

黄土高原路面雨水的农业资源化利用技术

杨启良, 张富仓, 刘小刚

(西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 通过对黄土高原水资源现状分析, 提出了采用消能淤泥坑, 通过直接、间接将路面雨水引入农田“土壤水库”或时空可调节的自压式集流水窖等贮水设备中, 并采用一定的耕作农艺措施将路面雨水利用到农田中的方法和技术。多年的甘肃定西试验和实践表明, 使用这种技术不仅提高了天然降水的利用效率, 而且简单易行, 是黄土高原地区农业雨水资源利用的一个有效途径, 同时该技术具有防止水土流失和改善旱区农业生态环境的效应。

关键词: 黄土高原; 路面雨水利用; 农业资源化; 淤泥坑; 自压式蓄水窖

中图分类号: F323. 213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)04-0134-07

水是社会经济持续发展和保持良好生态环境最重要的自然资源之一。中国虽然在水资源的总量上居世界第六位, 但是由于人口众多, 人均水资源的占有量只有世界的四分之一。同时水资源在时空分布上不均, 特别是黄土高原干旱、半干旱地区, 人均水资源远远低于全国平均水平, 导致黄土高原区水资源供需矛盾特别突出, 水资源成为本区工农业生产、农村社会发展和生态环境改善的主要限制因子, 因此, 在缺乏地表水、地下水资源的黄土高原区, 绝大数地区靠天吃饭, 水资源严重制约本地区农业经济和社会发展。因此充分利用有限的雨水资源发展本区经济显得尤为重要。而集水农业的产生是雨水资源化利用的一条新途径, 为世界旱地农业的发展注入了活力^[1, 2], 本文在总结国内外关于路面雨水利用的基础上, 提出了我国黄土高原路面雨水的农业资源化利用技术, 并对甘肃定西路面雨水利用效益进行了分析。

1 雨水资源利用研究进展

当雨水作为一种用来满足人们生活和生产及改善生态环境的物质资料时, 它就成为雨水资源^[2]。所谓雨水农业资源化利用技术就是通过一定的工程技术、耕作农艺措施将天然降水利用到农业生产中产生直接经济、生态效益的方法。

雨水资源的利用已历史悠久。大型水利工程早在夏商时期就已开始出现, 微小型集雨技术也出现在 4000 多年前, 中东涅杰夫沙漠地区农民通过集雨进行农业生产^[3]。美国的雨水利用大多以提高天

然入渗能力为目的。日本兴建滞洪和储蓄雨水的蓄洪池, 并将蓄洪池的雨水用作喷洒路面、灌溉绿地等城市杂用水。德国利用公共雨水管收集雨水, 处理后达到杂用水水质标准, 用于街区公寓的厕所冲洗和庭院浇灌^[4, 5]。Wesemael 对坡地集水的集流面和蓄水池容积的相关关系进行了研究^[6]。在斯里兰卡和肯尼亚, 人们通过集雨槽将屋顶的雨水收集于盛水容器中, 从而为缓解人畜饮水和日常生活用水的紧张局面提供有力的帮助^[7]。Tripathi 等对农村屋顶和城市雨水利用的潜力进行研究^[8, 9]。Young 等以土壤湿度模型、降雨径流模型和作物模型为基本工具, 开发和验证了以过程为基础的 Parched-Thirst 雨水利用模型^[10]。Mbilinyi 根据各地不同的雨水利用方式, 指出 GIS 是雨水收集和高效利用的一种重要工具^[11]。

近年来的研究表明, 雨水资源化的方式可归纳为三个方面: 就地拦蓄入渗利用、覆盖抑制蒸发利用和雨水富集叠加利用^[12]。刘昌明等认为将所有直接利用雨水资源的活动定义为雨水利用, 雨水利用的集流、汇流、存贮设备称之为雨水集流系统^[13]。雨水集流系统包括田间工程和天外工程两大类。前者主要指梯田、鱼鳞坑、草粮带状间作等高种植的田间水土保持措施; 后者主要指水窖、水窑、水池、涝池四大类型^[14]。

我国早期的雨水资源利用主要以解决西北干旱缺水地区人畜饮水为主。如甘肃的“121 工程”, 内蒙的“112 工程”, 山西的“123 工程”, 宁夏的“1236 窑窖工程”和陕西的“甘露工程”等已得到广泛的应

