

文章编号: 1007-4929(2005)03-0032-04

涌泉灌溉技术在大田作物灌溉中的试验研究

杨素哲, 陈玉民, 黄宝全

(水利部农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003)

摘要:涌泉灌溉用于大田作物主要问题是流量小, 沟、畦横断面大, 水流在田间很难向前推进。为此将其与垄膜沟种技术组装, 缩小过水横断面, 减小或杜绝侧渗, 提高水流推进能力。这样可最大限度地减少灌水器(稳流器)数量, 改善灌水质量, 提高田间土壤水分的均匀度, 进而为涌泉灌溉用于大田作物提供了可能性。采用涌泉灌溉配套垄膜沟种耕作方式, 提高了降水的有效利用率, 减少了灌水量与灌水次数, 减少了棵间土壤蒸发, 农田耗水比一般大田灌溉节省 28%~30%。由于灌水量小灌溉定额比一般地面灌溉节约 50%左右。农作物产量也有大幅度提高。

关键词:涌泉灌溉; 大田作物; 垄膜沟种

中图分类号: S275 文献标识码: B

0 引言

涌泉灌是介于喷灌与滴灌之间的一种新的节水灌溉技术, 是在改善滴灌设施基础之上发展起来的灌溉技术, 仍属于局部灌溉范畴。与滴灌相比具有抗堵塞性能强、所需工作压力较低、灌水均匀、不受地面地形或压力变化影响、单位面积投资小等优点。近年来用于果树灌溉与保护地灌溉等方面已获得成功, 在新疆、山西、山东等干旱缺水地区有较大面积的推广应用。但在大田作物应用上几乎为空白。

涌泉灌溉技术用于大田作物, 必须解决如下几个方面的问题, 才有较好的应用前景。

①与传统的地面灌溉相比, 涌泉灌溉最大的问题是流量小, 水流推进能力低, 传统的地面灌溉如沟、畦灌溉, 由于断面过宽, 小流量水流推进很慢。尤其是小麦畦灌, 因畦断面宽(3~5 m), 水流几乎不能推进, 长时间在灌水器出水口处渗入深层土壤, 无法实施大面积灌水。

②单位面积投资要小。大田作物, 尤其是粮食作物价格低, 效益小, 如果成本过高, 农民难以承担, 也就无法推广应用。

③便于田间耕作等管理措施的实施。设施的铺设与农作程序无较大的冲突, 农民用起来方便, 自然容易推广。

为了解决上述问题。我们在山西晋中潇河灌区试验站, 河南新乡水利部农田灌溉研究所试验场同时开展田间试验。研究冬小麦、春玉米、棉花等作物栽培条件下, 涌泉灌溉田间管道铺设、毛管间距、稳流器安装距离与农艺栽培措施的改变等一

系列问题。同时也研究了涌泉灌溉条件下冬小麦、玉米、棉花田间的耗水量、耗水规律, 与节水灌溉制度等问题。

1 改畦灌为垄膜沟种涌泉灌溉组合模式

为了解决水流推进缓慢的问题, 改变地面条件, 使水流在比较窄的横断面内较快地向前推进, 可以减少侧渗、加大水流推进速度, 这样就可最大限度地减少稳流器(灌水器)布设的数量, 降低涌泉灌溉成本。

沟宽与灌水器间距的确定: 为了研究水流在不同沟宽内推进速度, 分设了 10、20、30、40 cm 不同的沟宽, 两侧土壤铺有塑料膜与不铺塑料膜 2 种形式共 7 种处理, 在农田灌溉研究所试验场内进行水流推进试验。

通过反复试验认为, 垄膜沟种后加快了水流推进速度。垄上覆膜比不覆膜推进速度快, 推进长度长。随着沟宽大于 30 cm 时其推进速度降低、推进长度缩短。故此选择垄膜沟种沟宽在 30 cm 以内, 灌水器的间距: 60 L/h 灌水器间距小于 2.0 m; 100 L/h 灌水器间距小于 3.0 m。

实施的措施是将涌泉灌溉技术与垄膜沟种技术组装配套, 这样可改一般地面灌溉为局部细流沟灌。实行垄膜沟种, 对一般的中耕作物如玉米、棉花等还可以理解, 改变的只是变垄上种为沟内种, 但对平播密植的冬小麦实行垄膜沟种是否可行, 能否影响产量, 有待实验证明。

