

宁南山区发展窖窖节水农业的依据与潜力

陈国良 徐学选 程积民 郭玉孝 赵世伟

中国科学院
(水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘 要 在经济不断发展与人口日益剧增的形势下,缺水已成全球性严峻问题,西北黄土丘陵地区更是如此(地均水量 $204\text{m}^3/\text{hm}^2\cdot\text{a}$,为全国平均数 7.8%),其中宁南山区更为贫乏,地均水量为 $630\text{m}^3/\text{hm}^2\cdot\text{a}$,仅占黄土丘陵区与全国平均数的 30.76%和 2.4%,属极贫水地区。相对而言,雨水资源量却较丰富,地均达 $4\,000\text{m}^3/\text{hm}^2\cdot\text{a}$,是地表水与地下水资源量的 6.7 倍,且有天然集流条件,能就近拦蓄利用,无须高程远距提引,若用于农业节水微灌,其增产效益可达 30%~60%,单位水效率可达 $1.5\sim 2.8\text{kg}/\text{m}^3$,故潜力巨大、前景广阔。

关键词 宁南山区 蓄水窖窖 节水农业

The Bases and Potentialities of Developing Celler Water Harvest and Water Saving Agriculture in Southern Ningxia Hilly Area

Chen Guoliang Xu Xuexuan Cheng Jimin Guo Yuxiao Zhao Shiwei
(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi. 712100)

Abstract With economics developing and population increasing, water shortage is becoming more and more serious around the world, especially in northwestern hilly area (including table land). The region water resources is $204\text{m}^3/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ which accounts for 7.8% of that in the country. Further the water resources is $630\text{m}^3/\text{hm}^2\cdot\text{a}$ in southern Ningxia that accounts for 30.8% and 2.4% of the regions and countys. So it is classed as very extremely water lack area. On the other hand, rainwater is rich, ranges $3\,000\sim 6\,000\text{m}^3/\text{hm}^2\cdot\text{a}$. The mean rainwater is $4\,000\text{m}^3/\text{hm}^2\cdot\text{a}$, which is 6.7 times of on and under ground water resources. Additionally in the reao, the rainwater is easy to be harvest and piped. If the water of cellor or cirsten could be used in economic irrigation, it could increase corp yield by 30%~60%, the water use officieny could be $1.5\sim 2.8\text{kg}/\text{m}^3$. So we say that the rainwater harvesting and saving agriculture great potentialities and aboard perspects.

Key words southern Ningxia hilly area cellor water harvesting water saving agriculture

1 宁南山区自然资源及其组合特征

通过80年代的综合考察和近10余年来的广泛实践与定位试验,我们对宁南山区(指南六县、下同)的自然资源优势、问题及组合特点有了较系统、深入的认识(特别是有关“水”方面的认识),这对当前进一步提高土地生产力及今后该区的农业持续发展都是至关重要的,因此,将其总结如下,以供提高水土资源利用效率及寻找改善、调控途径,提供参考和依据。

宁南山区农业自然资源最有利的优势有:(1)土地资源丰富(人均 1.4hm^2 ,平缓土地 $<3^\circ$ 较多,人均 0.2hm^2);(2)自然条件组合多样,山、川、塬、丘、沟、壕地,半湿润、半干旱及其偏旱区,一应俱全,利于农林牧合理布局,综合经营;(3)天然草地面积大(人均 0.43hm^2),具有建立牧业基地的基础条件。

最突出的问题的是自然灾害多、生产水平低下、农业生产结构极不合理。而自然灾害以气象灾害与水土流失为最。其中气象灾害可概括为五灾(旱、洪、风、雹、冻)俱全,它是由宁南山区的地缘位置与地貌特征所决定的,即(1)远离海洋,仅能受季风降水的余泽,且年际间变动大,季节分配不匀;(2)地势高亢(海拔高度 $1\,300\sim 2\,900\text{m}$),虽利于形成降水,但却带来了热量低欠(年均温度多数地区为 $4\sim 7^\circ\text{C}$)与雹、冻灾害频繁;(3)地势起伏,(坡地多,占总土地面积的80%,其中大于 15° 的土地占44%)且多大雨、暴雨(25.0mm 降水量多年平均为 122.2mm ,占年降水量的25.5%,其中85.5%集中在7~9月,达 104.5mm),易造成水土流失、降低雨水的有效性和加剧干旱影响。

