

黄土坡地径流收集膜下自流出滴灌溉系统设计及其生态效益研究

张 海¹, 易永华², 杨荣惠¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 黄土坡地径流收集及膜下自流出滴灌溉技术可有效地收集丰雨期地表径流, 就地储存, 旱季利用自然高差灌入集水袋, 经自流管进行膜下自流灌溉, 可有效地提高该区降水利用率, 有效地解决黄土高原地形破碎、渠系难以浇灌的难题。造林试验表明, 该技术可明显地提高 20~70 cm 土层含水量, 可使刺槐、油松、枣树造林成活率分达到 97.7%、91.4%、90.5%, 比对照分别提高了 57.0%、77.8%和 69.4%; 结合幼树根基覆膜技术, 在栽植第 2 年即可使刺槐、油松、枣树之主径分别比对照提高 26.9%、55.2%和 49.6%, 树冠投影面积分别比对照提高 90.9%、74.2%和 51.8%。同时可明显地降低坡地土壤侵蚀模数, 在降雨 387 mm 的情况下, 处理区径流发生量及土壤侵蚀模数分别较对照下降 38.3%和 102.7%。具有良好的生态效益和社会效益, 在立地条件差、地形破碎的黄土丘陵沟壑区是一项投资少、效益高、简单易行的抗旱新技术, 在我国西北同类型干旱地区有着较好的推广前景。

关键词: 坡地径流收集; 膜下自流灌溉; 生态效益

中图分类号: S275.6; X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7601(2009)05-0118-05

干旱与水土流失并存是限制黄土高原农业发展的主要因素。该区年平均降雨量 350~420 mm, 但 60%~70%集中在 7、8、9 三个月, 且多以暴雨形式出现, 由于坡地面积大、下渗困难, 导致水土流失严重, 同时使土壤干旱贫瘠^[1]。长期以来该区自然降水高效利用技术匮乏, 利用率很低, 农业生产广种薄收, 产量低而不稳, 人民生活困难。高效收集雨季径流, 旱季适时补灌, 成为该区农业进一步发展的关键。为此, 近年来国家投巨资在该区修建沟底坝系、窑窑集雨工程等, 对自然降雨起到了很好的拦蓄作用^[2,3], 但对集蓄水资源缺乏新的利用技术, 加之该区地形破碎、渠系难以浇灌及落后的引流灌溉方式, 使得水资源未得到有效利用^[4], 为此, 我们对该区水资源的收集及利用技术进行了研究, 形成了坡地径流收集及膜下自流灌溉技术, 在此基础上对该技术在抗旱造林方面的应用及生态效益进行了研究, 结果表明该技术具有投资少、见效快、简单易行、生态效益显著等特点, 很适宜在该地区推广使用。

1 径流收集系统设计

1.1 集流场选择及系统设计

为了高效接纳、收集自然降水, 并达到自流滴灌, 降低生产成本、提高降水利用率之目的, 集流系

统应建于山坡径流汇集之凹陷洼地处, 由集流场、沉淀池及蓄水池三部分组成; 该系统上游应有较大的集流面积以汇集足够的径流, 集流面要求夯实以减少降水渗漏, 亦可用塑料薄膜或水泥砂浆铺设表面; 沉淀池容积 1 m³, 出水口应高于底部 20 cm 以上, 以能使径流沉淀后有序流出为宜, 下接蓄水池进水口; 蓄水池利用废旧汽油桶或塑料桶相互串联而成, 容积根据集流场大小修建 1~10 m³ 不等, 桶壁安装出水旋钮一个, 旋钮口再接塑料软管, 以便于移动。

1.2 储水池容积确定

依据自然降水量和修建地自然环境确定储水池容积, 以大于欲收集径流发生区 5 a 一遇之 24 h 最大径流量为宜。

1.3 集水场面积确定

依据当地降水量、降水强度、地面径流系数确定集水场的面积^[5], 用下式求得集水场面积^[6,7]

