

北京地区冬小麦渗灌技术节水高产综合效益研究

冯利平

巴比江

甄文超

宋秉彝

(中国农业大学资源与环境学院)

(河北农业大学)

(北京市农业科学院)

摘要 根据 1997-09—2000-06 在北京市昌平区北郊农场进行的冬小麦渗灌技术试验资料及调查资料,研究了渗灌对冬小麦产量构成及最终产量的影响,渗灌技术的节水效益和经济效益。结果表明,渗灌比喷灌平均增产 9.5%,比旱地增产 62.3%,产量结构中以渗灌千粒重表现最高。小麦生长期内农田总耗水量喷灌最大,渗灌次之,旱地最小。渗灌可明显提高冬小麦水分利用效率,渗灌处理水分利用效率平均为 $13.25 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$,是喷灌处理的 1.35 倍。3 年平均渗灌比喷灌节水 43.9%。渗灌年净效益比喷灌多 $976.6 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$,增加 20.91%。渗灌具有节省开支,产投比提高的特点,作为一种新型的灌溉方式,在小麦上应用具有节水增产和明显的经济效益。

关键词 冬小麦; 渗灌; 节水高产; 经济效益

中图分类号 S511.11; S275.45; F304.7

Study on the Comprehensive Benefits of Water-saving and Yield-increasing of Seeping Irrigation for Winter Wheat in Beijing

Feng Liping Batur

(College of Natural Resources and Environment Sciences, CAU)

Zhen Wenchao

(Hebei Agricultural University)

Song Bingyi

(Beijing Academy of Agricultural Sciences)

Abstract The effects of seeping irrigation on yield components and final yields, water-saving benefit and economic benefit were studied based on the data from field experiments with two treatments, seeping irrigation and sprinkler irrigation in winter wheat field, reduced irrigation as the control, in Beijing from Sept. 1997 to June 2000, and the data from a survey. The results showed: The yield in seeping irrigation was increased by 9.5% and 62.3% in average compared with sprinkler and reduced irrigation. The thousand-grain weight in seeping irrigation was the highest. The total field water consumption in sprinkler irrigation was the highest during wheat growth, the next was in seeping irrigation, and the reduced irrigation was the least. The seeping irrigation could obviously increase the water utilization efficiency (WUE). The average WUE in seeping irrigation treatment was $13.25 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$. It was 1.35 times that in sprinkler irrigation. During the period of three years, seeping irrigation could save water 43.9% average across years compared with sprinkler irrigation. The Net benefit of seeping has increased $976.6 \text{ yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$ as compared

收稿日期: 2001-03-15

北京市农委“北京地区农田渗灌技术节水高产研究”项目及国家科技部“北京市水资源可持续利用的经济研究”项目资助

冯利平,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

with that in sprinkler irrigation and was increased by 20.91%. Also, seeping irrigation reduced the costs and had high output-input ratio. As a new type of irrigation, seeping technology has the effective water-use, yield-increasing and good benefit.

Key words winter wheat field; seeping irrigation; water-saving; yield-increasing; economic benefit

20世纪70年代,北京由于水资源不足和人为的影响,进入了缺水城市行列。近年来随着工农业生产的快速发展和人口不断增加及人民生活用水的不断提高,北京地区水资源紧张的形势日趋严重,水资源不足已成为首都发展的重要制约因素。北京地区的水资源人均占有量不足 300 m^3 ,仅为我国人均占有水资源量的 $1/8$,为世界人均占有水资源量的 $1/30$ 。全市每年用水约40亿 m^3 ,其中农业是用水大户,用水量占到50%左右。北京地区粮食生产以小麦、玉米一年两作为主,每年冬小麦灌溉用水近10亿 m^3 ,占全市总用水量的25%,占农业用水的50%多,干旱年份就更多。而且很多地块灌溉技术落后,灌溉用水大量浪费。因此,冬小麦的灌溉用水是整个北京市用水的重中之重,研究冬小麦的节水灌溉具有非常重要的意义。

渗灌技术是继喷灌、滴灌之后的又一新型节水灌溉技术。它是将水增压,通过低压管道送达渗水器(毛细渗水管、瓦管、陶管等),缓慢地把水分及可溶性的肥料、药物直接输送到作物根部附近,使作物主要根区的土壤经常保持最优含水状况。本研究采用渗灌和北京地区较多的喷灌方式,并以旱地为对照,研究了渗灌方式下冬小麦生产及节水效益,分析渗灌灌溉技术的经济效益,为北京地区和全国同类地区农业节水灌溉的进一步发展提供理论依据。