由于以上的特点与问题,也就带来了宁南山区长期存在的社会经济四大矛盾;即人与粮、农与林牧、畜与草、治理开发与资金短缺的矛盾。而五灾中,首灾数旱;四大矛盾中,最主要的自然障碍因素又是缺水,以致形成了五大生产要素组合上的四大不平衡,且又无不以水为诱因,即:

1.1 水土不平衡

土地广阔(人均 0.8hm^2),水资源严重不足(地均 $645\text{m}^3/\text{hm}^2$)。

1.2 水热不平衡

春夏气温上升时适逢干旱少雨,7月后雨季来临,因阴雨天多及蒸发耗热加大,温度渐次下降,甚至9月上中即可出现霜冻。

1.3 水肥不平衡:

由于水土流失与长期的掠夺式经营,土壤的基础肥力很差,主要耕种土壤的有机质含量为 $0.55\%\sim 1.50\%$,全氮含量为 $0.05\%\sim 0.08\%$,速效磷 $5\sim 13\text{mg}/\text{kg}$,且1983年前每公顷施化肥量不足 7.5kg ,因此有限降水的生产潜力(平均 $5\,250\text{kg}/\text{hm}^2$)远未发挥,多年平均产量仅为 $540\text{kg}/\text{hm}^2$;1983年后,因旱地施肥技术的突破及深施化肥技术的普遍推广,旱作产量得到显著提高,单产已达 $1\,050\sim 1\,350\text{kg}/\text{hm}^2$,相应的化肥施用量也增加到 $52.5\sim 81.0\text{kg}/\text{hm}^2$ (纯量),其中N素为 $34.5\sim 49.5\text{kg}/\text{hm}^2$ 。然而若遇干旱,产量则大减,如1992年为 $975\text{kg}/\text{hm}^2$,肥力的作用又受到缺水的限制。

1.4 作物需水与供水不平衡

通常旱作中产水平需水 $350\sim 400\text{mm}$,而该区自然供水(降水+土壤贮水)仅 $250\sim 300\text{mm}$,相差近 100mm 。尤其夏田作物在5、6月份需要水量大时,此时降水少,难于满足要求,造成产量低而不稳。

由上可见,由于缺水造成的四大不平衡,不仅使该区的生态环境存在着极大的脆弱性,也使

农业经营处于机遇与风险并存之中,这就是宁南山区贫困与低产的自然根源,也是广种薄收、乱伐滥牧、落后经营的重要原因。因此,在肥力限制因素得到一定缓解的情况下,必须把解决水资源不足不匀问题提到首位,尽快从再生资源——雨水资源的充分利用及节水技术上寻找突破口,实是迫在眉睫。

2 宁南山区水资源的特点与干旱影响

宁南山区6县总土地面积18963km²,合189.63万hm²,有耕地约53.3万hm²,占总土地的28.1%。其中固、彭两县总土地面积为6413.7km²(合64.14万hm²,占全地区的33.8%),有耕地27.93万hm²,占总土地的43.6%,属高垦殖区。在如此广大的土地上,水资源有如下特点:

2.1 地表水与地下水资源极端贫乏

全区地表水总量为6.4亿m³(其中淡水资源总量为5.38亿m³,地下水资源3.66亿m³),耕地平均淡水量为1005m³/hm²(如按普查耕地为85.5万hm²,则为630m³/hm²)。仅为全国平均数26280m³/hm²的2.4%,属极贫水地区。

2.2 地表水矿化度高,水质不良

按超过3g/L升不宜用作灌溉的标准,固原县3.3亿m³的地表水资源中,就有1/3为不良水质,这在贫水的基础上,更加加重了缺水的困难。

2.3 地表水与雨水时空分布不匀

地表水受气候与地形影响很大,在六盘山主体部位及其以东,降水量较丰,年均在400~800mm。而在六盘山以西,特别是西北部多数地区在340~450mm之间。由于降水是地表水与地下水补给的主要来源,因此东部的地表水也较西部为丰,如固、彭两县土地面积仅占全地区的33.8%,而地表水资源量就有3.3亿m³,占全地区的51.0%。相应,注册耕地平均水资源量也较全地区为丰,达1264m³/hm²,高出西部839m³/hm²的50.7%。

在时间分布上,均带有强烈的季风气候的特征。按自然季节统计,其地表水与降水的季节分配如表1:

