

半干旱区雨水集流工程的高效开发与利用

郝仕龙^{1,2}, 赵世伟¹, 赵小敏², 李壁成¹

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 江西农业大学国土与资源环境学院, 南昌 330045)

摘要: 半干旱区降雨量低, 且分布不均, 造成水土大量流失, 生态严重破坏, 水资源的合理利用成为制约半干旱区经济发展及社会进步的“瓶颈”因素。雨水资源的集流与利用对半干旱区农业可持续发展至关重要。就固原上黄试区的雨水集流工程的高效开发与利用进行了介绍, 为半干旱区更好地开发与利用雨水提供参考。

关键词: 半干旱区; 水资源; 集水农业

中图分类号: S 273. 1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)03-0013-02

The High Efficient Exploitation and Utilization of Engineering of Gathering Rainwater in Semi-arid Area

HAO Shi-long^{1,2}, ZHAO Shi-wei¹, ZHAO Xiao-min², LI Bi-cheng¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Land Resource and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: The rainfall is very low in semi-arid area, and the distribution is not odds, which result in water and soil losses and destruction of the ecological environment. the reasonable utilization of water resources become the factor of bottleneck for semi-arid area to develop economy. high efficient exploitation and utilization of the resource of rain water is very important for agricultural sustainable development in semi-arid area the engineering of high efficient exploitation and utilization of gathering rain water in Shanghuang experiment area is presented, which provides a reference for semi-arid area to make full use of the resource of rain water.

Key words: semi-arid area; water resource; agriculture of catchments

1 问题的提出

固原上黄试验区地处全国有名的“西海固”老少边穷地区。党中央、国务院对这一地区的经济发展和生态建设十分关心与重视, 曾决定从 1983 年起将“西海固”列为“三西”农业专项计划, 以 20 年时间集中解决这一片贫困问题。中国科学院根据中央领导指示和宁夏自治区要求, 派出一批科学家和科技人员深入宁南山区进行调研与考察, 为中央决策提供了科学依据。并在完成了“固原县农业综合考察与区划”的基础上, 于 1982 年在固原河川乡上黄村建立了科研基点, 进行长期定位试验研究和示范, 拉开了科技攻关的序幕。通过十多年的科技攻关, 取得一批重大科技成果, 试区已成为国家级科研基地与宁南山区的科技辐射源, 为国家治理黄土高原和宁南科技扶贫做出了重要贡献。

“六五”、“七五”其间, 针对宁南山区农业投肥严重不足, 总结出“关键在水, 出路在肥”的科学结论, 并向自治区提出深施化肥的建议, 主管领导亲笔回信, 指示有关部门调集大批化肥, 大力推广深施肥技术。10 多年累计推广 80 多万

hm², 为改变宁南粮食生产长期在低产水平下徘徊局面, 解决群众温饱, 发挥了战略性作用^[8]。

“八五”、“九五”期间随着当地农业迅速发展, 农业需水量不断增加, 雨水矛盾进一步显现, 这样水资源的高效利用成为研究的主要课题之一。在总结试区和一些地方利用窑窖等节水微灌抗旱夺丰收经验的基础上, 及时向自治区提出“大力发展山区窑窖农业”的建议, 自治区主要领导立即批示《宁夏日报》公开报道来信内容, 为促成宁南大规模开展井窖及其它工程措施治理水土流失及发挥了重要作用。在这种情况下, 我们根据试区的实际情况, 对各种治理水土流失的工程措施进行了研究。

2 试区介绍

2.1 自然情况

固原上黄试验区位于宁夏南部黄土丘陵沟壑区的河川乡上黄村, 总土地面积 7.61 km², 属暖温带半干旱区。海拔 1 534.3 ~ 1 822 m, 年平均降水 415.1 mm, 干燥度 1.55, 年

¹ 收稿日期: 2004-12-20

基金项目: “十五”国家科技攻关 (2001BA606A-04)