1.1 冬小麦垄膜沟种涌泉灌溉形式与效果

华北地区冬小麦传统种植方式是平播密植, 畦宽为 3~5

m,有的还宽达 10 m 以上。这种方式显然无法实行涌泉灌溉。因为小流量水流在如此宽的畦内不向前推进,滞留在出水口处,水流只向深层土壤渗漏,无法实施大面积灌水。因此,要在冬小麦田实施涌泉灌溉技术,必须要改平播畦作为垅膜沟种。

农田灌溉研究所试验场实行小麦垄膜沟种的形式有 2 种(见图 1):一种是垄宽 45 cm,沟宽 20 cm,沟内种 2 行小麦;另外是垄宽 55 cm,沟宽 30 cm,沟内种 3 行小麦。垄上覆膜,隔 1 垄铺设 1 条毛管,稳流器(灌水器)分向两侧灌水。播种时先在沟内施入底肥,用锄扰动施入土内而后播种,播量为 135 kg/hm²,与平播畦作播量相同,确保基本苗为 270 万株/hm² 左右。但因 2003 年秋季雨水多,播期拖至 10 月下旬(20 日),没有出齐苗,基本苗仅 118.5 万~174.0 万株/hm²。2004 年春季为促进春苗早发与保春麦成穗,在返青初期灌水施肥,而后又分别在拔节期(3 月 23 日),灌浆期(4 月 22 日)各灌一次水,结果小麦收获期成穗在 324.0 万~372.0 万株/hm²。总穗数虽然不高,但因垄间的边行优势效应,个体发育很好(见表 1),平均产量达到 0.803 4 万 kg/hm²。比对照的平播畦作麦田增产 52%。

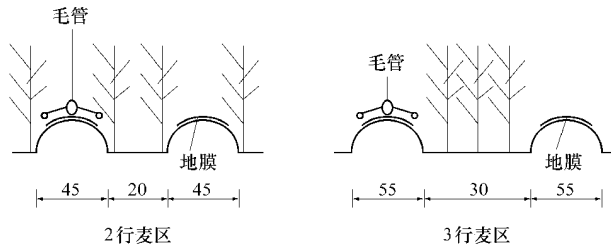


图 1 农田灌溉研究所试验场冬小麦 2 种植形式横断面图(单位:cm)

表 1 农田灌溉研究所试验场涌泉灌溉冬小麦长势(2003~2004 年)

测试地点	株高/cm	一节长/cm	二节长/cm	一节粗/cm	二节粗/cm	穗长/cm	穗粒重/g	千粒重/g
2 行区	70.9	4.1	7.2	0.35	0.38	9.9	2.25	46.3
3 行区	72.1	4.9	6.6	0.40	0.45	8.6	2.00	46.0

1.2 玉米垄膜沟种涌泉灌溉形式与效果

农田灌溉研究所试验场春玉米垄膜沟种的形式为 2 种:一种是垄宽 55 cm,沟宽 30 cm,沟内种 2 行玉米;另一种是垄宽 45 cm,沟宽 20 cm,沟内种 1 行玉米。垄上覆膜,毛管隔一垄布置一条,稳流器分向两侧灌水,试验结果双行春玉米的产量 0.880 1 万 kg/hm²,单行玉米产量为 0.607 4 万 kg/hm²。

山西潇河灌区试验站,春玉米的种植同农田灌溉研究所试验场单行种植形式,垄宽为 35 cm,沟宽 15 cm,沟内种 1 行玉米,垄上覆膜,春玉米单产达到 0.974 4 万 kg/hm²,比对照(不作垄覆膜)增产 40%。