用,并取得显著的经济、社会效益。近年来的雨水资源利用逐步用于农业生产中,如近年来出现的“雨水集流补灌工程”,利用雨水集蓄利用技术,即雨水的收集技术、雨水的储蓄技术及雨水的高效集约利用技术。雨水收集技术基本上可归为两类:一类是通过营造田间微型集流面或改进耕作措施,把降水集流并存储在土壤中,以达到雨水就地拦蓄入渗,通常采用的技术有水保工程技术和水保耕作技术;另一类是采用自然集流面或人工修建的防渗集流面,将雨水收集并储蓄在储水工程中(如水窖),供作物灌溉或饮用,也称为人工集流技术。雨水的储蓄技术,是通过修筑水窖、水池、涝池等蓄水工程设施,把集流面所汇集的径流拦蓄储存起来,以备利用。其基本要求是蓄水工程的防渗性能良好,坚固耐用,而且要有足够的容积。雨水高效集约利用技术主要包括节水灌溉技术和节水农艺技术,是黄土高原地区发展高新种养业、生产高附加值农产品及生态系统建设的核心技术。在“十五”国家节水农业重大科技专项中对雨水资源化利用技术进行重点研究,已取得重大进展。路面雨水资源化利用虽在雨水集蓄收集利用技术中有一定体现,但作为一种专门的雨水集蓄利用技术,还研究的较少。

2 路面雨水的农业资源化利用技术

研究表明,在年降雨量为250~550 mm的半干旱地区,以及有效降雨量在25 mm以上的地区,可充分考虑使用路面雨水发展本区农业经济。在黄土高原区,公路主要以柏油路、沙土路和农路为主,连接“城市—县—乡镇—村”的公路呈网状分布,跨度较大,路面面积所占比重较高,成为雨水汇流的主要通道,对黄土高原丘陵区的沙土路、农路而言,自身面积不仅是雨水汇流的通道,而且是整个坡面的排流通道。根据试验测定,柏油路面集雨场的径流系数为0.85,土质路面、沙土路面为0.45^[15]。通常一次降雨在柏油路面消耗1~2 mm,在沙土路、农路消耗4~5 mm后路面开始产流。可见路面雨水利用的潜力较大,为充分利用路面雨水创造有利条件。

2.1 直接利用路面雨水的灌水技术

直接利用路面雨水的灌水技术指通过一定的工程技术、耕作农业措施,将路面雨水直接引入农田进行灌水的方法。多年的研究表明,这种技术的灌水流程为:先将路面雨水引入田间地头的淤泥坑中,再通过输水土渠引入农作物中进行灌水。淤泥坑的主要技术要点,淤泥坑布置在靠近路面进水口一侧且距进水口1~2 m的农田中,淤泥坑大小,对土质路

面淤泥坑的直径为1.5 m,柏油路面的直径为1.2 m,深度都为0.6 m,淤泥坑内表面呈锅形。淤泥坑的作用:具有消能,沉积泥沙、杂物,控制水流方向等作用。特别是黄土高原丘陵区,当路面雨水消能后,水流流速减小,农田入渗量大大增加,在雨水多发季节,可降低特大暴雨引起山洪爆发的危害。在雨季过后,淤泥坑中的泥沙和杂物要定期清除。

在旱作农业区,为了减少灌溉用水量,扩大灌溉面积,对长宽比大于4且长度大于70 m的条田,可采用扩大灌溉渠(即扩大灌溉面积,平衡农田灌水量的输水薄膜渠)对整块农田进行灌水。通常靠近进水口一侧的条田能满足作物需水要求,而远端难以满足时,可通过扩大灌溉渠对远端作物进行补灌。扩大灌溉渠的主要技术要点:该渠必须保持水平,既可横向布置又可纵向布置,渠内铺农用薄膜,每隔10 m用土夯实,且土面与膜面相平。渠道呈梯形断面,渠道上底宽0.6 m,下底宽0.4 m,渠深0.4 m。对山区,为了保证用水安全,通常渠道布置在远离地边的一侧,在旱作农业区采用地面灌溉,一般选纵向布置的扩大灌溉渠对整块农田进行灌水,提高水分利用效率。通常在渠上每隔4 m开宽深各为0.2 m的引水口,对垄种作物扩大灌溉渠通常与起垄行垂直,引水口与垄沟对应。扩大灌溉渠不但提高了雨水利用效率,而且拦蓄了雨水多发季节以及汛期的入渗量,具有一定的防洪作用。在黄土高原丘陵区,可选择便于利用路面雨水的缓坡地将其梯田化,进行水保型农业生产。