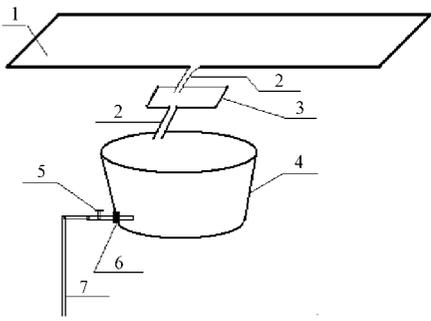
$$S = V / M \times 24 \times N$$

式中: S 为集水场面积(m²); V 为计划修建水窖的容积(m³); M 为该区 5 年中最大降水量(mm); 24 为一昼夜时间; N 为集水场地面径流系数(据试验测定不同质量集雨场的径流系数为^[8,9]: 荒坡 0.3; 土质路面、庭院、屋顶、场院 0.45; 沥青路面、水泥场院 0.85; 人工塑料集雨场 0.95), 组成结构见图 1。

收稿日期: 2009-05-15

基金项目: 林业部科技示范项目“毛乌素沙地南缘植被恢复技术示范”(2008-23); 陕西省科技攻关“黄土高原经济林抗旱抚育与林草和谐共生技术研究”(2008K-07)

作者简介: 张 海(1960-), 男, 教授, 现从事黄土高原植被恢复及生态修复研究。



1.集雨场 Rainfall-collecting ground; 2.引水槽 Diversion trough; 3.沉淀池 Precipitating tank; 4.储水池 Water-storing well; 5.控制阀 Controlling valve; 6.联接盘 Linking panel; 7.引水管 Diversion tube

图1 径流收集系统

Fig.1 Runoff-collecting system

2 坡地自流引水系统及集水袋设计

黄土丘陵沟壑区地形破碎、环境多变,渠系灌溉无法进行。所以,可根据不同立地条件设计制作不同的储水容器,如储水浇灌袋、集水袋,储水桶等,以易于移动、利用方便为宜。利用时通过输水软管从储水池将水灌入集水袋中,将集水袋移动至欲浇灌地块,置于其上方坡面上,接好输水软管,即可浇灌。

用2.5 mm加厚聚乙烯膜通过机械热压制成密封水袋,封口机热合沾接;上部热合粘接注水口,下部粘接导水软管。导水软管上连接分流盘,分流盘上安装自流浇灌管数根,每根自流管上安装流量控制旋钮一个;浇灌袋容积以0.2~0.3 m³为宜,既可自由移动又具有一定的容量。在树根基部打一深50 cm下渗孔,放入自流管,用流量控制旋钮控制水的流速,根据树木需水情况,流量控制在300~400 mL/h,以成滴出流为宜,可保证一棵树5~10 d的用水量(图2)。

3 生态效应试验设计及结果分析

春季造林时,在坡地按“品”字开挖坑径100 cm的大鱼鳞坑,坑内种树一棵,上覆0.5 mm农用地膜,膜上用土轻压,防止风吹破损,在坑内低凹处打一直径1 cm深30 cm滴灌孔,将引流管插入孔内进行自流出滴灌,流速80滴/min,以成滴流出为宜;处理材料有刺槐、油松、枣树等,试验于2002年春季进行,各树种均设一次性穴及覆膜滴灌2种处理,各处理50株,每株浇水10 kg,以自然坡地为对照,研究本技术对造林成活率、幼树生长速率及植被覆盖度的影响,以TDR时域反射仪测定土壤水分,皮尺测量生长速率,径流小区法测定土壤侵蚀模数。

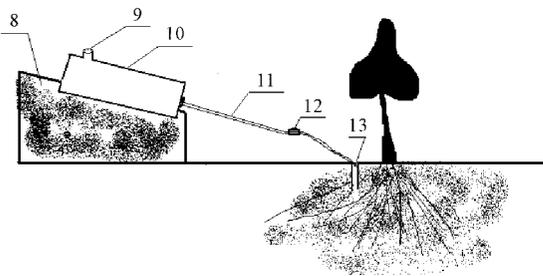
3.1 对土壤含水量及造林成活率的影响

该区气候干燥,加之土质疏松,水分极易蒸发,传统的穴灌技术易导致水分散失,植树成活率不高;而处理组灌水经自流管直接输入土壤深层,加之坑内覆膜可防止水分的无效蒸发,20~70 cm土层含水量较高且持续时间长,可使刺槐植树成活率可达97.7%、油松达91.4%、枣树达90.5%,结果见表1。

