

活动式坡地集雨及滴灌系统研究

郭彦彪^{1,3}, 李占斌^{1,2}, 吴南江⁴, 王文龙¹

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100; 2. 西安理工大学水电学院, 西安 710048; 3. 华南农业大学资源与环境学院, 广州 510642; 4. 甘肃定西地区水土保持研究所, 定西 743300)

摘要: 雨水利用是干旱半干旱地区农业发展的生长点, 该文依据干旱半干旱地区自然降水特征、农耕地分布特点、农业种植制度、作物需水与土壤水分动态变化规律, 提出了“上坡春季种粮, 秋季覆膜集雨, 地边打窖贮水, 补灌下部作物”的坡地活动式集雨及灌溉系统, 并对其集雨效率、农田水分效应和系统产出效益进行了试验研究。研究结果表明, 该系统具有集水效率高、保水效果好和增产效益明显的优点, 是一种适合于干旱半干旱地区的集雨灌溉农业模式。

关键词: 干旱半干旱区; 坡地; 活动式集雨灌溉系统

中图分类号: S275.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)06-0056-04

1 引言

我国干旱半干旱地区降雨量小且地下水位低, 农业生产完全依靠天然降水, 人们将其称之为“雨养农业”, 水资源短缺对该区农业发展的限制非常明显。在这些地区, 对雨水资源进行人为调控和深层利用成为必然趋势。首先, 大气降水的时空分布极不均匀, 决定了需水区和非需水区、需水期和非需水期与降水时空分布之间的不协调, 人为进行雨水资源的时空再分配可大大提高其利用效率; 其次, 强烈的蒸发损失和严重的径流损失是造成雨水资源浪费的一个重要方面, 在黄土高原典型半干旱地区, 降水在下垫面的分配大致为径流损失 10%~15%, 无效蒸发损失 60%~75%, 仅有 20%~25% 形成初级生产力^[1], 提高水分利用效率更是旱作农业研究的重点。对于雨水集流的研究, 国内外学者从雨水的收集、蓄存和利用技术方面进行了大量的研究^[2-11], 基于这两方面的考虑, 我们根据黄土丘陵区自然降水特征、农耕地分布特点、农业种植制度、作物需水与土壤水分动态变化规律, 提出了坡地“上部春季种粮, 秋季覆膜集雨, 地边打窖贮水, 补灌坡地下部作物”的坡地活动式集雨灌溉系统, 这是干旱半干旱地区集雨节灌理论研究的进一步探索。

2 研究区概况

定西县安家沟流域属中温带半干旱区, 位于东经 104°38'~104°40', 北纬 35°33'~35°35', 属于黄河流域祖厉河水系的一条小支沟, 海拔 1900~2250 m, 年均气温 6.3℃, 年均 10 活动积温 2 939.1℃, 极端最高、最低气温为 34.3℃、-27.1℃, 年日照时数 2 408.6 h, 太阳年辐射总量 5910.5 J/m², 生育期辐射 3 832 J/m²。多年

平均降水量 427 mm, 且以集中几场暴雨形式出现, 7~9 月份降雨量占全年降雨量 60% 以上, 年平均水面蒸发量 1 510 mm, 总的气候特点是: 降水不足, 光能有余, 各种旱灾频繁 (据 30 年统计, 有 48% 的年份初春旱, 初夏旱达 52%, 伏旱达 42%, 秋旱达 30%)^[10], 特别是进入 90 年代, 干旱频率变大, 且往往春旱和秋旱交替和连续发生, 严重的春旱使农作物生长不良, 甚至无法出苗, 秋季降雨量大但利用率低, 即当地人所说的“无雨人发愁, 有雨土冲走, 春天一把籽, 秋天难保收”。土壤主要是发育在沟间地黄土上的黄绵土和沟道盐渍土, 坡面黄土深厚, 一般达 40~60 m, 植被属草原带干草原区, 自然植被以禾本科、菊科、豆科等草本植物为主。