改玉米垄播为垄膜沟种,不仅不会影响玉米高产,只要合理密植,与常规种植方式比较有不同程度的增产。

1.3 棉花垄膜沟种涌泉灌溉形式及效果

课题组在棉花灌溉试验中选取了管式涌泉灌溉技术(薄壁涌灌带)。其特点是在果树涌泉灌溉基础上把果树涌泉灌溉中的微管加长作为田间的毛管用,在毛管上打孔。由于毛管中压

力比较低,使水流产生涌流和涌喷的效果,其系统的灌水均匀度大大提高,支管各出水口流量均匀度达 96% 以上,毛管各出水口流量均匀度也达 85% 以上。棉花涌泉灌溉田间试验,在农田灌溉研究所试验场进行,其播种形式如图 2。垄宽 80 cm,沟宽 60 cm,垄上覆膜,种籽播在沟的两侧,每沟 2 行,穴播。行距宽行 80 cm,窄行 60 cm,株距 45 cm,3.129 万株/hm²。棉花生长较好,株高一般达 110 cm,平均果枝数 15 枝,每株铃数 27 个,产量为 0.445 2 万 kg/hm² 籽棉,折合皮棉为 0.148 4 万 kg/hm²。

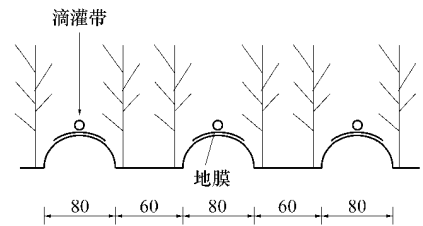


图 2 棉花垄膜沟种横断面图(单位:cm)

1.4 垄膜沟种后田面的水热效应

研究表明,实施垄膜沟种措施后,明显改善下垫面的水热效应,主要表现如下几方面。

1.4.1 变一般地面灌为局部灌溉

垄上覆膜后,由灌水器喷射出的水流不会直接灌入垄上土壤,水会沿塑膜流入沟内而成为局部灌溉,这样只会在沟内根际土壤有足够的湿润,而棵间垄上,只能靠沟内的水向上浸润,节约了灌水量。

1.4.2 减少棵间土壤蒸发

实行垄膜沟种后,棵间土壤蒸发量明显减少,这已为过去的实验证明。尤其是作物生长前期,地面裸露大的时期更为明显。冬小麦试验表明,冬前与返青前期,日耗水量仅为 0.21~0.33 mm/d,比常规灌溉条件下低 0.7~0.8 mm/d。返青期以前的耗水模系数不足 10%,这说明田间无效土壤蒸发减少。

1.4.3 提高了降水的有效利用率

垄膜沟种以后,集雨效果非常明显。降雨的局部空间位移将降雨叠加,提高了降水的有效利用率。尤其小雨后,雨水顺垄膜流入沟内根际,增加根际土地湿度,提高了小雨量的有效利用。以冬小麦为例,新乡 2003~2004 年小麦生长期降水量为 141.3 mm,相当于 1 413 mm³/hm²,但一次降水量不足 10 mm 达 9 次,合计为 46.9 mm,相当于总降水量的 33%,这些少量降水,由于垄膜作用,集中流入沟内小麦根际,有利于小麦生长。从图 3 中看到返青前土壤水分一直在 20%(0~100 cm) 以上,确保麦苗越冬的土壤水分要求。

山西晋中地区春天干旱少雨,春玉米生长期降雨量为 300 多 mm,但一次降水量不足 10 mm 的降雨量累加占生长期降雨总量的 12% 以上。如果这些降雨平铺地面是无效的,而集中于沟内根际土壤,则明显提高沟中土壤湿度,有利春苗的生长发育。从图 4 看出垄上覆膜后,沟内土壤水分明显高于未覆膜的处理。降雨的有效利用率明显提高。

1.4.4 提高地温

观测表明,垄上覆膜后,沟内土壤温度明显提高,根据在晋中潇河试验站观测,5 月份垄覆膜后,垄上 5 cm 处,地温较对照(未覆膜)高 2.4~2.7℃。沟内 5 cm 处地温较对照高 1.4~

