC503DR 智能中子水分仪测定不同灌溉方式条件下  $0 \sim 170 \text{ cm}$  土壤含水量的动态变化, 其中  $0 \sim 30 \text{ cm}$  土层含水量由于用中子仪测定误差较大, 采用土钻法加以订正。每  $5 \text{ d}$  测定一次, 并于降水前后、灌溉前后加测。  $100 \text{ cm}$  以内土层每  $10 \text{ cm}$  为一个测定层次,  $100 \text{ cm}$  以下土层每  $20 \text{ cm}$  为一个测定层次。利用美国 CD 公司生产的 CF-301CO<sub>2</sub> 系统分析仪, 选择晴朗天气测定不同处理叶片的光合速率及蒸腾速率。农田灌水量用水表测定灌水方数, 再折算成  $\text{mm}$ 。在试验站用雨量筒测定冬小麦全生育期降水量。

试验处理见表 1。采用大区试验, 喷灌处理地块面积为  $0.26 \text{ hm}^2$ , 畦灌处理地块面积为  $0.35 \text{ hm}^2$ , 重复 3 次取样和测定。冬小麦供试品种为石 4185, 1998-10-07 播种, 基本苗 30 万。冬小麦全生育期共降水  $62.3 \text{ mm}$ 。

表 1 冬小麦不同处理的灌水量

/mm, 1998—1999

| 灌溉方式 | 底墒水<br>10-04 | 拔节水<br>04-04 | 抽穗水<br>05-04 | 灌浆水<br>05-15 | 灌水总量   |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| 喷灌   | 21.77        | 37.97        | 40.62        | 45.21        | 145.59 |
| 畦灌   | 60.24        | 82.83        | 81.58        | 90.36        | 315.02 |

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌溉方式土壤贮水量比较

比较冬小麦全生育期  $0 \sim 170 \text{ cm}$  土壤贮水量变化动态(图 1)可以看出, 冬小麦全生育期内不同灌溉方式土壤贮水量总的变化趋势基本一致, 但不同生育期土壤贮水量下降速率有明显差异。经计算, 在冬小麦越冬期、拔节期、抽穗期及灌浆期, 喷灌处理的土壤贮水量的每日下降速率分别为  $1.87, 8.43, 12.02, 3.35 \text{ mm}$ , 畦灌处理分别为  $2.30, 8.75, 18.23$

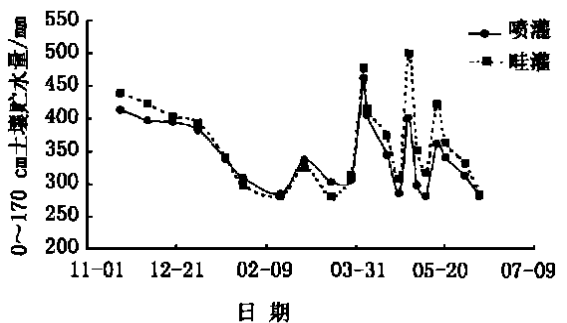


图 1 不同灌溉方式冬小麦全生育期土壤贮水量变化动态(1998—1999)

和 5.72 mm。两种处理的土壤贮水量下降速率均为越冬期最小,抽穗期最大,但畦灌处理土壤贮水量下降速率均大于喷灌处理,各生育期分别为喷灌的 1.04~ 1.71 倍。另外,每次灌水后,由于畦灌灌水量大,其土壤贮水量远较喷灌为高。但一段时间后,两种处理的土壤贮水量趋于一致。例如在抽穗期,灌水后测定,两种处理土壤贮水量相差 97.94 mm,但 10 d 后仅相差 35.82 mm;在灌浆期灌水后,两种处理土壤贮水量相差 59.77 mm,但 15 d 后仅相差 18.19 mm。可见尽管畦灌灌水量较高,但并不能将土壤贮水量长期保持在相对很高水平。