2.1.1 路面雨水在平地中的灌水利用技术 该技术适宜于黄土高原的大多数地区,特别是旱作农业区。采用此技术进行农业补灌时,首先对水口处的路面进行调整,调整高度为进水口处的路面要略高于农田,以便于引入农田灌溉为目的;在丘陵沟壑区,路面主要以单坡型和双坡型为主,将进水口处的路面尽可能调整朝向农田一侧,让尽可能多的路面雨水进入农田。其次将淤泥坑选在距进水口1~2 m的农田中。在旱作农业区,为了扩大灌溉面积,可采用细流沟灌和垄灌,干旱少雨季节采用交替隔沟灌水法^[16]。通常根据本地区的降水特点,因地制宜,对农业种植业结构进行调整。如甘肃黄土高原区,降雨集中在6~9月份,应加大秋收作物的种植面积,也可采用夏收与秋收作物的套种或带状套种技术,如胡麻、谷与胡萝卜的套种技术,小麦与玉米或油菜的带状套种技术。在甘肃定西地区可加大马铃薯、中药材的种植比例等。充分利用黄土高原存在90~200 cm土层“土壤水库”的特点,将雨季路面

的雨水引入闲散地中,供下一年农作物生长利用^[14]。

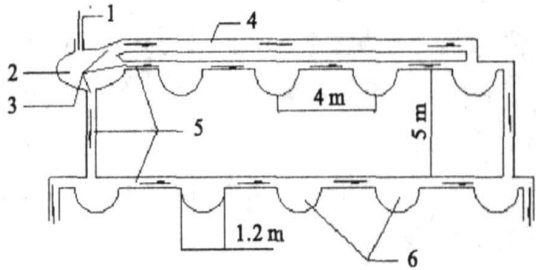
2.1.2 路面雨水在未整平梯田中的灌水利用技术

该技术主要针对以前所修梯田不平或新修梯田微起伏以及局部易沉陷的现状,特别是黄土高原丘陵区大面积展开,因此对未整平梯田通过耕作农艺措施进行三年调整;通常选用垄种耕作方式,种植作物如:玉米、谷子、油葵、马铃薯和中药材等。其引水、灌水技术与平地基本相同,其区别有:对垄种作物,扩大灌溉渠与垄行垂直,通常纵向起垄,横向靠近进水口一侧修扩大灌溉渠,该渠必须保持水平,在渠上与起垄沟相对应的一侧开宽深各为 0.2 m 的引水口对垄沟进行自动化灌水;对坡度较小的地段在垄间可筑土挡,土挡高度略低于垄高 3~5 cm,在干旱少雨季节采用隔沟交替灌水法。长宽比大于 4 且长度大于 70 m 的农田可通过垄沟代替扩大灌溉渠将水引入农田远端对农作物补灌,灌水方法与近端相同,保证整块农田的灌水率。在三年调整期间,主要是将农田不平的以及灌水后沉降比较明显的地方进行修复,通过三年调整将地整平后灌水技术与平地相同。

2.1.3 路面雨水在林地中的灌水利用技术 充分利用有限的降水资源以及树木生长需水量大的特点,在公路两旁水量较充足的地段营造经济林和生态林,并利用路面雨水对林地进行自动化灌水,充分利用黄土高原丘陵区光照充足、通风、土质疏松等优点加强经济林建设,如利用路面雨水对苹果园、桃园、杏园、梨园等进行蓄水补灌。也可利用路面雨水进行生态林建设,以及沙漠地区防护林建设,做到以水定树,提高树木的成活率和生长率,避免小老树的出现,搞好生态恢复建设。其林地灌水流程如图 1 和图 2。

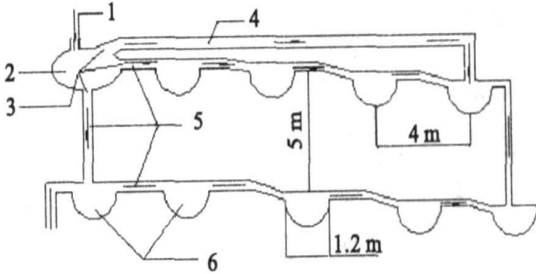
该工程主要技术要点:先将路面集中出水口处的水流引入淤泥坑中,再通过输水土渠将水引入树坑,当前一个树坑蓄满水后水会自动流入下一个树坑,树坑与树坑之间必须用输水土渠相连,输水土渠力求保持水平,不但起水流通道的汛期防洪的作用,而且起拦蓄陡坡地上坡向地表径流的作用;针对林地远端灌水量少的现状,通过扩大灌溉渠将淤泥坑中的水直接引入林地远端对树进行补灌;对陡坡地扩大灌溉渠必须布置在上坡向,树坑直径为 1.2 m,坑深 0.6 m,内表面呈锅形,树间距 4 m,行距 5 m。考虑到黄土高原区降水量少的特点,通常采用轮行交替灌水法,即第一次降雨对第一行补灌,堵住淤泥坑的其它水口,第二次降水对第二行进行补灌,在雨