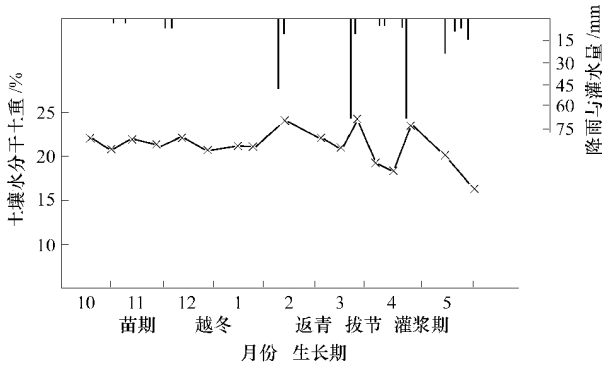


图3 3行区土壤水分变化与降雨、灌溉的影响(0~100cm平均)
(农田灌溉研究所试验场 2004年)

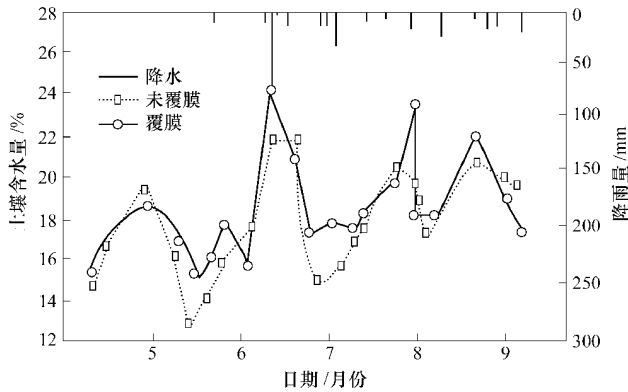


图4 春玉米生长期降雨量分布和0~20 cm土壤水分变化
(山西潇河灌区试验站 2003年)

1.9℃。20 cm 深度,垄上较对照高 1.4~1.7℃,沟内较对照高 0.9~1.3℃,对促进春苗早生快发十分有利,而这一点对于春季热量不足的晋中地区尤为重要。

根据在农田灌溉研究所试验场对冬小麦播种与出苗情况观察,垄膜沟种田较一般平播畦作田提前出苗 2~3 天。华北地区作物生长期热量状况较好,但春季提高地温仍有利于小麦生长,对促根增蘖,提高分蘖成穗有明显作用。

2 涌泉灌水技术与实施状况

2.1 涌泉灌溉在大田作物实施运行状况与结果

2.1.1 春玉米

春玉米试验于 2003 年度分别在农田灌溉研究所试验场与山西潇河灌区试验站进行,2003 年新乡春玉米生长期降水量达 363.9 mm,与需水量接近,如果降雨分配适宜,可不用灌水。但当年还是灌了 2 次水,一是播期比较干旱,下种后为了确保出苗,3 月 25 日,灌水 300 m³/hm²。另外,在 6 月上旬拔节初期,结合施肥灌水 390.0 m³/hm²。

山西潇河灌区试验站,春玉米生长期灌 2 次水,一次是 6 月 28 日,拔节期灌水 300 m³/hm²,另外是 8 月 5 日结合施肥灌 450 m³/hm²。灌后在 5 个点取土测定土壤水分(0~100 cm),土壤水分分布均匀度达 98%。

根据玉米生长期灌水量,降水量,土壤水分平衡计算其耗水量,耗水规律列表 2、表 3。

表 2 农田灌溉研究所双行玉米田耗水量与耗水规律(2003 年)

生长期	时间/ 月-日	天数/ d	耗水量/ mm		模系数/ %	日耗水强度 (m ³ ·hm ⁻²) mm	
			(m ³ ·hm ⁻²)	mm		(m ³ ·hm ⁻²)	mm
苗期	03-25~	59	925.35	92.5	25.7	15.75	1.157
	05-23						
拔节	05-24~	20	722.55	72.2	20.2	36.15	3.610
	06-13						
抽穗	06-14~	11	783.75	78.3	21.7	71.25	7.120
	06-24						
灌浆	06-25~	33	1 174.05	117.4	32.4	35.55	3.550
	07-28						
全生 育期	03-25~ 07-28	123	3 605.4	360.4	100		

表 3 潇河灌区春玉米耗水量与耗水规律(2003 年)

