

# 半干旱地区集雨利用模式及其评价

黄占斌<sup>1,2</sup>, 程积民<sup>2</sup>, 赵世伟<sup>2</sup>, 辛小桂<sup>2</sup>, 刘学军<sup>3</sup>

(1. 中国矿业大学(北京校区), 北京 100083; 2 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; 3 宁夏水利科学研究所, 银川 750021)

**摘要:** 集雨利用是半干旱地区提高生产力和实现区域农业持续发展的重要途径。该文根据国内外近年集雨利用的研究和实践, 结合半干旱地区实际, 总结提出了雨水收集利用的 5 种模式, 即庭院集雨人畜饮水利用模式、庭院集雨多种经营利用模式、人工汇集雨水农田补灌利用模式、山坡地集雨林草建设利用模式和小流域集雨综合利用模式, 对这些模式雨水收集和利用特点和系统化建设效果进行分析; 并对集雨利用模式的效益, 特别是社会、经济和生态效益评价的指标体系进行探讨, 为合理和安全利用雨水资源提供参考。

**关键词:** 半干旱; 集雨利用; 模式; 效益评价

**中图分类号:** S282; TV 213.4

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-6819(2004)02-0301-04

## 0 引言

雨水自天而降, 是一种洁净的水资源, 是半干旱地区农业生产地主要水资源。半干旱地区占国土面积 1/5, 是我国 21 世纪粮食生产的重点开发地区, 这些地区农业生产主要依赖 200~600 mm 的年降水资源, 其开发潜力巨大。仅黄土高原地区, 土地面积 62 万 km<sup>2</sup>, 区域年均降雨 443 mm, 总量达 2757 亿 m<sup>3</sup>, 是其当前地下水地表水资源量的 9.2 倍<sup>[1]</sup>。然而, 由于降水时空分布的不均衡, 暴雨和干旱引起洪涝、水土流失和农业干旱等灾害时有发生, 并呈加剧趋势, 进而引发农业生产力降低和生态环境退化等系列社会经济问题, 水资源短缺及雨水资源化利用已经成为这些地区持续发展的关键因素。

雨水资源开发利用是一项古老而具有开发潜力传统技术。雨水利用曾有力地支撑了古代许多地方的灿烂文明<sup>[6]</sup>。公元前 6000 多年的阿滋泰克(Aztec)和玛雅文化时期, 人们已把雨水用于农业生产和生活。公元前 2000 多年中东地区, 阿拉伯闪米特部族的纳巴泰人在降雨仅 100 mm 的内盖夫(Negev)沙漠, 创造了径流收集雨水种植庄稼, 现在仍在应用。印度西部塔尔沙漠, 人们通过水池、石堤、水坝、水窖等多种形式收集雨水, 获得足够的水量来支持世界上人口最稠密的沙漠, 每平方公里达 60 人。近年来, 随着全球性干旱加剧与水问题突出, 国际上成立国际雨水利用协会(IRCSA), 并召开了 10 届国际会议。以色列、澳大利亚、美国、印度、伊朗等国家已将雨水利用作为面向未来的战略选择。日本等一些工业化发达国家用雨水补调城市供水, 并制定《旱地区雨洪利用》指南。

我国早在 4000 年前的周朝时期, 农业生产中就利用中耕等技术增加降雨入渗, 提高作物产量的雨水利用。秦汉时期修建涝池塘坝拦蓄雨水进行灌溉; 水窖修筑历史也有数百年, 甘肃会宁有一清朝末年修筑的水窖至今仍在用。20 世纪 50 年代, 人们利用窖水点浇玉米、蔬菜等, 开始进行集雨农业利用。20 世纪 80 年代后期发展集雨庭院经济和大田作物集雨补灌试验与示范工程, 甘肃省实施“121 雨水集流工程”; 宁夏在南部山区实施“窑窖农业”; 内蒙在准格尔旗和清水河县进行“112 集雨节水灌溉工程”试验示范, 极大推动半干旱地区集雨利用。与此同时, 我国集雨利用科研工作不断深入, 1995 年北京举办第七届国际雨水集流系统大会, 全国也召开四届全国雨水利用学术会议, 2001 年成立中国雨水利用协会。“九五”国家科技部设立“人工汇集雨水利用技术研究”专题, 在宁夏、甘肃和内蒙建设示范区<sup>[6]</sup>。中国妇女发展基金会于 2000 年承办全国妇联所委托的“情系西部·共享母爱”世纪爱心活动, 当年募捐 1.16 亿元社会资金, 已经建成水窖 8 万余眼, 使 78 万妇女和群众免受干渴之苦, 集雨利用也更加社会化。2001 年国家颁发《雨水集蓄利用工程技术规范》<sup>[5]</sup>, “十五”国家科技部在“节水重大专项”中, 设立“雨水收集利用材料”课题, 以及“雨水收集利用技术集成模式示范区”建设, 在宁夏、内蒙、河南和山西设立 4 个示范区。