季也可选择隔行交替灌水法。



1. 进水口; 2. 淤泥坑; 3. 出水口;
4. 扩大灌溉渠; 5. 输水土渠; 6. 树坑
1. Infall; 2. Silt delve; 3. Exceeding water gap;
4. Enlarged irrigating trench; 5. Transport trench; 6. Tree delve

图 1 路面雨水在水平林地中的灌水技术
Fig. 1 Irrigation technology of road surface rainwater in horizontal forestland



1. 进水口; 2. 淤泥坑; 3. 出水口;
4. 扩大灌溉渠; 5. 输水土渠; 6. 树坑
1. Infall; 2. Silt delve; 3. Exceeding water gap;
4. Enlarged irrigating trench; 5. Transport trench; 6. Tree delve

图 2 路面雨水在陡坡林地中的灌水技术
Fig. 2 Irrigation technology of road surface rainwater in steep slope forestland

该技术与退耕还林工程相结合效果显著,不但让坡度 $>25^\circ$ 的陡坡地接收了自身面积的降水,而且将路面雨水就近拦蓄利用,提高经济林的挂果率和品质。当树木在路面雨水补灌有了较好底墒的基础上,其生长速度是对照树木的 10 倍之多。将公路、农路沿线的降水就近拦蓄利用,不仅有利于树木生长、美化周围环境,而且有利于水土保持,是西部地区生态环境改善的一条有效途径。

2.1.4 村庄道路、麦场以及流入山沟、荒坡的路面雨水利用技术 考虑到农民种菜、建小型果园通常选在庄基附近便于操作管理地段的特点,可充分利用村庄道路以及麦场雨水对其灌水。由于蔬菜生长需水量大以及家用型菜园占地面积小,首先将菜园地整平,四周起垄,起垄高度为 0.4 m,然后直接引路面雨水进行补灌。充分利用有限的降水资源,为蔬菜的后期生长打下坚实的水分基础,提高蔬菜产

量,改善农民基本生活水平。也可以利用村庄道路、麦场雨水美化人居环境。

对流入山沟、荒坡的路面雨水利用技术的途径与林地的利用技术基本相同,其主要技术要点是:在距路面雨水进水口 1~2 m 处的地段修直径为 1.5 m、深为 0.8 m 的淤泥坑,在淤泥坑上沿沟两侧开两个宽深均为 0.3 m 的引水口,淤泥坑在雨水多发季节要定期清除,通过输水土渠将水引入沟两侧的树坑中对树进行灌水,在沟两侧植树,对输水土渠和树坑下坡向起垄,树坑之间用输水土渠相连,此渠力求保持水平;对流入荒坡的路面雨水利用技术的途径与陡坡林地的利用技术基本相同,其上一行的末端与下一行最近端用输水渠相连。可通过种草植树措施将路面雨水综合利用,做到水不下山、泥不出沟等水保型生态环境建设。

2.2 间接利用路面雨水的灌水技术

间接利用路面雨水灌水技术是通过一定的工程技术措施,将路面雨水通过一定的贮水设备变为时空可调节的水资源的方法;并通过一定的耕作农艺措施将其利用到农业生产中,提高雨水利用效率的技术。做到雨水资源的就近拦蓄高效利用。

2.2.1 自压式集流水窖的修筑技术 水窖被认为是黄土高原区最有效的蓄水设备,由于积蓄的水资源具有时空可调节性,将会在农业生产中得到广泛应用。自压式集流水窖适宜于黄土高原山区,场址选择要结合路面来水情况、上下地块落差等具体情况而定,通常选在上下地块落差大于 4 m,窖体最近端距地边 5 m 的农田中或便于修建水窖的地方,遇到不便于修水窖的地方可通过输水渠系来调节。自压式集雨水窖示意图如图 3。

淤泥池采用混凝土结构,直径 1.2 m,深 0.6 m,内表面呈锅形,与水窖近端相距 2 m,之间用呈 s 型的输水渠相连,淤泥池和输水渠略高于窖体上边缘。自压式集流水窖形状与薄壳圆柱形水窖相似,容积通常选 30~50 m³,其上边缘外侧连有圆环形混凝土沉沙渠,窖底与直角双连通管相连。圆环形混凝土沉沙渠下部土壤必须夯实宽深各为 0.2 m,其垂直断面呈正方形,圆环形混凝土沉沙渠沉积泥沙效果显著,在雨季淤泥池和圆环行混凝土沉沙渠中的泥沙要定期清除,经过两道沉泥沙设备流入窖体的泥沙量大大减少,窖体通常两年清洗一次。水窖未加盖时,窖体上边缘开 4 个带有滤网的进水口,宽深各为 0.1 m,4 个进水口呈对称分布,窖体进水口与输水渠进水口错开,且进水口伸入窖内 2 cm。窖底与直角双连通管相连,在窖内其管端与窖底相