### 2.2 不同灌溉方式 0~ 30 cm 及 0~ 60 cm 土层土壤含水量变化状况

冬小麦根系主要分布在 0~ 30 cm 土层,而 0~ 60 cm 土层是冬小麦的主要用水层,该层土壤含水量直接影响冬小麦的生长发育<sup>[7]</sup>。比较不同灌溉处理 0~ 30 cm 及 0~ 60 cm 土层土壤平均含水量变化动态(图 2, 3)可以看出,灌溉后畦灌 0~ 30 cm 及 0~ 60 cm 土层田间土壤含水量较大,持续几天后,喷灌处理 0~ 30 cm 及 0~ 60 cm 土层土壤含水量反而多于畦灌。这可能是由于畦灌的灌水量大,田间土壤蒸发量也相对较大造成的。另外,从冬小麦拔节期灌水后(1999-04-07) 0~ 170 cm 土壤含水量状况(图 4)可以看出,灌后 0~ 30 cm 及 0~ 60 cm 土层土壤含水量喷灌处理明显大于畦灌处理,而下层土壤含水量则以畦灌处理为高。

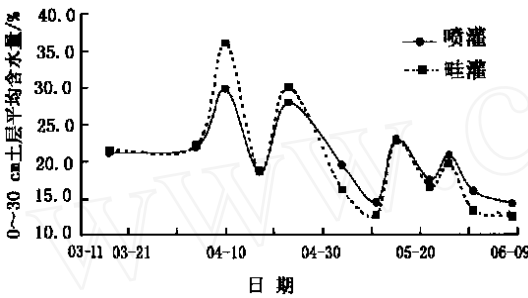


图 2 不同灌溉方式冬小麦 0~ 30 cm 土层土壤含水量变化动态(1999)

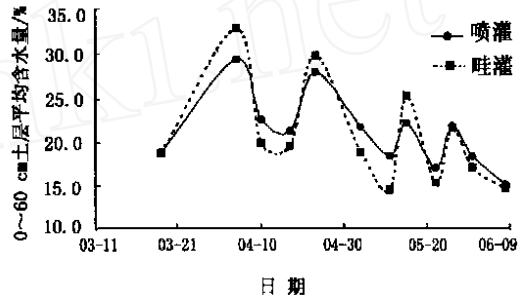


图 3 不同灌溉方式冬小麦 0~ 60 cm 土层土壤含水量变化动态(1999)

这表明,喷灌可使其水分更多地分布于土壤上层(冬小麦主要用水层),畦灌灌溉水则在土壤下层富集。冬小麦主要用水层土壤含水量的差异必然会导致冬小麦的根部发育产生不同的生长趋向,而这又将转而影响冬小麦的生长发育<sup>[8]</sup>。因此,从这一角度来看,喷灌对提高水分利用效率是有利的。

### 2.3 冬小麦不同生育时期水分利用状况

从冬小麦不同时期内两种处理的灌溉水、降水、土壤补水及作物耗水构成状况(表 2)可以看出,在冬小麦全生育期,喷灌的灌溉量较小,仅为畦灌灌溉量的 46.2%,而土壤水补给量较多,较畦灌多出 40.8 mm,但最终作物耗水量以喷灌处理为小,较畦灌少 128.63 mm,为畦灌的 75.7%。另外,从耗水强度上来看,两种处理有着同样的趋势,即以拔节至抽穗期耗

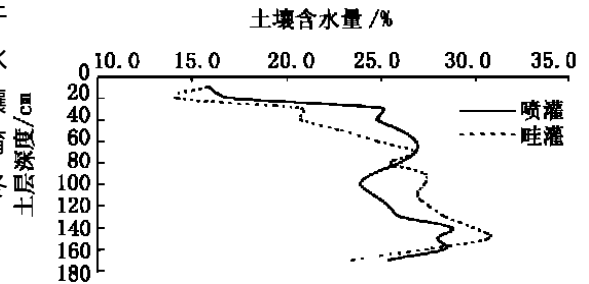


图 4 冬小麦灌溉后 0~ 170 cm 土层土壤含水量状况(1999-04-07)

水较多,较畦灌多出 40.8 mm,但最终作物耗水量以喷灌处理为小,较畦灌少 128.63 mm,为畦灌的 75.7%。另外,从耗水强度上来看,两种处理有着同样的趋势,即以拔节至抽穗期耗