生长期	时间/ 月-日	天数/ d	耗水量/ mm		模系数/ %	日耗水强度 (m ³ ·hm ⁻²) mm	
			(m ³ ·hm ⁻²)	mm		(m ³ ·hm ⁻²)	mm
苗期	04-26~	55	625.5	62.5	17.1	11.25	1.14
	06-20						
拔节	06-21~	30	1 686.0	168.5	46.1	56.25	5.62
	07-20						
抽穗	07-21~	15	363.0	36.3	9.9	24.15	2.42
	08-04						
灌浆	08-05~	43	984.0	98.4	26.9	22.95	2.29
	09-16						
全生 育期	04-26~ 09-16	143	3 658.5	365.7	100		

从表 2、表 3 中看到,农田灌溉研究所试验场玉米耗水量为 3 605.4 m³/hm²(双行区),山西潇河试验站为 3 658.5 m³/hm²,耗水量明显低于一般地面灌溉情况下的耗水量。以山西潇河灌区为例,一般春玉米田耗水量为 5 100 m³/hm²左右,比涌泉灌溉高 1 500 m³/hm²,也就是说涌泉灌溉节约农田耗水 28.3%。根据灌溉定额比较,涌泉灌比一般地面灌节水 40%~50%。农田灌溉研究所春玉米产量在 0.607 4 万~0.880 1 万 kg/hm²,水分生产率达 1.41~2.44 kg/m³。山西潇河灌区试验站春玉米产量 0.974 4 万 kg/hm²,水分生产率为 2.66 kg/m³,应当认为是国内粮食作物水分生产率较高的记录。

2.1.2 冬小麦

冬小麦涌泉灌溉田间试验(2003~2004 年)在农田灌溉所试验场进行,共灌 3 次水,情况列于表 4。

可看出 2 行区比 3 行区灌水历时短,灌水定额也小,2 个区灌水后土壤水分分布均匀度在 93%~95%之间。

根据对耗水量的计算,2 行区麦田耗水量为 4 247.1 m³/hm²,产量为 0.788 9 万 kg/hm²,水分生产率为 2.08 kg/m³;3 行区麦田耗水量为 3 282 m³/hm²,产量为 0.817 8 万 kg/hm²,水分生产率为 2.11 kg/m³,比一般地面灌溉耗水量低 1 005~1 980 m³/hm²,节约耗水 32%,灌溉用水节约 30%~46%。

表4 小麦涌泉灌溉制度表(2003~2004年)

地区	灌水时间/ 月-日	灌水定额/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	灌溉定额/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	历时/h
2行区	02-13~02-14	135.0		2.0
	03-16	615.0		3.5
	04-22	557.6	1 307.6	3.0
3行区	02-14	450.0		3.0
	03-16	645.0		3.5
	04-22	682.5	1 777.5	3.0

2.1.3 棉花

2004年棉花生长期降雨较多,达573.4mm,雨水分配也均匀,生长期没有灌水,但在播后由于表墒不足,灌1次表墒水,灌水量 $210 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,灌水历时达2.5h,灌水后土壤水分在沟内分布均匀,均匀度达95.7%,效果较好。

涌泉灌溉棉花生长期耗水量 $0.5662 \text{ 万 m}^3/\text{hm}^2$ (561.9mm),平均日耗强度 $29.7 \text{ m}^3//\text{hm}^2$,产量 $0.4452 \text{ 万 kg}/\text{hm}^2$ (籽棉),水分生产率为 $0.79 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。与一般地面灌溉比几乎相等。没有表现省水特点,这主要是今年生长期降雨多之故。但灌水量比一般地面灌节约 $450 \text{ m}^3 \sim 600 \text{ m}^3$,节水率达60%~80%。

2.2 关于毛管间距、稳流器(灌水器)间距及应用涌灌带等问题

2.2.1 毛管间距

毛管间距大小与栽培方式有关,因为毛管沿垄的方向布置在垄背上,这样垄、沟的宽度是决定毛管间距的主要因素。为了增大毛管间距,尽量加大垄宽与沟宽,以减少毛管数量,降低设施成本。另外隔1条垄布置1条毛管,也有助于减少毛管数量。总之,在不影响作物高产的基础上,尽量增大垄宽、沟宽以适应涌泉灌溉设施降低成本的要求。

2.2.2 稳流器(灌水器)距离(单向)