距 0.4 m,管端带滤网;在窖体以外 5~6 m 处连接控制阀。自压式集流水窖优点:省电、省力、蓄水容量远大于一般水窖,时空可调节性更强,雨水利用效率更高,虽然一次性投入较大,但从长期来看,能创造更多经济效益。

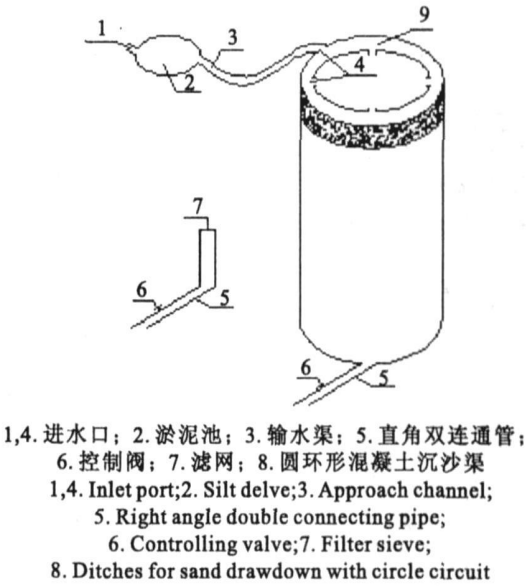


图 3 自压式集雨水窖示意图

Fig. 3 Diagram of water cellar with gravity pressure

2.2.2 路面雨水+自压式集流水窖对塑料大棚的灌水利用技术 该技术适用于降雨量在 250~550 mm 的黄土高原旱作农业区。应以总产量最高为原则,不追求单位面积上的高产。通常按照本区年平均降水量 400 mm 计算,将大棚集雨面上的雨水也考虑在内,采用地面灌水法,667 m² 棚地对 2 001 m² 路面,若冬季种植蔬菜路面比例还需加大。本区大多数地区冬季较冷,在棚内不宜种植蔬菜。为了充分利用棚面雨水,通常让棚面下坡向末端高出棚内地面,并且中间略高于两边,将雨水从两端直接引入棚内对蔬菜作物进行补灌。通常棚内采用滴灌灌水方法,做到降水资源的高效利用,填补干旱山区因缺水而不能建蔬菜大棚的空白。在棚内可采用细流沟灌或滴灌。根据定西地区水保所研究,在日光温室采用滴灌措施后,蔬菜年耗水量由 8 640 m³/hm² 下降到 3 840 m³/hm²,节水 55.5%,产值由 9 万元/hm² 增加到 18 万元/hm²,节水灌溉效益净增 10.18 万元/hm²。可见在旱作农业区对日光温室和塑料大棚采用滴灌灌水法节水效果显著。

在秋季雨水多发季节后期,将自压式集雨水窖蓄满雨水,保证春季干旱季节使用,当水窖蓄满水后,若遇到降水量较大的情况时,应先满足塑料大棚

的需水要求,再将过剩水灌到周围农田或林地,做到降水的高效安全利用。

在不能采用自压式集雨水窖时,可采用电动泵或汽油泵+普通水窖代替自压式集雨水窖。对家用型菜园可采用电动泵或手压泵+普通水窖,充分利用最直接最廉价最有效的降水资源发展本区农业经济,改善农民基本生活水平。

2.2.3 路面雨水+自压式集流水窖对大田作物的灌水利用技术 利用该技术对大田作物灌水时,可以采用软管将水引入农田进行移动灌水,根据窖体与所灌农田落差的不同压力可采用不同压力的滴头进行灌水。考虑自压式集流水窖的时空可调节性,为达到雨水的高效利用通常 667 m^2 农田对 667 m^2 路面,提高天然降水的利用效率。根据甘肃农科院在定西进行的集雨灌溉高效用水研究,春小麦生育关键期补灌 $200\sim 500\text{ m}^3/\text{hm}^2$,可增产 $10.5\%\sim 88.3\%$,供水效率为 $12.0\sim 20.8\text{ kg}/(\text{km}^2\cdot\text{mm})$,地膜春玉米生育关键期补灌 $400\sim 750\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。在不能建自压式集雨水窖的雨水多发地段,可采用电动泵或汽油泵+水窖对大田作物进行灌水。充分利用有限的降水资源,让水产生更大的效益。