水强度最大, 播种至返青期最小。但畦灌的耗水强度在冬小麦各生育时期一直大于喷灌, 约为喷灌的 1.2~ 1.6 倍。这表明, 喷灌可以适当降低耗水强度, 对有效利用土壤贮水和降低作物耗水有较明显作用。

表 2 冬小麦不同生育时期水分利用状况

| 项 目                        | 灌溉方式 | 冬前—返青  | 返青—拔节  | 拔节—抽穗  | 抽穗—成熟  | 全生育期   |
|----------------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 降水/mm                      |      | 10.5   | 1.8    | 16.6   | 33.4   | 62.3   |
| 灌水总量/mm                    | 喷灌   | 21.77  | 37.97  | 40.62  | 45.21  | 145.59 |
|                            | 畦灌   | 60.24  | 82.83  | 81.58  | 90.36  | 315.02 |
| 土壤水补给量/mm                  | 喷灌   | 58.05  | 24.16  | 35.26  | 77.34  | 194.8  |
|                            | 畦灌   | 45.89  | 19.1   | 27.87  | 61.14  | 154    |
| 作物耗水量/mm                   | 喷灌   | 90.32  | 63.93  | 92.48  | 155.95 | 402.69 |
|                            | 畦灌   | 116.63 | 103.73 | 126.05 | 184.9  | 531.32 |
| 耗水强度/(mm·d <sup>-1</sup> ) | 喷灌   | 0.63   | 1.60   | 4.40   | 3.18   | 1.59   |
|                            | 畦灌   | 0.82   | 2.59   | 6.00   | 3.77   | 2.10   |

2.4 不同灌溉方式的光合速率及蒸腾速率

叶片的水分利用效率由叶片的光合强度与蒸腾强度决定。从冬小麦在不同灌溉方式下灌水 3 d 后全天的光合速率变化曲线(图 5)可以看出, 喷灌处理的光合速率一直略大于畦灌处理, 表明冬小麦喷灌的同化作用能力较强。而且比较二种灌溉方式的灌水 3 d 后全天的蒸腾速率(图 6)可以看出, 喷灌处理的蒸腾速率一直低于畦灌处理, 尤其是中午前后二者的差异更为明显。这也是喷灌田间耗水量较小的一个原因。根据气孔的最优化调控理论, 作物气孔对其张度的调节, 使作物叶片光合作用保持在一定的水平, 光合与蒸腾的比值达最高, 达到不减弱光合作用的前提下降低蒸腾速率的目的<sup>[9,10]</sup>。据本试验测定, 在冬小麦灌水后 3 d, 喷灌全天内的气孔阻力均大于畦灌, 平均约为畦灌的 1.13 倍, 从而导致叶片蒸腾速率降低。可见, 喷灌在光合速率不降低的条件下降低蒸腾速率, 有利于作物同化物的积累和生长发育, 具有一定的实际意义。

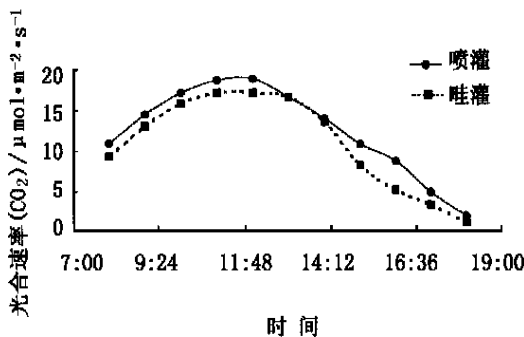


图 5 冬小麦灌后 3 d 光合速率日变化(05-22)

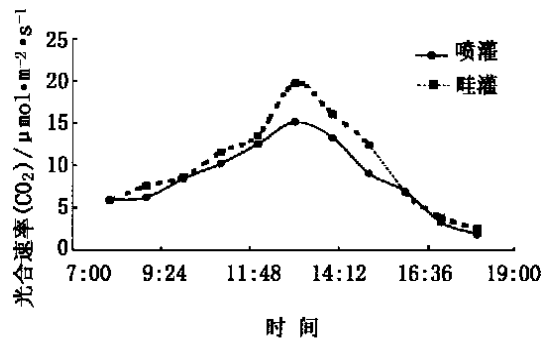


图 6 冬小麦灌后 3 d 蒸腾速率日变化(05-22)