3 集雨灌溉系统组成及特点

坡地活动式集雨和灌溉系统, 主要由集流区、蓄水区、灌溉区 3 部分组成, 其中坡耕地中上部为集雨区, 下部靠地埂边为蓄水区, 坡耕地下面梯田地为灌溉区 (其纵剖面图如图 1 所示)。该系统以集流面的可移动性 (活动式) 和坡耕地的双重利用为主要特点, 所谓活动式集流面是在坡耕地上当夏季作物收获后, 铺设可移动的塑料薄膜等高效集流材料作为集流面进行雨水收集, 雨季过后将集流材料移走, 来年春季种植作物, 夏季再覆

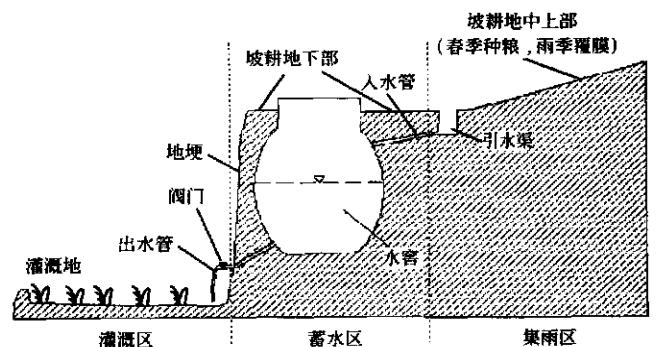


图 1 坡地活动式集雨灌溉系统纵剖面图

Fig. 1 Vertical section of mobile rainwater collection on slope and drip irrigation system

收稿日期: 2002-11-28 修订日期: 2003-05-21

基金项目: 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目 (2000B002); 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX1-10-04)

作者简介: 郭彦彪 (1973-), 男, 硕士生。主要从事土壤侵蚀与水土保持方面的研究。杨凌 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 712100

膜集雨,如此充分利用集流面的可移动性和当地雨季与坡耕地休闲期的重复性集蓄雨水,补灌来年作物。该系统具有一次性投入较大(30 m³ 容积单窖造价 2 000 元左右,塑料膜 1.0 元/m²)、受益时间长(蓄水窖可连续使用 40 年左右)、覆膜简单方便(2~3 人即可,无需任何专用工具)、集雨效率高、增产明显等特点。

3.1 集雨区

该区主要由集流面(或坡耕地)和引水渠两部分组成,其中集流面(或坡耕地)春季用于种植作物,雨季利用覆盖于其上的高效集流材料,承接降雨、汇集雨水,并通过引水渠将雨水引入蓄水窖中。

设计技术要点:

- (1) 覆膜要平整,边缘以土或砖块压实,中间每隔一定距离压上土或砖块,以免被风吹起;
- (2) 薄膜搭接于引水渠边缘上重叠部分在 15 cm 以上,防止漏水;
- (3) 若蓄水窖在 2 个以上,则要求引水渠底部水平,以保证各蓄水窖在同一次降雨中进水量相同,防止“亏溢不匀”现象。

注意事项:

- (1) 庄稼收割后及时耕地、整地、覆膜;
- (2) 集雨期内保证引水渠畅通,发现杂物及时清除;
- (3) 降雨前打开蓄水窖进水口,降雨停止后及时堵上,以免杂物进入,造成进水管堵塞,影响下次进水;
- (4) 根据当地实际情况,雨季过后及时将集雨材料收起并存放于阴凉处,减少集雨材料暴露于户外的时间,以延长使用期限。