作者简介: 郝仕龙 (1972-) 男, 江西南昌人, 在读博士, 研究方向是土地利用/覆被变化。

日照时数 2 518 h, 年总辐射量 5 342.4 MJ/m², 年平均气温 6.9, 10 积温 2 350, 无霜期 155 d, 这里气候干旱, 地势高亢, 干旱、低温、霜冻、冰雹、风沙五灾俱全, 生态环境脆弱, 农业生产条件差, 土壤贫瘠(有机质含量 1.1%, 有效 N、P、K 分别为 42, 10.9, 324.4 mg/kg) 的半干旱丘陵沟壑区。这一地区山地占到总面积的 80% 以上。在农业用水方面, 因为低温, 土壤水分有效性降低 2% 左右, 按山坡地 0~2 m 土层年均含水量 13.6% 算(1996~1999 年平均值) 持水量 337.28 mm, 凋萎系数持水值 148.8 mm, 植物生长最大可用水量 188.48 mm, 在温度影响下, 比陕西关中地区有效水减少 30 mm 左右, 占 15.9%, 实际可用水量为 158.48 mm; 因为山坡地产生径流水, 据巨仁等测定, 平均最大径流深 32.8 mm/a(测定历时 5 a), 本课题组 1999 年 6 次定量测定, 降雨 160.2 mm, 径流深 5.32 mm, 占 3.32%, 因径流而土壤流失的降雨量约 20 mm, 占年降雨量的 7%; 又因为土壤无效蒸发量大, 植物可利用水十分有限, 王新民等研究指出, 冬麦对降水的利用率仅占 50%, 另一半为无效蒸发。在山地中, 宁南山区平均 420 mm 降水量, 由于径流和无效蒸发, 有 65.9% 的降水成为无效水, 植物可用水只有 146.33 mm。

2.2 雨水资源

本地区山地产生的径流损失水。以次降水量超过 10 mm 时可产生径流的条件进行计算。首选推算每年产流的降水量及比例, 上黄气象观测点 1991~2002 年的降水情况统计(表 1), 可以看出, 在年平均降水为 405.2 mm 情况下, 次降水大于 10 mm 的累计降水比例为 78.98%, 产生径流降水量 321.1 mm, 径流率 6.69%, 产生径流损失水 21.62 mm, 1 km² 可产 21 620 t 水用于灌溉, 每公顷地补充灌水 900 t, 可灌溉 24 hm² 农田。占农地灌溉量的 24%。1 hm² 的径流损失水可灌溉 0.24 hm² 农地。

3 研究方法

在山地中, 除自然坡地外, 经过人为活动, 形成一系列保水工程(有工程和耕作措施两种) 地形, 主要有梯田、坝地、条带田、鱼鳞坑、沟谷坊、道路集水窖, 在农耕地中还有水平沟等。这些地形拦截径流侵蚀水。但各自的作用空间有多大, 所占比例如何, 作为雨水集流工程一部分作了研究, 从 1998 年开始, 我们根据黄土高原西部温凉干旱山区的地形特点, 选取 5 个具有代表性的沟谷坊、鱼鳞坑、梯田、条带田和道路集水窖, 并设置对照(有农田陡坡地、荒坡陡坡、缓坡地等) 进行了定点观测测定。

4 结果分析

通过对上黄试区的定点观测, 其结果列于(表 2)、(表 3), 进行分析后, 我们可以得出以下结论:

(1) 采取水保措施能起到防止水土流失的作用, 能充分利用雨水资源, 如条带田、梯田、鱼鳞坑可分别使 72.05%、77.16% 和 88.09% 的降水就地渗入土壤中, 比对照耕种的坡地农田分别多积水 13.78%、18.89%、29.82%, 这表明在坡地耕种其雨水资源的利用率较低, 必须利用工程措施加以

改造, 或是退耕还林还草。

表 1 次降雨大于 10 mm 的降水统计

年份	降水大于 10 mm 次数	降水大于 10 mm 的累计降水/mm	年总降水/mm	占年总降水/%
1991	11	190.9	260.7	73.23
1992	12	452.7	523.5	86.48
1993	12	130.6	335.3	68.60
1994	14	363.8	447.4	81.33
1995	14	394.9	441.0	89.55
1996	11	394.1	514.9	76.54
1997	10	290.5	338.3	85.87
1998	13	340.9	433.7	78.60
1999	11	256.2	319.1	80.27
2000	12	339.4	391.8	86.63
2001	13	309.3	388.7	79.58
2002	14	338.7	428.9	82.72
平均	12	316.8	401.9	80.8