其中夏半年(5~10月)占88.7%,冬半年(11~4月)仅占11.3%。如按生长季划分,则有明显的旱季与雨季之分,如固原县旱季(4~6月)降水仅占全年的25%,雨季(7~9月)则占61.4%;此期地表水则分别占全年的13.5%与48.8%。

年际间的分配则比年内变化还大,如固原站,经30余年统计,最少年径流量为166万m³(1972年),最多年径流量为3801万m³(1966年),最多年是最少年的22.9倍;降水1964年最多,为766mm,1991年最少为259.7mm,

最多年最少年的2.95倍;旱季降水的年际变动则更为惊人,如作物生长的关键期5月份,最多年(1965年)为89mm,而最少年(1995)为0.9mm,最多年是最少年的近100倍。

表1 宁南山区地表水与降水的季节分配

月 份	11~1 (冬)	2~4 (春)	5~7 (夏)	8~10 (秋)
水 源 %				
地 表 水	13.6	18.9	18.8	48.7
降 水	3.2	8.1	42.1	46.6

2.4 干旱缺水造成的灾害最为严重

据1950~1973年的22年统计,各种灾害的受灾面积分别是:旱灾71.58万hm²、洪涝灾5.0万hm²、风灾0.53万hm²、雹灾23.15万hm²、冻灾3.79万hm²,在总受灾104.0万hm²中,旱灾占68.8%,平均每年有3.3万hm²遭受旱灾,相当于总播种面积的15.1%,足见旱灾影响之严

重,如1972~1973年连续二年严重干旱,平均单位面积产量仅 $195\text{kg}/\text{hm}^2$,比常年产量减产7成以上。且干旱又往往带有连续性和周期性(据用周期法分析,该区的干旱气候具有3~5年及11~13年的重现规律),所以干旱历来是南部山区的“首害”,它大大限制了光热资源及土地生产力的发挥。

3 宁南山区雨水资源潜力及利用的可行性

宁南山区的地表与地下水资源贫乏,且开发利用难度很大。因此,解决干旱问题不能将目光只盯在传统的水资源上,必须更新观念,将雨水也作为可开发利用的水资源看待,这将可能是解决或减少干旱威胁的一条重要出路!

首先是南部山区的降水与整个黄土丘陵区一样,不算太少,它们基本都处于半湿润至半干旱的过渡区,降水的地区分布在 $350\sim 800\text{mm}$ 之间,平均降水量约 $450\text{mm}/\text{a}$ 。全地区的雨水资源总量达87亿 m^3 ,是传统水资源总量5.38亿 m^3 的16.2倍,地均雨水资源总量 $3\,500\sim 8\,000\text{m}^3/\text{hm}^2$,平均为 $4\,500\text{m}^3/\text{hm}^2$,也较耕地平均地表水与地下水资源量 $630\text{m}^3/\text{hm}^2$ 高6.14倍,故潜力巨大,急需全面开发。包括坡面与庭院径流收集利用、农田水分保存(通常非生产季无效耗水占年降水量的30%)、提高作物对土壤水利用效率等。

其次是丘陵山地地形起伏的地貌特点,具有雨水集流的天然有利条件,较平原集流容易且量大,还可与水土保持结合起来,做到大面积上,用生物工程措施拦截、分散径流的分而治之(有人称为化整为零),与局部地段上将不可避免的径流加以集中利用(有人称为化零为整或富集叠加)相结合。即防与用的结合、战略与战术的结合,两者相互补充、相互配合,方能有效控制水土流失。以往只注意了分散集流,以防止冲刷和流失的一面;而对集中径流,减少继续冲刷并用于发展农、林、草业的一面,常常未给予主动的重视。因此,对发展农业生产和抵御干旱来说,前者固然也能截留一定的雨水,提高农田的水分贮量和产量,但只能对付一般(指中小干旱),却不能对付特殊(指严重干旱);而将不可避免的雨水径流,加以收集、贮存,用于作物和经济林果的补充灌溉,虽然面积有限,但既能对付一般,也能对付特殊,从发展高效农业与脱贫致富的需要来说,更有其重要意义。

第三,雨水资源较一般水资源分布广泛,不只集中在平原与河谷川地,而是各处皆有,人户均可利用。对于干旱丘陵山区来说,如能加以利用,人们不只仅能经营旱作农田,也能经营节水农田。