1 材料与方 法

试验于1997-09—2000-06在北京市昌平区史各庄乡北郊农场试验地进行。该试区属华北北部的山前冲积平原区,为暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候。试验地面积 1.8 hm^2 ,其中渗灌地块 1.1 hm^2 ,喷灌地块 0.7 hm^2 ,旱地地块1997—1998年度为 150 m^2 ,1998—2000年度为 681.5 m^2 。试验地地下水位深 10.5 m 。土壤质地以中壤为主。试验地基本肥力状况为:有机质 1.35% ,全氮 0.0795% ,碱解氮 $78.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $11.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $95.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。0~200 cm土层平均凋萎湿度为 $0.125\text{ cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$,平均田间持水量为22.5%。

供试作物冬小麦,1997—1998,1998—1999,1999—2000年度冬小麦品种分别为“京核3号”、“9428”、“京冬8号”。

试验完全在大田条件下进行,共设3个处理,A为喷灌处理;B为渗灌处理;C为旱地处理。渗灌为低压管道渗灌,渗管间距为 1.2 m ,渗管埋深均为 40 cm 。每处理安置铝管3根,作为取样重复。喷灌设备为移动式旋转喷头喷灌系统,喷灌处理灌溉按当地现行的灌溉制度进行。渗灌灌溉依冬小麦灌溉水有效性分析方法^[3],灌溉日期确定以根层土壤水分下降到接近补灌点为准,灌溉量以灌溉后土壤水分不超过饱和点为准。田间灌水情况:1997—1998年度,3种处理播前灌底墒水各 300 mm ,喷灌与渗灌处理全生育期灌水各3次,生育期间总灌水量分别为 2100 mm 和 900 mm ,旱地处理灌越冬水 700 mm ;1998—1999年度,喷灌、渗灌与旱

地处理播前灌底墒水分别为 90.0 mm 和 36.0 mm 和 88 mm, 喷灌与渗灌处理全生育期灌水各 3 次, 生育期间总灌水量分别为 165.0 mm 和 67.5 mm, 旱地处理全生育期不灌水; 1999—2000 年度, 喷灌处理全生育期灌水 3 次, 渗灌灌水 4 次, 喷灌与渗灌处理生育期间总灌水量分别为 235.0 mm 和 199.4 mm。

土壤水分测定, 表层由于中子仪测定误差较大, 0~5 cm、5~10 cm 采用土钻法, 20~200 cm 土层各层(20~100 cm 每 10 cm 土层, 100~200 cm 每 20 cm 土层)采用中子仪测定, 型号为美国 CPN 公司生产的 503DR 型中子仪(1997—1999 年度)和国产 CNC503DR 型智能中子仪(1999—2000 年度)。除越冬期 2 周测 1 次, 其他生育阶段每周测定 2 次, 全生育期进行连续测定。在灌水前后和降水后加测。土壤容积含水量的计算方法为:

$$\begin{aligned}\theta &= 0.00186N - 0.81 && \text{CPN 503DR 中子仪} \\ \theta &= 0.0627N + 3.886 && \text{CNC 503DR 中子仪}\end{aligned}$$

式中, θ 为土壤容积含水量, N 为中子仪读数。把土壤容积含水量换算成重量含水量。

根据农田水量平衡法计算冬小麦耗水量(忽略渗漏、截留和径流), 其公式为:

$$\Delta W = (W_2 - W_1) + P + I$$

其中, ΔW 为冬小麦耗水量, W_1 为播种前的土壤含水量, W_2 为收获时的土壤含水量, P 为灌溉量, I 为降水量。

进行冬小麦生长发育状况的测定、大田测产及室内考种。

冬小麦生育期内的降水资料采用北郊农场气象观测站的数据, 1997—1998 试验年度全生育期(1997-09-25—1998-06-14)降水总量为 204.5 mm, 1998—1999 试验年度全生育期(1998-09-20—1999-06-15)降水总量为 167.0 mm。

收集渗灌与喷灌方式详细的工程及管道价格、施工等资料, 进行灌溉技术的效益分析。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉方式冬小麦产量结构及产量结果