3 路面雨水利用实例及效益分析

3.1 试验区概况

甘肃省定西地区地处东经 $104^\circ 57'\sim 105^\circ 38'$,北纬 $34^\circ 55'\sim 35^\circ 29'$ 。通渭县位于定西地区东部,属陇中黄土高原丘陵沟壑区,夏季炎热,冬季干旱多风,光照充足,属温带大陆性气候。该县土壤以黄绵土、黑垆土为主,蒸发量大。近 20 a 的年降雨量为 $300\sim 600\text{ mm}$,降雨比较集中,主要集中在 7~9 月份,占年降雨量的 60%以上,降雨时期与作物生长期严重错位。该县坡耕地所占比重大,降雨主要以大到暴雨为主,造成严重的水土流失,使得农田耕层浅薄,土地生产力逐年下降,因此,这里享有“十年九旱,灾荒不断”的俗称。本试验区属通渭县陇山乡乱庄村石嘴湾社,本社现有住户 18 户,总土地面积 22 hm^2 ,其中路面占地 1.00 hm^2 ,麦场占地 0.47 hm^2 ,住房占地 0.53 hm^2 。可利用农田外部雨水总面积 2 hm^2 ,占总土地面积的 6.7%,路面水和麦场水占可利用农田外部雨水总面积的 73%。如果忽略降雨初期路面的吸收量,年利用路面雨水量为 $3\,001.5\sim 6\,003\text{ m}^3$,麦场面雨水量为 $1\,400.7\sim 2\,801.4\text{ m}^3$,房屋面雨水量为 $1\,600.8\text{ m}^3\sim 3\,201.6\text{ m}^3$,总共利用农田外部雨水总量为 $6\,003\sim 12\,006\text{ m}^3$ 。1 m^3 水按 1 元计算,这些有限的降水资源带来直接经济收入

达 $6\,003\sim 12\,006$ 元,而且有助于改善生态、人居环境,且具有明显的水土保持作用。

3.2 综合效益分析

直接利用路面雨水试验:试验占地 $1\,334\text{ m}^2$,2002 年春季移栽杏树。测定时选了 8 棵中等杏树,东西侧各 4 棵,移栽时株高平均值为 0.8 m ,茎粗 1.1 cm 。东侧 $1\,000.5\text{ m}^2$ 利用路面雨水补灌,西侧 333.5 m^2 作为对照未补灌,通过对杏园灌水与未灌水的对比,2006 年春季测定时,灌水的杏树平均株高为 2.7 m ,茎粗 3.3 cm ,而对照株高为 1 m ,茎粗 1.3 cm ,灌水处理株高为对照的 2.7 倍,茎粗为对照的 2.5 倍。灌水的杏树增长率为对照的 9.5 倍。2004 年开始挂果,灌水的杏树提前 3~5 a 挂果,产量可增加 4 倍以上。可见利用路面雨水不但具有明显的经济效益,而且具有显著的生态效益。

间接利用路面雨水试验:在试验区一个 70 m^2 的塑料大棚,一次性投资约 2 000 元,建一口容积 15 m^3 的自压式集雨水窖,一次性投资约 1 300 元,所利用路面面积 800 m^2 ,总投资 3 300 元,蓄水量按降雨量可随时调节,年平均降雨量 450 mm ,可蓄水 360 m^3 ,1998~2005 年的试验表明在 70 m^2 大棚内种植的番茄、黄瓜、葡萄、药材等作物和药用植物,收入约达 $700\sim 1\,000$ 元,大约 4 a 时间可收回成本。试验区的大棚西北角还有一块 $1\,334\text{ m}^2$ 的杏树园,相距很近,测定表明,杏树园可直接利用路面雨水面积 300 m^2 ,还可接收一次性降雨过多给自压式集雨水窖带来的过剩水,做到降水资源的安全高效利用。研究表明,与常规水窖相比,自压式集雨水窖增加了底部的引水设备、水管以及劳工费约 200 元,与常规水窖配备的水泵、用电费用基本相当。利用这些技术,对黄土干旱半干旱山区高原,不但增加农民经济收入、改善农民生活水平和农村人居环境,而且还具有分散地表径流、减缓流速的防洪作用。

4 讨论

在缺乏灌溉水源的黄土高原区,天然降水是最直接、最廉价、最有效的水资源。尽管该区年降水量较少,但降水时期集中,一次性降水量较大,可通过有效集流和存储,把自然降水变为时空可调节的有形水资源,这是集雨农业的关键环节^[17],雨水集蓄利用在特定地区具有不可替代性^[17],充分利用本区深厚、疏松的土层,拦蓄有限的降水资源,对农业大有发展潜力。本文提出的路面雨水利用技术不仅将本梯田的雨水拦蓄利用,而且将路面等外部的雨水拦蓄利用,提高降水资源与土地资源的综合利用效