3.2 蓄水区

该区主要由蓄水窖和进出水管组成,用来蓄积雨水,调节雨水时空分布,用于下部作物来年利用。

蓄水窖主要要求渗漏小,窖壁强度要符合工程设计要求。目前所用材料主要有混凝土、红胶泥等,其窖体形状有球形、瓶形和圆柱形^[10,11],根据当地情况,容积一般以 20~30 m³ 为宜。因集流面采用高效集流材料,所集雨水含沙量很小,进水口处不需要沉沙池,但进水口处要设有拦污栅,以防止树叶、杂草和植物秸秆等进入蓄水窖中。

3.3 灌溉区

该区主要根据研究地区的地形特征,用电不方便等特点,以位于蓄水区下部、地势平坦的梯田作物为主要灌溉对象,充分利用上下地块之间的自然高差,采用自压灌溉,灌溉方式根据当地实际情况并结合节水农艺措施采用膜下滴灌、膜上滴灌、渗灌、微喷等节水灌溉技术,根据作物需水规律,适时灌溉,达到雨水的高效利用。

4 集雨灌溉试验及结果分析

4.1 试验设计

本次试验设计依据定西地区 7~9 月份次降雨量 5mm 的降雨进行频率统计,以 5 年一遇降水量为设计标

准,采用聚乙烯薄膜为集流材料,用以铺设集流材料的坡耕地面积为 0.28 hm²,地面坡度在 19° 左右,考虑到降雨时集流面的初损因素和集雨材料的集流效率,初步计算该集流面年最大集水量为 300 m³,故设计蓄水容积为 30 m³ 的水窖 10 眼,在蓄水窖下部梯田地配置移动式自压滴灌设施,补灌面积为 0.467 hm²,同时进行集流面集流效率、覆膜坡耕地覆膜前后土壤含水率、蓄水窖蓄水效率和下部灌溉作物产量的观测,并以试验集流坡耕地和梯田地旁边同等条件的坡耕地和梯田地作为其对照地,通过对比分析,研究该系统的集雨效率、土壤水分效应和增产效益。

4.2 集水效率

集水效率的大小严重影响着该系统的整体效益,因受集流面面积的限制,集水量的大小主要决定于集流材料的集流效率。据观测,1998 年和 1999 年两覆膜期内共降水 107.3 mm,共集水 264.3 m³,平均集水效率达 92.4% (见表 1)。

表 1 活动式集流系统集流情况表

年份	集流面积 / hm ²	覆膜时间	同期降雨 / mm	集水量 / m ³ 窖 ⁻¹	集流效率 / %
1998	0.28	08-05 ~ 08-25	68.5	175.0	93.0
1999	0.28	09-19 ~ 10-16	35.2	89.9	91.2

由表中可以看出,以塑料膜作为集雨材料,具有较高的集雨效率,集雨效率在 90% 以上,据观测,该集雨材料对 > 2 mm 的降雨即可产流,属于高效集雨材料,可多年使用,其使用年限目前还不清楚,在 3 年试验期内未发现任何自然破损现象,但在试验小区内因长年在外,受风化等作用 3 年后无法使用。根据同期试验,沙兰特油毡和玻璃布油毡对 > 2 mm 的降雨其集流效率也在 80% 以上,比塑料膜稍低一些,但其强度比塑料膜高,小区试验长年在外 3 年后无破损现象,可以作为该系统集流材料。

水质好也是该系统的一大优点,根据水质化验结果,系统所集雨水完全符合农田灌溉水的要求,而且水体含沙量小、杂物少,窖底泥沙沉积对水窖容积影响不大。所集雨水一般为当年雨水贮存至第二年春夏季才进行利用,因而水基本澄清,有少量密度较小的杂物漂浮于水面(灌溉时可将其捞出),且因出水口位于距窖底约 15 cm 处,水面杂物和窖底泥沙均不会进入灌溉系统,保证了滴灌等灌溉设施的畅通,试验中未发现滴灌带堵塞情况。

4.3 农田土壤水分效应

坡耕地秋季覆膜集雨一方面减少降雨直接入渗土壤,另一方面又减少作物收获后裸地蒸发,为了弄清坡地覆膜集雨对土壤水分的影响,对覆膜前后及未覆膜地的土壤水分变化进行了观测,其土壤水分变化情况见图 2、3。