可以看出,穴灌处理灌水后,各参试树种0~70 cm土层含水量均在短时间内猛增,24 h内0~20 cm土层达到饱和持水量,20~70 cm达到353.0~357.2 g/kg之间,但3 d以后迅速降低,5 d后0~20 cm土层含水量刺槐降到94.3 g/kg、油松降到93.2 g/kg、枣树降到95.2 g/kg,11 d后20~70 cm土层含水量分别降为88.3、90.1、90.9 g/kg,与对照已无明显差异,仅起到短期补水的作用;而覆膜自流出滴灌处理,灌水后表层土壤含水量变化不大,但20~70 cm土层中含水由小到大逐渐增加,且蒸发量较小,灌水19 d后刺槐仍为109.9 g/kg、油松110.9 g/kg、枣树105.7 g/kg,均比穴灌及对照高23.5%,按照王孟本先生对林地土壤剖面划分,此层正是树木吸水活跃层,对树木的生长有至关重要的作用^[10],故刺槐、油松、枣树造林成活率分别达到97.5%、91.4%和90.5%,比穴灌分别提高了20.2%、44.1%和46.2%;比对照分别提高了57.0%、77.8%和69.4%。可见径流收集覆膜自流出滴灌技术可使有限的水分直接浇灌于幼树根部,可明显的提高20~70 cm土层的含水量,使新栽幼树根际有充足的水分供给,提高成活率。

3.2 对幼树生长发育的影响

幼树栽植后第2年春季,各处理再灌水一次,每株5 kg,方法同上;以后每年10月在树木停止生长后,每处理选取具有代表性幼树20株,统计其生长



8.土堆 Soil mound; 9.注水口 Water-pouring tap; 10.节水包 Water-saving bag; 11.自流管 Dripping tube; 12.水量控制旋钮 Controller of water quantity; 13.地面浇灌孔 Dripping hole on the ground

图2 滴灌袋打孔滴灌示意图

Fig.2 Sketch map of drip irrigation with drip bag

量。结果表明,虽然覆膜自流出滴灌溉与穴灌处理的差异(见表 2)。用水量相同,但幼树生长量及植被覆盖度存在明显

表 1 处理后不同土层含水变化及对新栽幼树成活率影响

Table 1 The change of water content in the soil layer from 0 to 60 cm and the survival rate of young tree after irrigating

品种 Variety	处理 Treatment	土层(cm) Soil layer	土层含水量 Water content (g/kg)										成活率(%) Survival ratio
			1d	3d	5d	7d	9d	11d	13d	15d	17d	19d	
刺槐 <i>Acacia</i>	自流动灌 Drip irrigation	0~20	77.3	92.6	98.7	114.8	115.4	113.3	105.3	105.9	97.7	97.5	97.5
		20~70	88.2	117.4	122.2	122.8	123.7	121.6	110.7	112.8	111.3	109.9	
	穴灌 Dibble irrigation	0~20	353.0	174.2	94.3	91.6	89.2	88.3	88.1	87.2	87.1	87.0	81.1
		20~70	254.7	251.6	186.6	134.7	126.4	99.3	94.4	91.7	89.4	88.2	
	对照 Control	20~70	89.8	89.2	89.5	89.7	89.8	90.1	90.2	89.8	89.6	89.4	62.1
油松 <i>Chinese pine</i>	自流动灌 Drip irrigation	0~20	77.6	94.3	106.5	118.6	116.6	116.2	107.3	103.8	98.4	97.7	91.4
		20~70	89.4	113.6	123.8	121.0	120.6	127.4	128.2	120.7	118.6	110.9	
	穴灌 Dibble irrigation	0~20	356.8	177.4	93.2	92.1	90.9	90.1	89.7	89.8	89.7	89.1	63.4
		20~70	353.0	234.0	168.0	155.6	128.0	95.4	92.0	90.1	90.1	89.9	
	对照 Control	20~70	89.8	89.1	89.3	89.4	89.5	90.1	90.2	89.2	89.1	89.1	51.4
枣树 <i>Jujube</i>	自流动灌 Drip irrigation	0~20	79.3	89.6	101.7	112.8	115.4	116.3	107.3	106.9	98.7	97.7	90.5
		20~70	83.2	116.4	123.2	124.8	125.7	122.6	111.7	113.8	112.3	105.7	
	穴灌 Dibble irrigation	0~20	357.2	167.4	95.2	93.1	90.9	90.4	89.6	89.7	89.7	89.4	61.9
		20~70	352.5	214.0	169.2	165.6	118.0	93.4	90.5	89.9	89.8	89.6	
	对照 Control	20~70	89.8	89.2	89.5	89.7	89.8	90.1	90.2	89.8	89.6	89.4	53.4