率,同时具有显著的水土保持作用。由于路面雨水利用技术是在现有路面的基础上进行的,减少了专门用于修集流面的费用,本文采用直接法将路面雨水通过淤泥坑引入农田“土壤水库”中,并采用间接法将路面雨水引入时空可调节的自压式水窖中,不仅有利于农作物增产,而且为农作物次年赖以生长的底墒以及需水关键期的补充灌溉打下坚实的水分基础。在西部大开发中,如何把坡地退耕还林还草和雨水集流结合起来进行植被恢复生态建设是我们面临的一个新课题^[19]。

本文所采用的直接法是在现有集流面——路面的基础上将雨水引入农田进行灌溉的,减少了因建人工集流面所需的投资。张志山等的研究表明,各集流面平均集流费用和各蓄水窖(池)的平均贮水费用都很高,贮水费显著高于集流费用^[20]。本文采用直接法使用范围广,特别对难以利用雨水的山区意义更大。在路面雨水引流过程中淤泥坑起主导作用,不仅具有消能的作用,而且具有控制水流方向的作用。淤泥坑是衔接路面雨水进入农田的纽带。在雨季淤泥坑中的泥沙要定期清除。扩大灌溉渠不仅起滞洪作用,而且具有平衡农田灌溉水量的作用。本文的直接法对不同坡度的农田采用不同的处理方法,做到路面雨水资源的安全高效利用。

本文采用的间接法是将路面雨水通过淤泥坑引入自压式集雨水窖中,并对常规水窖做了改进,增加了圆环沉沙渠和底部出水设备,沉积泥沙的效果更好、时空可调节性更强。

目前在黄土高原最有开发潜力的灌溉水资源是雨水,如何提高最直接最廉价最有效的雨水资源的利用效率是人们一直关心的一个问题。在路面雨水资源的利用中,柏油路面的雨水利用主要是通过水窖、水池收集后对农作物在需水关键期进行补充灌溉,本文按照多年的最大降雨量和路面面积确定农田灌溉面积,做到降水的安全高效利用,突破了通过建水窖、水池的局域限制,使用范围更广、更方便、更经济。同时建议在以后的路面设计中要将雨水利用纳入设计范围。目前的山区雨水利用主要以解决人畜饮水为主,将庭院雨水得到很好的利用,但大部分路面雨水未能得到很好的利用,到目前为止还未形成较完善的山区路面雨水利用技术,本文通过多年的试验,证明了路面雨水资源化利用在农业水利利用中有重要作用。如何提高天然降水利用效率是一个重要的研究问题,而雨水的资源化利用是一条有效

途径。随着工农业以及城市生活用水量的不断递增,雨水的资源化利用将会成为缓解用水危机的一条有效途径。

参考文献:

- [1] National Academy of Science. More water for arid lands [M]. Washington D C: CIESIN, 1974.
- [2] 赵松岭. 集水农业引论[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996.
- [3] 王克勤, 孟善玲. 国内外农林业集水技术的研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(4): 109—117.
- [4] 牟海省. 国内外雨水利用技术、现状与趋势[A]. 刘昌明, 翟浩辉. 中国雨水利用研究文集[C]. 北京: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [5] 郑宝宿, 朱 强. 论甘肃省半干旱山区的雨水集蓄利用[J]. 甘肃水利水电技术, 1998, (增刊): 33—34.
- [6] Hollick M. Water harvesting in arid lands[J]. Scientific Reviews on Arid Zone Research, 1982, (1): 173—247.
- [7] Frith J L, Nulsen R A. Clay cover for roaded catchments[J]. J Dept of Agric West Aust, 1971, 12(8): 56—62.
- [8] Frith J L. Design and construction of roaded catchments[A]. Frasier G W. Proceedings of the water harvesting symposium [C]. Phoenix: Arizona, 1974. 122—127.
- [9] Frith J L, Nulsen R A, Nicol H L. A computer model for optimizing design of improved catchments[A]. Frasier G W. Proceedings of the water harvesting symposium [C]. Phoenix: Arizona, 1974. 151—157.
- [10] Laing I A F. Reducing evaporation from farm dams[J]. J Dept of Agric West Aust, 1970, 11(1): 8—15.
- [11] Laing I A F. Sealing leaking excavated tanks on farms intern Auattahan[A]. Frasier G W. Proceedingn of the water harvesting symposium [C]. Phoenix: Arizona, 1974. 159—174.
- [12] 任杨俊, 李建华, 赵俊侠. 国内外雨水资源利用研究综述[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 88—92.
- [13] 刘昌明, 牟海年. 雨水资源以及在农业生态中的应用[J]. 生态农业研究, 1993, 1(3): 20—26.
- [14] 路炳军, 温美丽, 路文学. 黄土高原西部雨养农业区集雨水窖的主要类型及其效益分析[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(2): 71—75.
- [15] 李小雁. 人工集水面降雨径流观测实验研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 1—4.
- [16] 康绍忠, 张建华, 梁宗锁, 等. 控制性交替灌溉——一种新的农田节水调控思路[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 1—6.
- [17] 朱 强, 李元红. 论雨水集蓄利用的理论和实用意义[J]. 水利学报, 2004, (3): 60—65.
- [18] 罗俊杰, 乔小林, 唐小明, 等. 陇东旱塬降雨径流集蓄与补灌农田效应研究[J]. 甘肃农业科技, 1997, (6): 4—5.
- [19] 李小雁, 龚家栋. 半干旱区雨水集流研究进展及其现状[J]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 88—92.
- [20] 张志山, 魏兴琥, 李新荣, 等. 黄土高原西北部集雨水利用的投资与效益分析[J]. 水科学进展, 2004, 15(6): 813—818.