从图 2、3 中可以看出,覆膜地 0~100 cm 土层深度内土壤含水率在覆膜集雨后均比集雨前和对照地高。由图 2 可以看出,覆膜期前 0~60 cm 深度覆膜地土壤

含水率高于对照地,60~100 cm深度覆膜地土壤含水率低于对照地,而覆膜期后1~100 cm深度覆膜地土壤含水率均高于对照地。从两种地覆膜期前后土壤水分变化看,对照地覆膜期后0~40 cm略有增加,这是由于同期降雨入渗增加了其含水率,而在40~100 cm含水量减少比较明显;覆膜地0~100 cm内土壤含水率覆膜期后均高于覆膜前,由此可见,覆膜集雨不但未因集雨降低土壤含水率,反而能够提高土壤含水率,其原因可能是由于覆膜后抑制的土壤表面蒸发,深层水缓慢上升的缘故,其有关机理有待进一步研究。

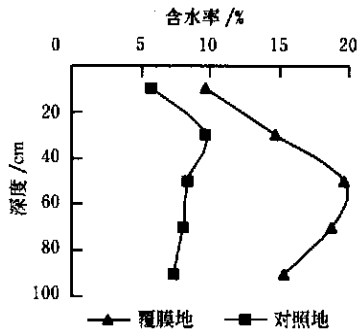


图2 1998年集雨后覆膜地与对照地土壤水分
Fig. 2 Soil moisture of film covered and uncovered field after collecting in 1998

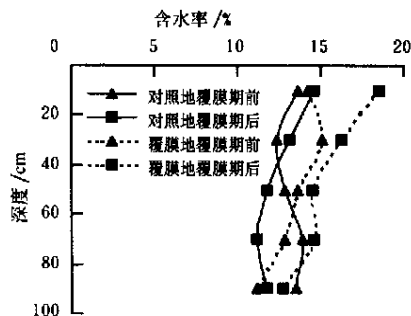


图3 1999年集雨前后覆膜地与对照地土壤水分
Fig. 3 Soil moisture of film covered and uncovered field before and after collecting in 1999

4.4 增产效益

本次试验自1998年开始集雨,1999年开始利用所集雨水补灌下部梯田作物。1999、2000年2年试验研究结果表明,无论是用于覆膜集雨的坡耕地还是灌溉梯田,实行覆膜集雨灌溉后都有明显的增产效益(见表2)。

表2 系统增产效益情况

Table 2 Increase production effect of this system

年份	地类	作物	产量/kg hm ⁻²		增产/%
			试验	对照	
1999	坡耕地	小麦	2502.0	2005.5	25.1
1999	梯田	玉米	3150.0	2250.0	42.0
2000	坡耕地	洋芋	22500.0	18750.5	20.0
2000	梯田	小麦	686.0	319.0	115.0
2000	梯田	豌豆	600.0	270.0	122.0

由表2可以看出,坡耕地秋季覆膜集雨后,由于土壤墒情好,作物初期生长发育良好,可提高产量20%左右,梯田灌溉作物增产效果更加明显,其中2000年梯田小麦和豌豆增产达到100%以上,主要是由于2000年遇到特大旱灾,大田小麦、豌豆几乎绝收,自压滴灌起到保命和增产的双重效果。

5 结果与讨论

通过试验研究表明,活动式坡地集雨及灌溉系统采用活动式坡地集流面,充分利用秋季裸露耕地,利用现代节水灌溉技术,结合农技保水耕作措施取得了明显的集水、保水和增产效果。