渗灌、喷灌及旱地处理造成田间土壤水分状况的差异, 最终冬小麦产量结构及产量表现不同(表 1)。1997—1998 年度, 在产量结构中, 有效穗数渗灌与喷灌基本相同, 均大于旱地处理; 穗粒数则是旱地大于渗灌, 也大于喷灌; 千粒重以渗灌为最高, 达 50 g, 而旱地大于喷灌。3 个处理的最终产量的差异十分明显, 按折实产量(以理论产量的 85% 计)计算, 渗灌处理的产量比喷灌增加产量 $605 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 增产 11.6%, 比旱地增加产量 $869 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 增产 17.6%。1998—1999 年度, 渗灌比喷灌增产 8.7%, 比旱地增产 68.7%。1999—2000 年度, 渗灌比喷灌增产 8.3%, 比旱地增产 100.5%。3 年渗灌比喷灌平均增产 9.5%, 比旱地增产 62.3%, 均以渗灌产量为最高, 增产效果明显。从产量结构的比较分析, 可以看出, 有效穗数与穗粒数虽然在不同年度表现不很一致, 但总的趋势是灌溉处理大于旱地处理。3 个试验年度, 千粒重始终以渗灌表现最高, 也是最终产量增加的主要原因。

表1 不同处理冬小麦的产量结构及产量

年度	处理	有效穗数 $\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$	穗粒数/个	千粒重/g	理论产量 $/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	折实产量 $/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$
1997—1998	喷灌	517.4	25.7	46	6 116.7	5 199.2
	渗灌	515.5	26.5	50.0	6 830.4	5 805.8
	旱地	447.1	27.4	47.4	5 806.8	4 935.7
1998—1999	喷灌	576.0	19.0	34.5	3 775.7	3 209.3
	渗灌	513.0	18.6	41.5	3 959.8	3 365.9
	旱地	447.0	12.7	40.0	2 270.8	1 930.1
1999—2000	喷灌	557.0	26.3	44.7	6 548.1	5 565.9
	渗灌	570.0	27.5	45.2	7 085.1	6 022.3
	旱地	388.0	24.4	37.3	3 531.3	3 001.6

2.2 小麦生长期内水分平衡与水分利用效率

作物生长期内的水分平衡计算可反映水分的收支情况。表2列出了1997—1998年度冬小麦生长期内的水量平衡计算结果。表中播前土壤含水量为1997-09-25测定,收获时土壤含水量为1998-06-14测定。在小麦的整个生育期中降雨量为204.5 mm。可以看出,喷灌处理0~200 cm的累积含水量收获时与播前基本持平,而渗灌与旱地0~200 cm的累积含水量收获时均小于播前。农田总耗水量喷灌最大,其次为渗灌,旱地最小。

表2 小麦生长期内水分平衡

/mm, 1997—1998

土壤 深度/cm	播前土壤含水量			收获时含水量			灌溉量			农田耗水量		
	渗灌	喷灌	旱地	渗灌	喷灌	旱地	渗灌	喷灌	旱地	渗灌	喷灌	旱地
0~20	52.4	49.8	52.5	47.1	51.6	42.2						
0~40	110.7	108.6	113.6	102.0	112.0	95.1						
0~80	231.6	232.1	233.5	192.5	225.5	186						
0~100	293.4	291.5	297.1	245.7	284.9	244.4						
0~200	648.3	634.5	646.4	577.8	639.6	588.7						
合计	648.3	634.5	646.4	577.8	639.6	588.7	90	210	70	365	409.4	332.2

分析1997—2000年3个试验年度的渗灌与喷灌水分资料知,1997—1998年渗灌比喷灌节水120 mm,节省57.1%;1998—1999年节水151.5 mm,节省59.4%;1999—2000年节水35.6 mm,节省15.2%;3年平均渗灌比喷灌节水43.9%。

水分利用效率(WUE)是作物最终经济产量与作物生育期间的耗水量之比,它反映外界水分条件与作物内部生理功能间的配合程度。水分利用率越高,表明外界水分条件与作物内部生理功能之间配合良好。1997—1998、1998—1999年度渗灌、喷灌及旱地处理农田水分利用率计算结果见表3,2年度渗灌处理水分利用率比喷灌处理分别提高35.2%,35.2%,比旱地处理分别提高11.9%,62.7%。2年渗灌处理水分利用效率平均为 $13.25 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$,比喷灌平均高 3.45 kg ,2年平均值是喷灌的1.35倍。可见,采用渗灌可明显提高冬小麦水分利用效率。