Technology of using agricultural rainwater resources on road surface in the Loess Plateau areas

YANG Qi-liang, ZHANG Fu-cang*, LIU Xiao-gang

(Key Lab of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Northwest A & F University, Yangling, 712100, China)

Abstract: Basing on analysis of the situation of water resources in Loess plateau areas, this paper propounded the engineering and agricultural technology and the method with direct and indirect, which draw rainwater on road surface into “soil reservoir” of farmland or water cellar with free atmospheric pressure using silt delve of eliminate energy. Experiment and practice in Dingxi areas of Gansu province show that this method and technology could not only enhance precipitation utilize efficiency but be simple and easy to carry out, thus is an efficient way of agriculture rainwater use in Loess Plateau areas, meanwhile this technology has effect on preventing soil and water erosion and improving agricultural ecology in the area.

Key words: Loess Plateau; use of rainwater on road surface; agricultural resources; silt delve; water cellar with free atmospheric pressure

(上接第 133 页)

[4] 杜太生,康绍忠,夏桂敏,等.滴灌条件下不同根区交替湿润对葡萄生长和水分利用的影响[J].农业工程学报,2005,(11):43—48.

[5] 赵军营,王利军,牛铁泉,等.苹果幼苗部分根系水分胁迫对光合作用主要参数的影响[J].果树学报,2005,22(5):446—449.

[6] 杜太生,康绍忠,胡笑涛,等.根系分区交替灌溉对棉花产量和水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2005,38(10):2061—2068.

[7] 杨建伟,梁宗锁,韩蕊莲,等.不同土壤水分含量对 4 个树种 WUE 的影响[J].西北林学院学报,2004,19(1):9—13.

[8] 韩艳丽,康绍忠.控制性分根交替灌溉对玉米养分吸收的影响[J].灌溉排水,2001,20(2):5—7.

[9] 接玉玲,杨洪强,崔明刚,等.土壤含水量与苹果叶片水分利用效率的关系[J].应用生态学报,2001,12(3):387—390.

[10] 程福厚,李绍华,孟昭清.调亏灌溉条件下鸭梨营养生长、产量和果实品质反应的研究[J].果树学报,2003,20(1):22—26.

Effect of alternate partial root-zone irrigation on the growth, yield and water use efficiency of pear

CHENG Fu-hou, ZHAO Zhi-jun, ZHANG Ji-ying, SONG Hui-yue, TIAN Chun-yu

(College of Agriculture, Hebei Engeering University, Handan, Hebei 056000, China)

Abstract: Potted and field experiments were conducted to research into the effect of irrigation on the growth, yield, fruit quality and water use efficiency (WUE) of pear. The results showed that WUE of the alternate irrigation by 1/2 amount (1/2AI) was higher than conventional irrigation (CI), partially because the Photosynthesis rate (P_n) decreased less while transpiration rate (Tr) reduced more with the closing of stomata. The P_n of 1/3AI decreased significantly in potted experiment. The quantities of shoot and root growth of 1/2AI were similar to CI, which were obviously more vigorous than 1/3AI. After being rewatered, 1/2AI and 1/3AI produced more growth roots than CI in autumn. Results in field experiment showed that although the yield and quality under 1/2AI were not significantly affected compared with CI, the irrigation and precipitation water use efficiency was improved by 22.9%.

Key words: pear; internated irrigation; yield; water use efficiency (WUE)