本文根据近年国内外雨水收集利用研究和实践, 主要是总结半干旱地区雨水收集利用模式, 并对这些模式雨水收集和利用效益, 特别是社会、经济和生态效益评价的指标体系进行探讨。

## 1 半干旱区雨水收集利用的模式

按照利用目的, 雨水收集利用可分为人畜生活用水、农业生产用水和生态建设用水 3 种类型; 按照集雨下垫面, 雨水收集利用可分为庭院集雨、道路集雨、山坡地集雨和小流域集雨等类型; 综合两方面, 可将雨水收集利用总结为以下 5 种模式。

### 1.1 庭院集雨的人畜饮水利用模式

庭院集雨的人畜饮水利用, 是世界各国比较成熟

收稿日期: 2003-04-14 修订日期: 2003-11-13

基金项目: 国家“十五”863 节水专项课题(2002AA 6Z3301, 2002AA 2Z4171)资助

作者简介: 黄占斌(1961-), 男(汉), 陕西武功人, 研究员, 博士生导师, 主要从事旱地农业、植物水分生理生态及水分高效利用、环境生物学等方面研究。北京市 中国矿业大学(北京校区)127 信箱, 100083, Email: zhuang2003@163.com

的,也是应用最为普遍的集雨水利用模式。其主要构件就是屋面、庭院场地收集雨水;再将雨水存贮在钢制、木制、陶制或水泥水缸等贮水容器;供人和家畜饮水和生活用水。庭院集雨的人畜利用模式对水质要求较严格,一般都要达到生活饮用水的标准。取水的方式多种多样,推广应用的地区范围也非常大,包括一些发达国家和发展中国家,地区年降雨量从 100 mm 到 4000 mm。John Gold 编写的《家用雨水收集系统——设计、建造与应用》对此有较系统的介绍<sup>[4]</sup>。

美国从 20 世纪 80 年代初研究用屋顶雨水集流系统解决家庭供水,泰国农村集雨利用规模最大。20 世纪 80 年代以来泰缸工程建造 1200 多万个  $2\text{ m}^3$  的家庭集雨水缸,解决了 300 多万农村人口吃水问题。澳大利亚在农村及城市郊区的房屋旁,普遍建造用波纹钢板制作的圆形水仓,收集来自屋顶雨水。非洲肯尼亚的许多地方,UNDP 和世行的农村供水和卫生项目把雨水存储罐作为项目的一个重要内容,在学校、医院建造  $10\sim 100\text{ m}^3$  的储水罐。以后,这种技术传到博茨瓦纳、纳米比亚、坦桑尼亚等地,带动了非洲集雨工程发展。拉丁美洲的集雨利用比较普遍,墨西哥的 Chiapas 高原雨水收集系统较完善,巴西东北部的半干旱带 Petrolina 地区,在国际组织资助下,居民修建用铁丝网水泥、预制混凝土板、石灰衬砌和砖砌的储水罐 2000 多个<sup>[7]</sup>。我国半干旱地区庭院集雨利用比较突出的是甘肃定西实施“121”集流工程,到 1996 年累计实施 10 35 万户,硬化砼集流场  $766\ 83\text{ 万 m}^2$ ,新建水窖 10 27 万眼,维修利用旧窖 8 5 万眼。全部工程解决了 48 5 万人和 58 5 万头牲畜的饮水困难,而且还带动了庭院经济的发展,增加了群众收入。

## 1.2 庭院集雨的多经营利用模式

庭院集雨的多经营利用,是庭院集雨的人畜利用的延伸,是贫困地区家庭经济收入的途径之一,也是富裕家庭丰富业余生活的一种活动方式。其主要构件就是利屋面、庭院场地收集雨水;再将雨水直接连通到经营的大棚菜地,或将雨水存贮在贮水容器,在植物需水或家畜饮水时取用。