## 2.5 不同灌溉方式的水分利用效率

比较冬小麦不同处理的群体水分利用效率(表3)看出,喷灌方式下的冬小麦产量比畦灌高出14.8%,但其作物耗水量仅为畦灌的75.8%,水分利用效率高出51.5%,灌溉水利用效率高出148.6%。喷灌水分利用率及灌溉水利用率较高的主要原因在于其作物耗水量较少,而产量基本不减甚至略有提高。可见,采用喷灌可以在不减产的基础上,节约灌溉用水,较大幅度提高水分利用效率,这对缺水状况日益严重的华北平原地区有着十分重要的意义。

表3 冬小麦不同灌溉方式的水分利用效率

| 灌溉方式 | 土壤水补给量/mm | 降水/mm | 灌溉水/mm | 作物耗水量/mm | 产量/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 水分利用效率/(kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup> ) | 灌溉水效率 |
|------|-----------|-------|--------|----------|---------------------------|---|-------|
| 喷灌   | 194.8     | 62.3  | 145.57 | 402.69   | 8785                      | 21.82   | 60.35 |
| 畦灌   | 154.0     | 62.3  | 315.01 | 531.32   | 7650                      | 14.40   | 24.28 |

## 3 结论与讨论

1) 与畦灌相比,喷灌灌水量较少,但其土壤贮水量下降速率却较慢,以致在灌水后一段时间内土壤贮水量与畦灌相差无几。这与喷灌灌水量较少,使田间蒸发量较少和深层渗漏较少等因素有关。

2) 喷灌可以使灌溉水更多地集中在0~30 cm和0~60 cm土层富集,造成喷灌处理的土壤上层含水量较高,有利于根系对灌溉水的利用、吸收,从而对提高灌溉水分利用效率有积极作用。

3) 喷灌的灌溉量较少,但对土壤补给水的应用较多,且相应的作物耗水量较少。另外,喷灌可以在不降低光合的前提下减弱作物的蒸腾速率,从而有利于作物同化物的积累并降低田间耗水量。

4) 合理利用喷灌,可以在不减产甚至产量略有提高的基础上,对提高农田作物水分利用效率有明显效果,值得在冬小麦灌区进行推广应用。

## 参 考 文 献

- 1 胡毓骥,李英能 华北地区节水型农业技术 北京:中国农业科技出版社,1995
- 2 贾大林,司徒淞 节水农业与区域治理 北京:中国农业科技出版社,1992
- 3 谢森传,惠士博 高产高效冬小麦节水喷灌模式研究 灌溉排水,1996,(4):14~18
- 4 Pereira L S, Liang R J, Musy A, et al Water and soil management for sustainable agricultural development in the Huang-Huai-Hai River Plain in north China Published by Lisboa, Departamento de Agronomia, Portugal 1998, 304~361
- 5 梁银丽,康绍忠 节水灌溉对冬小麦光合速率和产量的影响 西北农业大学学报,1998,(4):17~19
- 6 居辉,兰霞,李建民等 不同灌溉制度下冬小麦产量效应与耗水特征研究 中国农业大学学报,2000,(5):23~29
- 7 王同朝,卫丽,吴克宁,等 小麦根系对水分亏缺的生物学响应 河南农业大学学报,2000,23(3):17~21
- 8 许振柱,李长荣,陈平等 土壤干旱对冬小麦生理特性和干物质积累的影响 干旱地区农业研究,2000,18(3):113~123
- 9 王焘 干旱-正常供水条件下小麦光合午休及其机理的研究 华北农学报,1997,12(4):48~51
- 10 赵明 玉米不同基因型气孔阻力的变化及其与光合、蒸腾作用的关系 华北农学报,1997,12(4):68~71