表 3 不同处理水分利用效率

年 度	处 理	折实产量 /(kg·hm ⁻²)	投入水量* /mm	全生育期耗水量/mm (0~ 100 cm 土层)	水分利用效率 /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
1997—1998	喷灌	5 199.2	444.5	415.2	12.5
	渗灌	5 805.8	324.5	343.3	16.9
	旱地	4 935.7	304.5	327.9	15.1
1998—1999	喷灌	3 209.3	422.0	450.0	7.1
	渗灌	3 365.9	270.5	349.9	9.6
	旱地	1 930.1	255.0	327.9	5.9

* 投入水量: 降水加灌溉, 包括播前底墒水。

2.3 冬小麦渗灌技术经济效益分析

2.3.1 渗灌技术工程费用估算

工程费用包括项目投资费及运行管理费。项目投资是建成工程所需的全部资金, 包括水源工程及设计费、材料设备的运输管理费、勘测设计及施工安装费、试验费等。对于喷灌与渗灌灌水技术, 水源工程费指打井费, 取水工程及设备费指水泵机组费(不需要加压系统)与过滤施肥设备。渗灌与喷灌水源设备与取水灌溉设备折旧年限, 机井 30 年, 水泵机组 8 年, 过滤和施肥设备 10 年, 喷灌 15 年^[4]。根据对所用渗灌管材试验及估算, 渗灌管道使用年限按 15 年计。以一口井所能灌溉面积为 24 hm² 的规模算, 管道渗灌与移动式喷灌工程费用计算结果见表 4。本试验中所用渗灌管为国产 PVC 细管, 自己打孔加工, 渗灌管道费 6 750 元·hm⁻², 施工费 4 500 元·hm⁻², 共计 11 250 元·hm⁻², 24 hm² 地总费用 27 万元, 比喷灌多 9.38 倍。总共初始投资额渗灌为 32.6 万元, 平均每公顷 1.358 3 万元, 喷灌为 8.2 万元, 平均每公顷 0.341 7 万元。假定固定资产的账面价值随时间呈直线下降, 采用直线折旧法(平均年限法)计算, 喷灌折旧费为 248.9 元·年⁻¹·hm⁻², 渗灌折旧费为 926.7 元·年⁻¹·hm⁻², 渗灌每年每公顷比喷灌多投入 677.8 元。

年费用包括折旧费和年维修管理费。据测算渗灌年维修管理费 111 元·hm⁻², 喷灌年维修管理费 144 元·hm⁻²。因此渗灌年投资费用 1 037.7 元·hm⁻², 喷灌年投资费用 392.9 元·hm⁻²。

表 4 渗灌与喷灌工程费用

面积 24 hm²

处 理	工程费用	水源工程 (打井费)	取水工程及设备 (水泵机组)	田间灌溉设备费			合计
				管道	管道施工	过滤施肥设备	
喷灌	总计(万元)	2.6	1.5	2.6	0	1.5	8.2
	平均(元·年 ⁻¹ ·hm ⁻²)	36.1	78.1	72.2	0	62.5	248.9
渗灌	总计(万元)	2.6	1.5	6.2	10.8	1.5	32.6
	平均(元·年 ⁻¹ ·hm ⁻²)	36.1	78.1	450	300	62.5	926.7

2.3.2 渗灌技术经济效益分析

灌溉技术经济效益是指灌溉工程投入正常运行后所增加的农副产品产量和提高产品质量所增加的产值。表 5 列出 1999—2000 年度喷灌与渗灌年投入及收入情况, 按小麦单价每千克 1.5 元计算, 渗灌每公顷产值 9 033.5 元, 比喷灌增加 684.6 元。

渗灌的产投比 2.07, 喷灌产投比 1.79, 渗灌比喷灌增加 13.5%。在目前水价较低的情况下, 渗灌年净效益比喷灌多 976.6 元·hm⁻², 增加 20.91%。

表 5 喷灌与渗灌净效益

元·hm⁻², 1999—2000

处理	工程年费用	油电费与杂工费	化肥、农药种子费	水费	总投入	产值	净效益
喷灌	4 392.9	1 950.0	1 518.0	795.0	4 655.9	8 348.9	3 693.0
渗灌	1 037.7	1 410.0	1 228.0	688.2	4 363.9	9 033.5	4 669.6