表 2 不同工程措施的降水流量

类型	总降雨/mm	测定次数	渗入量/mm	占降雨量/%	
水保措施	沟谷坊	519.3	10	996.34	218.64
	鱼鳞坑	401.5	11	353.69	88.09
	梯田	419.4	11	323.63	77.16
	条带田	450.9	10	324.87	72.05
	道路集水窖	91.9	3	可收集水 1.2728 m ³ , 实收集水 1.271 m ³ , 占降雨 99.86%	

表 3 对照(农田、荒坡地)的雨水流量

类型	坡度/°	降雨/mm	测定次数	渗入量/mm	占降雨/%
农地	10	419.4	10	244.38	58.27
荒坡	10	419.4	9	209.87	50.04
荒坡	15	419.4	9	171.77	41.61

(2) 在对坡耕地进行工程改造后, 可能还会有一定的径流, 汇集这部分径流水, 在干旱山区很有用, 一则防侵蚀, 二则作补充灌溉。沟谷坊和道路集水窖是最好的形式。沟谷坊可以对山地上、中、下部的过剩水进行有效拦截, 蓄水率达到同期降雨的 218.6%; 在沟道内, 对一些未能拦截的降水, 可以道路旁的窑窖蓄收, 接纳率为 99.86%。

(3) 梯田在拦蓄径流方面的作用, 已为前人所总结, 尤其是宽面梯田(超过 10 m), 作用极其明显。宁南山区梯田的截水功能, 经过 1998~2002 年 33 次测定为: 合计降水量 803.3 mm, 占合计降水量的 101.66%, 总体平衡, 即是所有梯田可全部就地入渗。持续扩大农地梯田建设是有益的。

(4) 对退耕地可适当地加以工程措施进行改造, 比如挖沟谷坊、鱼鳞坑等, 提高其拦蓄降雨的能力, 这样使其能在较短的时间内恢复植被, 发挥其生态功能。

目前从集水工程方面研究提高降水利用率都是非常必要的。因考虑山区径流水的作用, 它不仅防止水土流失, 又会集损失水为有效水。据统计, 本地区山地年径流量可达

(下转第 26 页)

- [7] Bhattacharyya T, Mukhopadhyay S, Baruah U, et al. Need for soil study to determine degradation and landscape stability [J]. *Current Science*, 1998, 74(1): 42– 47.
- [8] Albaladejo J, Martinez Mena M, Roldan A, et al. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment [J]. *Soil Use & Management*, 1998, 14(1): 1– 5.
- [9] 傅伯杰, 王军. 黄土丘陵区土地利用对土壤水分的影响 [J]. *中国科学基金*, 1999, 13(4): 225– 227.
- [10] 张桃林, 潘剑君, 赵其国. 土壤质量研究进展与方向 [J]. *土壤*, 1999, 1: 1– 7.
- [11] Taksin Oztas, Ali Koc, Binali Comakli. Changes in vegetation and soil properties along the slope and on overgrazed and eroded rangelands [J]. *Journal of Arid Environment*, 2003, 55: 93– 100.
- [12] 李壁成, 焦锋. 固原上黄试区土地利用动态监测与分析评价 [J]. *水土保持研究*, 1996, 3(1): 14– 21.
- [13] 南京农业大学. 土壤农化分析 [M]. 北京: 农业出版社, 1985.
- [14] 王恒俊, 张淑光. 黄土高原地区土壤资源及其合理利用 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 160– 173.
- [15] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国中亚热带缓丘区红黏土土壤肥力的演化—— 物理学肥力的演化 [J]. *土壤学报*, 1999, 36(2): 35– 46.
- [16] 常庆瑞, 安韶山, 刘京. 黄土高原恢复植被防止土地退化研究 [J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(4): 6– 9.
- [17] Saha B, Samra JS, Kehar Singh. Physicochemical properties of soil under different land use systems [J]. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 1999, 47(1): 133– 140.
- [18] 孙波, 赵其国, 张桃林, 等. 土壤质量与持续环境 . 土壤质量评价的生物学指标 [J]. *土壤*, 1997, 5: 225– 234.
- [19] Kennedy A C, Papendick R I. Microbial characteristics of soil quality [J]. *Soil Water Conserv.*, 1995, 5: 243– 247.
- [20] 胡斌, 段昌群, 王震洪. 植被恢复措施对退化生态系统土壤酶活性及肥力的影响 [J]. *土壤学报*, 2002, 39(4): 1– 5.
- [21] Acosta-Martinez V, Zobeck TM, Gill TE, et al. Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agricultural soils [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 3: 216– 227.