1) 采用活动式高效集流面,提高了集水效率,避免了传统集流面占用土地的不足,解决了农业种植用地和集雨用地之间的相互冲突,实现了一地多用。

2) 以集雨的形式达到雨水富集、叠加利用,解决了由于降雨时空分布与农作物需水的不协调而造成水资源短缺问题。

3) 充分利用地形优势,采用自压灌溉,节省能源,减少投资。

4) 采用节水、限量补灌,提高了水分利用效率。

由此可以看出,“上坡春季种粮,秋季覆膜集雨,地边打窖贮水,补灌下部作物”的活动式坡地集流及灌溉系统,是一种符合当地生产实际,具有雨水利用、增产保收和土壤保墒的多重作用的雨水利用模式,实现了土地、雨水和集流材料的高效利用。但是如何提高水分利用效率,进行不同地区、不同作物灌溉时期、灌溉量及灌水方式方面的研究仍需加强。其次,提高集流材料的集流效率和抗破坏强度是提高雨水利用效率的关键环节,研究与开发高效、经济、耐用的集流材料是今后研究的重点。

[参考文献]

- [1] 赵松龄. 集水农业引论[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1996, 132~165.
- [2] Chiarella J V, Beck W H. Water harvesting catchments on India lands in the southwest[A]. Proc Water Harvesting Symp [C]. Phoenix AZ ARS W - 22. USDA, 1975:104~114.
- [3] Anaya M G, Tovar J S. Different soil treatments for harvesting water for radish production in the Mexico valley[A]. Proc Water harvesting Symp Phoenix AZ ARS W - 22. USDA [C], 1975, 315~320.
- [4] Fink D H. Paaffir-wax water-harvesting soil treatment improved with antistripping agents[J]. Soil Science. 1984, 1:45~53.
- [5] Zaslavsky D, Sinai G. Surface hydrology[J]. Journal of hydraul Div ADCE. 1981, 107(Hy1):1~93.
- [6] Smith GL. Water harvesting technology applicable to semiarid subtropical climates[J]. Colorado State University Fort Collins CO, 1978, 95:84~90.
- [7] Frasier G W. Harvestion water for agriculture, wildlife and domestic uses[J]. Journal of Soil Water Cons, 1980, 35:125~128.
- [8] Rauzi F, Fairbourn M L, Landers L M. Water harvesting sufficiencies of four soil surface treatment[J]. J Range Manage, 1973,

- 26:399~403.
- [9] 李建军,赵光耀.黄土高原地区的山坡地降雨径流利用与节水灌溉技术[J].水土保持研究,1998(12).
- [10] 王文龙,穆兴民.黄土高原雨水人工汇集研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):77~81.
- [11] 陈云明,吴普特,杨新民,等.甘肃省集雨节灌工程的调查与分析[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(6):52~57.
- [12] 张富.集雨节灌是雨养农业持续发展的主要支柱[J].中国水土保持,1997(2):25~28.

Mobile rain water collection on slope and drip irrigation system

Guo Yanbiao^{1,3}, Li Zhanbin^{1,2}, Wu Nanjiang⁴, Wang Wenlong¹

- (1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China;
2. College of Water Resources and Hydroelectric Power, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;
3. College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
4. Dingxi Institute of Soil and Water Conservation of Gansu Province, Dingxi 743300, China)

Abstract : Rainwater utilization is a growth point of agricultural development in arid and semi-arid areas. Based on the characteristic of natural precipitation, distributing trait of farmland, agricultural planting system and law of crop requiring water and dynamic variety of soil moisture in arid and semi-arid areas, this paper put forward mobile rainwater collection on slope and irrigation system, in which crop is growing on slope-land in spring, the film is covered for collecting rainwater in autumn, the vaults are built in side of land for storing water and crop is irrigated lower land. At the same time, study was carried out about rainwater collection efficiency, moisture effect of farmland and production of system. The result indicates that this system has the merit of high rainwater collection efficiency, conserving soil moisture well and obvious increase production effect. It is a good rainwater using mode that is fit for arid and semi-arid area.

Key words : arid and semi-arid area; slope; mobile rainwater collection and irrigation system