对 1997—1999 二年度渗灌与喷灌试验及相关投入产出资料分析可知, 渗灌比喷灌每公顷增产小麦 379 kg, 按小麦单价每千克 1.5 元计, 增加经济收益 568.5 元, 其他投入项及节省开支见表 6, 共计每公顷节省开支 1 835.45 元, 节水 1 456.5 t。此外, 渗灌优点还表现在灌水灵活及时、提高土地利用率 15%~20%、便于机械操作等方面。

表 6 渗灌与喷灌比较节省的开支项目及节省金额

hm⁻², 1997—1999

项目	增产小麦/kg	节水/t	节电/度	省工/个	节化肥/kg	合计
节省量	379.0	1 456.5	225.0	30	150.0	
折算现金(元)	568.5	10 436.95	2 900.0	450.0	290.0	1 835.45

注: 电费按每度 0.4 元计算, 水费按每吨 0.3 元计算

3 讨论

渗灌作为一种新型的灌溉方式, 具有节水增产和较好的经济效益。分析表明, 渗灌、喷灌及早地处理最终冬小麦产量结构及产量表现不同, 3 年试验结果渗灌比喷灌平均增产 9.5%, 比旱地增产 62.3%, 产量结构中以渗灌千粒重表现最高。3 种方式中渗灌产量为最高, 增产效果明显。小麦生长期农田总耗水量喷灌最大, 依次为渗灌, 旱地最小。渗灌可明显提高冬小麦水分利用效率, 2 年渗灌处理水分利用效率比喷灌平均高 3.45 kg·hm⁻²·mm⁻¹, 其平均值是喷灌的 1.35 倍。3 年平均渗灌比喷灌节水 43.9%。渗灌工程费用虽比喷灌多 9.38 倍, 但其经济效益较好, 渗灌年净效益比喷灌多 976.6 元·hm⁻², 增加 20.91%。渗灌具有节省开支, 产投比提高的特点, 同时渗灌灌水灵活及时、可提高土地利用率, 便于机械操作, 是一种更为经济合理的灌溉方式。

渗灌用在不同的作物时其渗水管道投入是不一样的, 一般投入约在 3 000~15 000 元·hm⁻² (国产设备) 之间。如用在小麦等密植作物, 渗水管间距必须小 (1.5 m 左右), 投资相对多。如果用在果树等种植间距大的植物渗水管间距就可以大些 (按果树行间距定, 一般 4.0 m 左右), 投资相对较少。从渗灌设备经济可行性考虑, 渗灌技术应用于经济效益较高的经济作物, 或果树、花卉、蔬菜等领域, 将具有良好的应用前景。目前, 农用地下水不收取水资源费, 水价只按电费及少量维修费核算。如果农业用水计价收费, 考虑节水的经济效益时, 则渗灌的年净效益将会更高, 节水的优越性更能体现出来。

本研究只是对渗灌灌水方式与喷灌及早地对冬小麦产量、水分利用效率的影响及渗灌技术经济效益的分析比较。由于材料的限制,对渗灌技术经济效益的分析也仅是初步的探讨。关于渗灌条件下土壤水分的变化动态及节水机理将另文分析。渗灌尚须在灌溉技术、降低成本及渗水管堵塞等方面做进一步深入的研究。

参加本项工作人员还有丁正熙高级工程师、冯泉先生、郑大玮教授、郑大豪教授等,承蒙韩湘玲教授指正,谨表谢意。

参 考 文 献

- 1 杨进怀. 迈向 21 世纪北京农业节水的几点思考. 北京水利, 2000, 5
- 2 冯利平, 甄文超, 巴吐尔·巴克. 北京地区冬小麦田渗灌高产节水技术研究初报. 生态农业研究, 2000, 8 (1): 42~ 44
- 3 Peter Cull. 著. 灌溉管理和农业节水技术. 钱平, 刘学著, 译. 节水农业技术理论与应用培训班教材, 北京农业大学, 1995
- 4 张祖新, 龚时宏, 王晓玲, 等编著. 雨水集蓄工程技术. 北京: 中国水利水电出版, 1999
- 5 Phene C J, Davis K R, et al. Maximizing water-use efficiency with subsurface drip irrigation. Irri J, 1993, 43 (3): 8~ 13