第四,雨水资源收集利用的重要意义,还在于它能改善雨水时空分布的不均匀性,可将丰年的水用于旱年,丰季的水用于旱季,非生产地与非生产(休闲)季节的水用于生产地和生产季,既可减少雨水径流(一般占年雨量的10%~20%)与休闲季蒸发(占当季降水量的50%以上或占年降水量的30%,如固原8~3月份农田蒸散量 143mm ,同期降水量则为 251mm 无效耗水占同期降水的57%)的无效损失,又可在作物缺水矛盾最突出的时候给予最必要的补水,从而可大大提高对雨水资源的利用率(指对降水量的利用数量比例)和利用效率(指单位水量生产的生物质数)。

第五,雨水利用还具有不消耗大量能源和无污染物,以及费省效宏、适应于当前生产体制等优点,因而具有广泛推行的可行性。如费用上,黄河中游平原地区扩大 1hm^2 水地,一般需 $7\,500\sim 15\,000$ 元,高的达 $30\,000$ 元以上,又因扬程高、输水远、蒸发渗漏量大,造成灌水费用昂贵,群众难于承受(以每 m^3 水综合价0.1元计,每公顷年灌定额 $6\,000\text{m}^3$,就约需 $450\sim 600$ 元)。而修

造窑窖集雨微灌,每窑 700 元($50\text{m}^3/\text{眼}$),补水微灌土地 0.13hm^2 ,则每公顷可以增产 $750\sim 1500\text{kg}$,相当于动力运行成本的 $10\sim 20$ 倍。由于造价与运行费用远低于提引灌溉,故从技术经济角度看也是积极可行的。

4 宁南山区雨水集流的发展、效益及今后的技术方向

4.1 雨水集流的发展趋势

黄土丘陵山区雨水集流利用已有悠久历史,但大体可分为三个阶段或三种形式:初期是利用简单的耕作保墒措施,使雨水多蓄集于田间,以供下茬作物或来年之用,这就是古老的、经典的、传统的雨养农业;近代,则是通过人力和机具对地面进行较大的处理(如梯田、坝地、条田、鱼鳞坑、水平沟、反坡梯田、隔坡梯田等),使雨水就地集中和拦蓄利用,这就是人们常说的径流农业;近年,则是将传统的解决人畜饮水的水窖,用现代技术加以改进和武装,使其成龙配套,具有集水、贮水、调水、供水、节水和建设高效田园与庭院经济的功能,这就是我们取名的窑窖农业或窑窖节水农业,它是干旱山区雨水集蓄利用技术的新发展,是科技人员与广大群众抵御干旱、发展集约高效农业与市场经济的创举。

由于近年连续干旱的威胁与发展山区高效市场农业的迫切需要,甘肃、宁夏已形成大规模兴修窑窖的热潮,除应用于解决人畜饮水外,在农用上也进行了一定探索,如利用窑窖集水进行小面积的滴灌、渗灌、深层注射补水及作物需水关键期的低限补灌等试验,均取得了较好的效益,并获得了发展旱地节水农业具有重要意义的试验依据。