关于不同沟宽与稳流器距离的关系,前面已做详尽研究,根据在新乡、山西2套设施运转情况,沟宽在20cm时(坡度1/100)稳流器(100L/h),距离不宜大于4m,否则灌水时间拖长,灌水定额加大。山西潇河灌水区试验站沟宽15cm(地面坡度1/500),稳流器(60L/h)距离为2.0m,每次灌水时间达4h以上,灌水时间过长,灌水定额大,不符合节水要求,为此若要缩短灌水时间,减少灌水定额,稳流器距离(单向)在3.0m左右为宜。

2.2.3 关于涌灌带

加大稳流器密度,虽可缩短灌水时间,减小灌水定额,有利于节水,但成本也随之增大,不利涌泉灌溉推广。为此在棉花涌泉灌溉设施上,使用了涌灌带,涌灌带首部装稳流器,根据初步使用看,涌灌带灌水均匀,灌水定额亦小,比使用稳流器作为灌水器更有利于节水。

2.2.4 关于系统的工作压力

尽管稳流器工作有限定压力,但根据山西、新乡两地大田设施运转情况看,支管进口压力为0.2MPa为宜,低于0.16MPa时出水很慢,灌水时间长,灌水定额大,不利节水。

3 成本分析

成本分析内容包括种子、地膜、化肥、水电、用工与灌水设施成本折算与农作物收入。设备成本按 $1.5 \text{ 万元}/\text{hm}^2$ 计算,用期为10个生长季,这样每季为 $1500 \text{ 元}/\text{hm}^2$,根据计算农田灌溉研究所试验场2004年冬小麦涌泉灌溉计算成本如表5。山西潇河灌区试验站2003年春玉米涌泉灌溉计算成本如表6。

表5 农田灌溉研究所小麦涌泉灌溉成本计算表 元/ hm^2

种子	地膜	化肥	水电	用工	设备 折旧费	合计	小麦 收入	纯收入
540	690	1 155	225	3 375	1 500	7 485	10 500	3 015

表6 山西潇河灌区试验春玉米涌泉灌成本计算 元/ hm^2

种子	肥料	水电费	塑膜	用工	设备 折旧费	合计	玉米 收入	纯收入
315	945	105	1 140	5 700	1 500	9 705	11 700	1 995

棉花涌泉灌使用涌灌带,如果涌灌带按2个生长季折旧,其他设施按10个生长季折旧,则棉花一季的成本计算结果表7,从表7中看出,涌泉灌用于棉田灌溉的效益比粮食作物要高,可有较大的推广应用前景,如果使用机械化起垄覆膜,用工费还可进一步降低,这样效益会进一步升高。

表7 2004年农田灌溉研究所试验场棉花成本分析 元/ hm^2

种子	肥料	塑膜	水电	用工	设备 折旧	合计	毛收入	纯收入
150	750	750	31.5	2 250	74.9	4 006.4	11 631.0	7 624.6

4 结 语

①涌泉灌溉用于大田作物主要问题是沟、畦横断面大,流量小,水流在田间很难推进。采用涌泉灌溉技术与垄膜沟种技术捆绑组装配套,可缩小沟、畦的横断面,杜绝侧渗,提高了水流推进速度,有助于减少灌水器(稳流器)数量,降低设施成本,改善灌水质量,为涌泉灌技术用于大田作物创造了可能性。使用涌灌带代替(稳流器)灌水器,即有利于保证灌水质量,也可降低设施成本。

②垄膜沟种技术具有明显集雨功能。降雨在垄膜上位移于沟内,实现降雨叠加,尤其是小雨的有效利用。垄膜又有明显提高地温、减少棵间蒸发的功能,可减少农田耗水量28%~32%。由于灌水量小,灌溉用水量较一般地面灌溉技术节水50%左右。

③在晋中地区由于热量不足,垄膜沟种措施具有明显的增产效果,涌泉灌溉技术与垄膜沟种技术组装配套,实现了节水与增产的双重目标。

※参加此项工作的还有山西潇河灌区试验站温守光、魏建春、孟宝全以及农田灌溉研究所的李晓东、崔文军等。

参考文献:

- [1] 杨封科. 旱作春小麦垄膜沟种微集水种植技术研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(4): 47-49.
- [2] 傅琳. 微灌工程技术指南[M]. 北京: 水利水电出版社, 1988.