(上接第 14 页)

20 000 m³/km², 相当 199.5 m³/hm², 按每 1 hm² 900 m³ 补灌量统计, 4 hm² 地的径流水可灌 1 hm² 农地。通过窑窖集流径流水, 可解决此问题。在宁南半干旱山区, 果树生产的主要障碍是干旱。该区年平均降水量仅有 400 mm, 不能满足果树生长发育的需要, 故导致低产低效。因此, 建设窑窖, 汇集地表径流, 节水灌溉, 是高效果园建设的重要途径。近年来, 我们在上黄对窑窖集流, 节水补灌, 高效果园建设研究结果: (1) 以历年平均降水量 400 mm 为对照, 不同补水量较对照树体生长发育、产量、品质都有明显提高的效果; (2) 在年补水量 150 mm, 总水量达 550 mm 的情况下, 对果树生长发育、产量、品质提高效果最好。

5 结 论

集水农业工程所依据的系统发展思想及综合的技术体系, 使得它所造成的效益也具有综合、系统的特征。从发展的时序来看, 已经取得的经济效益是十分显著的, 粮食产量迅速提高, 人均收入有所增加, 温饱问题基本解决, 这是集水农业的最为直接的经济效益, 社会效益, 生态效益也得到了显现, 集水工程由于其难度低、投资少、见效快, 对半干旱地区农村的环境、生产力水平等实际情况具有很好的适应性, 从而成为一种农民易于接受的、可操作的和现实的技术。其作参考文献:

- [1] 马天恩, 高世铭, 等. 黄土高原半干旱区集水高效利用技术体系的研究 [J]. *农业现代化研究*, 1994, 5(3): 166– 167.
- [2] 何久安. 干旱地区雨水利用及发展方向 [J]. *干旱地区农业研究*, 1998, 16(3): 84– 88.
- [3] 李文萍, 刘兴安, 等. 浅谈黄土高原地区水土流失灾害及其防治 [J]. *四川水利*, 2003, (4): 37– 38.
- [4] 付会芳. 黄土高原水土流失及其防治措施 [J]. *水土保持研究*, 1997, 4(1): 161– 162.
- [5] Will Critchley, Klaus Siegert. 径流集蓄 [M]. 孙振玉等译. 北京: 中国农业科学出版社, 1996. 35– 114.
- [6] 王克勤, 等. 国内外外林业集水技术的研究进展 [J]. *干旱地区农业研究*, 1996, 14(4): 109– 114.
- [7] 韦惠兰, 白建明, 等. 黄土高原半干旱区集水农业效益分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 1998, 12(3): 41– 42.
- [8] 李壁成, 安韶山, 等. 宁夏南部山区生态环境建设与科技扶贫战略研究 [J]. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(1): 107– 110, 23– 26.

用主要表现为:

(1) 为解决长期以来困扰人们生活、生产的缺水问题找到了切入点, 因而能够很快地深入人心, 加之具有较好的适应性, 故可有效地调动公众的主动积极性, 激发公众的参与热情和使命感, 最终形成人与技术有机结合。

(2) 发展集水农业, 充分合理开发利用自然资源, 可有效地提高综合农业生产力, 提高经济水平。在缺水和水土流失严重的黄土高原地区, 这一作用尤为显著。集水农业技术的推广和发展, 可极大地提高我国旱作农业的发展水平, 提高我国水土保持理论和水土流失区的治理水平。

(3) 集水农业为生态重建提供了一条新路。通过集水农业发展农业, 退耕还林还草, 促进生态系统向良性循环转化, 减少自然灾害的发生。干旱和水土流失总的来说是自然现象, 而保持自然环境、搞好水土保持和集水农业, 为有效解决黄土高原区的干旱和水土流失, 促进生态系统的良性循环创造了条件。

总之半干旱区水资源匮乏, 自然灾害严重, 十年九旱, 要提高农业综合效益, 就要加强农业基础设施建设, 建设集水农业小区和集水农业大系统, 应用集水工程抗旱技术, 对于提高抗旱、抵御自然灾害的能力, 改善生态环境, 促进生态经济的协调发展将发挥巨大作用。