注:浇水后 30 天内无自然降雨。

Notes: No rainfall within 30 days after irrigation.

表 2 不同处理对幼树生长发育及植被覆盖度的影响

Table 2 The influence of different treatments on vegetation coverage and the growth and development of young trees

处 理 Treatment	主茎年平均生长量(cm) Growth quantity of caulis			幼树平均高度(cm) Average height of young trees			树冠投影面积(m ²) Crown cast area			
	第 1 年 1st year	第 2 年 2nd year	第 3 年 3rd year	第 1 年 1st year	第 2 年 2nd year	第 3 年 3rd year	第 1 年 1st year	第 2 年 2nd year	第 3 年 3rd year	
	刺槐 <i>Acacia</i>	I 滴灌 Drip irrigation	29.6	35.2	41.9	59.9	95.6	135.8	0.037	0.21
	II 穴灌 Dibble irrigation	26.9	27.5	39.8	55.8	83.4	117.6	0.031	0.12	0.27
	对照 Control	20.2	22.8	38.3	51.2	75.3	104.6	0.029	0.11	0.21
油松 <i>Chinese pine</i>	I 滴灌 Drip irrigation	18.5	24.6	31.9	38.5	63.2	99.7	0.021	0.061	0.18
	II 穴灌 Dibble irrigation	11.7	21.5	29.7	33.9	54.2	84.8	0.020	0.047	0.13
	对照 Control	11.4	18.3	22.7	21.4	40.7	58.5	0.016	0.035	0.09
枣树 <i>Jujube</i>	I 滴灌 Drip irrigation	21.3	31.4	35.2	51.3	72.6	121.5	0.022	0.041	0.25
	II 穴灌 Dibble irrigation	19.3	21.5	27.1	38.5	59.3	89.6	0.021	0.031	0.19
	对照 Control	15.3	19.5	21.3	29.3	48.5	71.3	0.019	0.027	0.11

从表 2 可以看出,径流收集及覆膜滴灌处理为幼树根系生长提供了一个良好的土壤水分环境,促进了根系的生长,进而促进了个体的发育。栽植第 1 年在单株生长量、树冠投影面积等方面,各处理差异不明显,但从第 2 年开始则出现明显差异,如刺槐、油松、枣树之处理 I 第 2 年生长量分别达 35.2 cm、24.6 cm、31.4 cm,分别比其处理 II 提高了

28.0%、14.4%和 15.8%;分别比对照提高了 54.3%、33.4%和 61.0%。幼树平均高度比处理 II 分别提高了 14.6%、16.6%和 22.4%;分别比对照提高了 26.9%、55.2%和 49.6%。树冠投影面积比处理 II 分别提高了 75%、29.7%和 32.2%;分别比对照提高了 90.9%、74.2%和 51.8%。处理后第 3 年增长更多。结合表 1 可看出,径流收集覆膜滴灌