庭院集雨的多经营利用模式对水质要求没有象人畜饮水那样严格,但利用的方式多样。一般主要包括:大棚蔬菜、大棚养畜(牛、羊、猪等)、苗圃、食用菌种植等。

由于雨水蓄集利用技术的实施,改变了农村原来单一种植结构,使农民有条件种植高产优质的粮食作物,有条件发展蔬菜、林果和家庭养殖业,促进了农村经济的发展。同时,也促进了农民思想观念的转变,对新品种、新技术、新产品,农民都乐于接受,积极推广。思想观念从原来的解决温饱转变为如何脱贫致富奔小康,这在“母亲水窖”工程中较多采用。

## 1.3 人工集雨的农田补灌利用模式

人工汇集雨水补充灌溉利用,是指将屋面、场院、道路、荒坡上产生的径流,经净化处理而导入水窖中蓄存,以供补充浇灌作物的一种利用雨水的方式。也包括利用

田间耕作等为集雨工程,进行的农田微集雨利用方式。

人工集雨的农田补灌利用模式主要构件是集雨面选择与建设、雨水存贮方式与布局、以及雨水高效利用方式与效果。调查表明,集雨工程绝大部分是利用硬地面(场、院、土石路面)和路面作集流场。

“九五”期间笔者课题组在甘肃定西进行人工汇集雨水研究,总结提出黄土高原 3 种水窖配置模式及相应的窖水配套技术<sup>[2]</sup>,即:峁顶光头式配置模式、路旁葡萄串式配置模式及场、院、凹地单点式配置模式,其相应的窖水高效利用技术为自压微灌、外动力加压微灌、坑灌及水肥穴灌。

峁顶光头式水窖配置模式,是陕西榆林针对黄土高原丘陵沟壑区农田分布在峁坡、梁、沟中,没有灌溉条件,结合雨水收集利用首先提出的。地点为离村庄较近,基本农田和经济作物较集中山峁,将山顶推平,然后挖窖体,用块石或青砖圈砌蓄水窖,容积  $300\sim 800\text{ m}^3$ 。窖顶集雨面为素混凝土现浇防渗地坪,一般为圆形和长方形,四周向中心倾斜以利集雨。

路旁葡萄串式水窖配置,是指沿黑色路面(或弱透水土、石子路面)两侧农田中各农户分别开挖水窖(瓶窖或长方体水窖),收集路面径流,浇灌作物。这是近年在黄土高原出现最多的一种水窖配置模式。

水窖单点式配置模式,是指在居民点的院内,打谷场边,山坡集水凹地等场地开挖水窖,以收集屋面、打谷场上、凹地上的径流,供人畜饮用或为庭院经济、农田或植树造林提供灌溉水源。水窖以花瓶状者居多,容积多在  $20\text{ m}^3$  左右。甘肃省定西县多年平均降水量为  $425.1\text{ mm}$ ,容积为  $20\text{ m}^3$  水窖一般需要集雨面  $140\text{ m}^2$ 。

我们在甘肃定西安家坡流域还创造了坡地活动式集雨节灌模式,提出“上部坡地夏季种粮、秋季覆膜集雨,地边打窖贮水,补灌下部作物”的一地多用、低耗高产、水保与集雨相结合的综合配套模式<sup>[6]</sup>。试验地集雨面积  $0.28\text{ hm}^2$ (坡地),集雨材料为活动式塑膜,地边设有球形、圆柱形、瓶形贮水窖 10 眼(均为  $30\text{ m}^3$  容积),下部配套自压式滴灌系统一套,补灌农田面积  $0.73\text{ hm}^2$ 。结果表明:防渗膜的集流效率可达到 93%,补灌新修梯田玉米  $\frac{1}{15}\text{ hm}^2$  产量达到 210 kg,比对照增产 40%,集流场坡地覆膜后播前土壤含水率为 15.34%,而对照区为 12.48%,有效地保持了土壤水分,坡地春小麦  $\frac{1}{15}\text{ hm}^2$  产量达 166.8 kg,比对照高 33.5 kg,增产 25.1%。

## 1.4 山坡地集雨的林草建设利用模式

山坡地集雨的林草建设利用,是指在坡地表面采取消除径流或利用径流两种方式,采取水土保持工程措施,收集径流或增加土壤水分入渗,达到雨水收集利用目的。消除径流工程,如坡改梯,修筑水平梯田,变坡地为平地,使降水就地入渗拦蓄,地面不发生径流;利用径流工程,如隔坡梯田、隔坡水平阶地造林种草、隔坡竹节形水平沟造林种草、鱼鳞坑等,是创造一种平坡相间的微地形,坡段产生径流,平段加以拦蓄利用,使雨水在微地域内富集叠加,一块地对 2~3 块地,以弥补降水的不足。