技术可明显改善土壤深层的水分状况,为幼树生长创造了一个适宜的生长环境,可明显的加快幼树的生长速度。

3.3 对集流区径流发生量及生态效益影响评价

降雨量的大小及汇集行为是径流形成的两个最主要的因素^[11],由于该系统有效地收集了地表径流,减少了收集区径流发生量,加之强制入渗提高了土壤水分,提高了处理区植被覆盖度,可使收集区水保、生态效益得到明显的改善。在上述径流收集区及对对照区各建立径流观测小区一个,汇集面积均为

1 500 m²左右,降雨5天后在处理区用对角线取样法采集5~20 mm土壤样本,测定其含水量;观测各处理植被恢复及土壤减蚀情况;并对各处理之水保效益及生态修复过程进行分析,结果发现径流收集处理可有效地减少径流发生量,降低坡地土壤侵蚀模数。如2004年8~9月试验区发生较大降雨2次,降雨量分别为27.5 mm及38.7 mm,强度中等,均有径流发生;降雨后分别测定各处理区径流发生量,土壤侵蚀量,结果见表3。

表3 不同处理对径流发生量及土壤侵蚀的影响

Table 3 The influence of different treatments on runoff fall and soil erosion modulus

项目 Item	植被覆盖度 (%) Vegetation Coverage	5~30 cm 土层含水量(%) Water content in 5~30 cm soil layer		径流发生量(m ³ /km ²) Amount of runoff produced		径流收集量(m ³ /km ²) Amount of runoff collected		土壤侵蚀量(t/km ²) Soil erosion modulus	
		降雨量 Rainfall	降雨量 Rainfall	降雨量 Rainfall	降雨量 Rainfall	降雨量 Rainfall	降雨量 Rainfall	降雨量 Rainfall	降雨量 Rainfall
		27.5 mm	38.7 mm	27.5 mm	38.7 mm	27.5 mm	38.7 mm	27.5 mm	38.7 mm
处理区 Treatment plot	47.3	7.5	8.4	117.6	229.4	51.8	73.2	235.3	365.9
对照区 Control plot	31.7	6.8	7.5	228.5	317.3	—	—	531.9	741.7

可以看到,降雨5 d后处理区5~30 mm土层含水量明显高于对照,降雨27.1 mm、38.7 mm后处理组土层含水分别比对照提高了10.2%和12.0%,这可能与处理区旱季补灌土壤基础水分较高及植被覆盖度的提高有关,而该土层是草本植物根系分布及吸水活跃区,所以对植被恢复有着十分重要的意义^[12],此点和孙长忠先生的坡地径流生产潜力观点非常一致^[13]。同时可以看到降雨后由于处理区的径流收集,可使径流发生量、土壤侵蚀模数明显下降,如降雨38.7 mm后处理区径流发生量及土壤侵蚀模数分别较对照下38.3%和102.7%,说明坡地径流收集及自流滴灌处理可显著的提高该区自然降水利用率,减少土壤侵蚀,改善坡地土壤水分条件,从而提高了坡地植被覆盖度,利于该区干旱坡地植被恢复和生态环境的改善。

4 结 论

在年降雨分布不均、水资源又极为短缺的黄土高原利用自然坡地进行坡地径流收集、旱时自流管膜下补灌是解决该区地形破碎、机械设施难以浇灌的有效途径。该设计投资少、效益高,简单易行,与目前推广应用的各类喷、滴、渗等节水灌溉技术相比较,具有节水、高效、易移动等优点,特别适合黄土高原地区蒸发强烈、地形复杂多变的小块山地应用,该