足。

在陕西延安宝塔区燕儿沟, 隔坡梯田苹果已十分普遍, 其利用方式是坡段种牧草(苜蓿), 平段栽种苹果。牧草饲养牛、羊, 生畜粪便供果树施肥, 形成良性生态循环。隔坡梯田水平田面宽度与隔坡长度之比为 1:1。根据坡度的不同, 水平田面的宽度约为 2~3 m, 栽种一行果树。结合目前“退田还林(草)”, 应大力倡导修筑隔坡梯田, 平段种粮, 坡段种草种灌木。

1.5 小流域集雨综合利用模式

小流域集雨综合利用, 是指以自然小流域为单元, 进行雨水收集利用的方式。小流域综合治理是黄土高原地区, 也是半干旱地区国土整治和区域发展的重要方式。一般面积在 10 km<sup>2</sup> 左右, 集雨面积包括坡面、沟道等不同下界面, 水资源不仅包括降雨资源, 还包括地下潜流、小泉水和坝地小水库等水资源, 构成小流域集雨的综合性。

小流域集雨综合利用的特点是: 集雨面积种类多样; 存贮水形式多样, 有坝地小水库、泉水和地下潜流; 集中调配量比较大, 利用途径比较多样。其水土保持效益、生态环境效益明显; 社会经济效益持续时间长, 综合性效益比较突出。

小流域雨水收集利用模式, 实质是一个流域雨水管理问题, 但专门研究还较少。这里以黄土高原综合治理 11 个示范区的雨水资源供需平衡, 对小流域雨水资源的综合利用进行分析<sup>[3]</sup>。小流域对水资源基本需求可分为生活需水(主要为畜用水)、生产需水(主要为农业粮食需水)、生态需水(主要为林草需水) 3 个方面。生活用水的标准参考国家公布的农村人口及牲畜需水标准; 农业粮食需水以黄土高原的水分生产效率的现实水平为标准, 生态需水以黄土高原适生树、草正常生长所需水量为标准, 3 种基本需水量标准见表 1。

表 1 3 种基本需水量标准

Table 1 Three kinds fundamental standard of water requirement

需水对象	单位	需水定额
生活用水	人口(个)	25 L · (人 · 天) <sup>-1</sup>
	牲畜(羊单位)	9 L · (头 · 天) <sup>-1</sup>
生产用水	粮食/kg	1.33 m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup>
	乔木林	7000
生态用水 /m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup>	灌木林	3500
	经济林	3500
	人工草地	4000
	天然草地	3000

按照小流域基本需水标准和计算办法, 对 11 个试验区的年总需水量计算(表 2)。结果表明, 目前试验区小流域的需水总量中生态需水量最大, 占总需水量 75.63%, 农业需水量其次, 为 23.69%, 人畜需水量比例最小, 仅 0.68%。

2 雨水收集利用模式的评价

目前, 对雨水收集利用模式的评价研究还刚刚起

表 2 11 个试验区小流域年需水量计算结果

Table 2 Results of annual water requirement in 11 watersheds

序号	试验区名	人畜需水		农业需水		生态需水		年需水量 /10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
		需水量 /10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	比例 /%	需水量 /10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	比例 /%	需水量 /10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	比例 /%	
1	淮旗	8.69	0.31	0.18	6.44	2.63	93.25	2.82
2	米脂	10.73	0.86	0.43	34.63	0.80	64.51	1.25
3	离石	22.11	0.77	0.86	30.28	1.97	68.94	2.85
4	安塞	8.68	0.31	0.30	10.50	2.51	89.19	2.81
5	长武	26.92	0.87	1.14	36.85	1.93	62.28	3.10
6	隰县	20.24	0.55	0.71	19.17	2.96	80.28	3.69
7	淳化	21.78	0.65	0.82	24.43	2.52	74.92	3.36
8	乾县	32.29	1.03	0.99	31.62	2.11	67.34	3.13
9	固原	10.50	0.44	0.27	11.10	2.12	88.46	2.40
10	西吉	98.29	0.65	0.34	22.60	1.25	76.75	1.51
11	定西	27.21	1.05	0.85	32.99	1.71	65.96	2.59
平均值		18.09	0.68	0.63	23.69	2.04	75.63	2.68