技术可明显的提高20~70 cm土层含水量,可使刺槐造林成活率可达97.7%、油松达91.4%、枣树达90.5%,比对照分别提高了57.0%、77.8%和69.4%;结合根基覆膜自流管滴灌技术可明显的提高幼树的生长速度,第2年即可使刺槐、油松、枣树之主径分别比对照提高了26.9%、55.2%和49.6%。树冠投影面积分别比对照提高了90.9%、74.2%和51.8%。同时可明显地降低坡地土壤侵蚀模数,在降雨38.7 mm后处理区径流发生量及土壤侵蚀模数分别较对照下38.3%和102.7%。具有良好的生态效益和社会效益,在我国西北同类型干旱地区有着很大的推广前景。

参 考 文 献:

- [1] 蒋定生.黄土高原水土流失与治理模式[M].北京:中国水利水电出版社,1997.
- [2] 焦菊英,王万忠.黄土高原丘陵沟壑区淤地坝的淤地拦沙效益分析[J].农业工程学报,2003,19(6):302-306.
- [3] 胡建军,牛 萍.浅谈黄河上中游地区水土保持淤地坝工程的作用[J].西北水科学与水工程,2002,13(2):28-31.
- [4] 张祖新.我国北方雨水集蓄与节水技术[J].节水灌溉,2002,(3):13-14.
- [5] 杨继富,余根坚.我国节水灌溉材料设备生产状况及对策[J].节水灌溉,1999,(6):5-7.
- [6] Gardner W R, Miklich F J. unsaturated conductivity and diffusivity measurements by a constant flux method[J]. Soil Sci, 1962, 93: 271-

- 274.
- [7] 刘小勇, 吴普特. 雨水资源收集利用[J]. 自然资源学报, 2000, (4): 189—193.
- [8] 马学良, 赵其恒, 田贺红, 等. 国内外设施农业节水灌溉设备技术现状与发展[J]. 节水灌溉, 1999, (6): 4—6.
- [9] 杨荣慧, 王延平, 刘生禹. 集雨袋滴灌在干旱山地枣树栽培中的应用[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(1): 92—95.
- [10] 王梦本. 晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究[J]. 生态学报, 1995, 15(2): 178—184.
- [11] Raats P A C, Gardner W R. Comparison of empirical relationships between pressure head and hydraulic conductivity and some observation on radially symmetric flow [J]. *Water Resour Res*, 1971, 7: 921—928.
- [12] 张玉宝, 忠奎. 黄土高原西部荒漠草原植被恢复的土壤水分管理研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(4): 574—579.
- [13] 孙长忠. 黄土高原荒坡地径流生产潜力研究[J]. 林业科学, 2000, (5): 12—16.

A study on the design of runoff-collecting system for auto-flowing drip irrigation under film and its ecological benefit in slope land of the Loess Plateau

ZHANG Hai¹, YI Yong-hua², YANG Rong-hui¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A study on the design of runoff-collecting system was carried out for auto-flowing drip irrigation under film as well as its ecological benefit in slope land of the Loess Plateau. Utilizing this system invented by the author, the rainfall could be collected in rainy days. On the other hand, in dry season, natural height difference could induce rainfall to drip into collecting bag for auto-flowing drip irrigation under film by dripping tube. These measures raised effectively rainfall use efficiency, solved the difficulty in irrigation due to cracked landform and scattered trench on slope land area. The results of several year trials on drought-resistant forestation and water-saving trial on crops showed that water-collecting drip irrigation system could enhance obviously the soil moisture in 20~70 cm soil layer as well as the survival rate of Acacia, Chinese pine and Jujube to 57.0%, 77.8% and 69.4%, which were 97.7%, 91.4% and 90.5% respectively higher than those in hole irrigation. This technique integrating film mulching under young trees could increase the caulis diameter of Acacia, Chinese pine and Jujube by 26.9%, 55.2% and 49.6% as well as crown cast area by 90.9%, 74.2% and 51.8% in the second year after planting. In the same time, runoff and erosion modulus of soil in treatment plot were decreased by 38.3% and 102.7% respectively compared with the control under 387mm rainfall. Based on these better benefits for ecology and society, it is a better technique with less input, high benefit and simple operation, which could be used widely on crash mountain area and poor place in the hilly area of the Loess Plateau.

Keywords: runoff collection; drip irrigation system design; ecological benefit