步, 一般效益分析主要包括社会、经济和生态 3 方面的效益。社会效益包括: 区域政治安定、民族团结、人民健康, 生活水平或质量变化, 妇女参与社会活动, 抗灾能力增强与区域持续发展等; 经济效益包括: 粮食增产增收, 投入与产出比, 基础建设变化等; 生态效益包括: 自然景观变化, 水土保持与资源持续利用, 生产条件改善, 和生活环境的变化等。

模式效益的评价, 首先要确定评价方法和指标体系的选择。评估方法综合起来主要包括:

- 1) 文献法。包括工程建设和验收的技术资料和管理资料, 地方调查和专家专题研究等。
- 2) 访谈法。对象包括项目管理人员、专家顾问和受益群众等。
- 3) 调查和实地考察法。包括实验观察和实地调查两种方式。
- 4) 问卷法。主要以受益农户进行问卷统计分析。
- 5) 抽样法。包括各种模式和应用农户或对象进行实地抽样, 分析集雨利用的效益。

在效益的评价指标方面, 社会、经济和生态效益各有不同, 主要包括以下方面。

- 1) 区域整体抗旱减灾能力: 基本农田面积及其占耕地比例变化; 干旱年份减产面积和农产品量增减; 水荒与区域安定团结。
- 2) 农田生产力提高: 粮食作物单产和总产增减; 投入产出比; 农田结构布局变化与经济效益增减。
- 3) 资源利用率和利用效率: 水土等自然资源持续利用能力; 水土和气候资源的利用率变化; 雨水和区域水资源利用效率提高等; 水质分析于群众健康等。
- 4) 农户生活水平提高: 现代生活用品的拥有量; 学生就学水平; 家庭经济收入; 妇女参与社会活动能力; 文化生活变化; 恩格尔系数(用于购买食物的支出占家庭总收入的比例); 贫困户减少数量。
- 5) 生态环境变化: 植被覆盖率; 植树成活率; 自然景观变化; 水土质量变化; 群众居住条件变化。
- 6) 雨水收集利用技术水平变化: 示范推广面积、水



窖数量、水窖种类与布局、节水灌溉面积、节水灌溉方式、管理运行方式等。

对一个区域、一种模式的评价方法和效益评价,要根据区域的实际进行论证确定,相关体系需要深入研究。

#### [参 考 文 献]

- [1] 黄占斌, 山 仑, 张岁岐, 等. 雨水集流与水土保持和农业的持续发展[J]. 水土保持通报, 1999, 17(1): 54- 57.
- [2] 蒋定生. 论窖灌农业中水窖的配置模式与高效利用技术[J]. 自然资源学报, 2000, (1): 24- 28.
- [3] 冯浩, 邵明安, 吴普特. 黄土高原小流域雨水资源化潜力计算方法及评价初探[J]. 自然资源学报, 2001, 3: 140- 144.
- [4] John Gold, Erik Nissen-Petersen. Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply—Design, Construction and Implementation [M]. London, UK: International Technology Publication, 1999: 20- 44, 240- 249.
- [5] 吴普特, 黄占斌, 高建恩, 等. 人工汇集雨水利用技术研究[M]. 郑州: 黄河出版社, 2002: 1~ 12, 155- 183.
- [6] 中华人民共和国行业标准(SL 267- 2001)雨水集蓄利用工程技术规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [7] 张祖新. 雨水集蓄工程技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.

## Models of rainwater harvesting system and their benefit evaluation in semi-arid areas

Huang Zhanbin<sup>1,2</sup>, Cheng Jinjin<sup>2</sup>, Zhao Shiw ei<sup>2</sup>, Xin Xiaogui<sup>2</sup>, Liu Xuejun<sup>3</sup>

(1 China University of Mining & Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 3 Ningxia Institute of Water Conservancy Science, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** Rainwater harvesting and utilization are important for regional development in northwestern semi-arid areas. According to research and practice development over the world in recent years, this paper summarized and brought forward five models of rainwater harvesting system in semi-arid areas, that including model of rainwater collecting by courtyard for drinking of people and livestock, model of rainwater collecting by courtyard for mixed farming, model of manpower rainwater harvesting for limited water supply in farm land, model of rainwater harvesting on slope land for rebuilding of forestry and grassland, and model of rainwater harvesting by watershed for all-around use. The characteristics of rainwater harvesting system on collecting, storing and cleaning, and using methods in different models were analyzed. On the other hand, the paper also discussed the method and index of benefit evaluation for rainwater harvesting and utilization models on society, economics and ecology, these are very useful for more suitable and safe use of rainwater resources.

**Key words:** semi-arid; rainwater harvesting and utilization; model; benefit evaluation