4.2 雨水集流微灌的依据与效益

如西北水保所 1984~1995 年在宁夏固原上黄试区进行的不同生育期、不同干旱强度对作物产量影响的减产指数及作物需水关键期有限补水效益的试验,均获得了重要水分依据。其基本结论是拔节、抽穗、灌浆三个时期为春小麦的水分敏感期,若遇干旱,其平均减产率分别为 23.9% (为 $18.4\%\sim 29.3\%$ 之间,下同)、 23.3% (为 $21.0\%\sim 25.5\%$)、 21.5% (为 $12.7\%\sim 29.9\%$)。又拔节期的有限补水效应,在控制条件下,按穴播补水量为 $8\sim 11\text{m}^3$,其增产率可达 $19\%\sim 29\%$ (平均 23%),增产量为 $195\sim 322.5\text{kg}/\text{hm}^2$,达 $19.8\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$;大田条件试验,拔节期一次畦面灌水 $600\text{m}^3/\text{hm}^2$,单产达 $3795\sim 3960\text{kg}/\text{hm}^2$,较对照增产 $42\%\sim 48.8\%$,水分生产效率(WUE)高达 $1.95\text{kg}/\text{mm}$ 。上黄试区在试验取得依据的基础上,即将窑窖集水与坝库、沟道小水源的利用结合起来,对农田和库园进行补灌,其中 1989 年定植的 0.4hm^2 果园(苹果占 50% 、梨占 25% 、葡萄、桃、李等占 25%),于 1991 年冬前开始进行节水补灌,每公顷水量为 $300\sim 450\text{m}^3$,从而改变了半干旱山区果形不正、果质不良的局面,收入逐年增加,至 1993 年每公顷收益已达 14730 元,较种粮收入高 7.2 倍,为山区树立了依靠雨水集流补灌,发展致富果园的典范。1995 年,宁南山区普遍出现春夏连旱,4~6 月总降水量为 51.5mm ,仅及多年平均的 40% ,固原全县受灾面积达 80% 以上,夏田绝产面积达 1.07 万 hm^2 ,试区所在乡夏田单产仅 $322.5\text{kg}/\text{hm}^2$,较常年减产 70% 以上,而上黄试区在大力实施增肥、改种(春麦换为冬麦)、覆盖栽培、耕作保墒等提高雨水储蓄率与利用效率的同时,大抓了窖、库、河水相结合的有限水补充灌溉,使夏田单产较当地高 209% ,秋田高 51% 。其中示范户黄玉泉的 0.13hm^2 玉米地,在玉米生长前期(3 叶和 5 叶),用窖水点穴微灌的基础上(每公顷用水二次共 $60\sim 75\text{m}^3$),在抽雄前再结合村上抽水抗旱,每公顷浇水 330m^3 ,三次总共用水 $405\text{m}^3/\text{hm}^2$,单位面积产量达 $9825\text{kg}/\text{hm}^2$,较早种植的增产 87% 。在改革旱地施肥技术中,用窖水配制稀释多功能液肥,每公顷用水量 $150\sim 450\text{kg}$ (内含液肥 0.6

~1.5kg),分2~3次使用,结果,小麦、玉米、马铃薯可增产10%~30%,水效率较前者更高。

又如甘肃农科院旱农所在定西高泉村试区,应用窖(池)蓄水进行麦地与果园补灌,也取得较好的效果,其中春麦地每公顷补灌水量 360m^3 ,单产提高30%以上(1990);果园每公顷补灌 $375\sim 450\text{m}^3$,定植四年的梨园每公顷收益达12450元(1993)。

再如宁夏固原水电局在七营张堡进行的打窖与节水微灌示范,在地膜西瓜上每公顷收益达9525~13380元(1994);宁夏海源县农业新技术开发公司,在园河流域进行的雨水微灌示范,在瓜菜地每公顷用水量 $510\sim 540\text{m}^3$,每公顷收益1993年为10050~13200元,1994年达16260元等。

4.3 今后的发展方向

- 1、在窑窖蓄水的使用方向上,应将用于人畜饮水与用于发展高效庭园经济结合起来,并逐渐转向以农用为主,方能达到使群众尽快脱贫致富和以窖养窖、持之以恒、逐步提高之目的
- 2、在集流方式上,应将耕作保墒、改造地形就地入渗和窑窖蓄水三者有机结合起来。前者是战略的和可用于大面积的,后者是局部的、用于有限庭园(或农田)和创造高附加值以及抵御严重干旱的,二者有机结合方能达到生态经济兼顾、大范围与小面积并重、由温饱向小康过渡的目的。
- 3、雨水集流利用在大面积上的技术比较成熟,而在小面积的窑窖集水农用上,无论国内、国外均仅仅是开始,因此在相当一段时间里,应当把主要力量用于创造高效节水用水技术上,包括作物需水规律与生理生态基础研究,作物需水关键期低限补水量的确定,微灌水肥的协调应用,立体用水的技术与小型机具研制等。特别是利用窑窖作为转换器与贮存器,对五水(降水、地表水、土壤水、地下水、植物水)进行科学的协调利用,以改善水资源的不良循环,最大限度提高雨水的利用率与利用效率;窑水微灌最能获利的经营种类选择,包括农林牧业。各地应根据当地优势及市场需求,通过试验示范予以确定,近期如能在千元田(每亩收入千元)、百元方(每方水的产值收入达百元)获得突破,则窑窖节水微灌这一新事物,将可能得到蓬勃发展,真正为干旱山区开辟高效与小康之路!

参考文献

- 1 陈国良.黄土高原农业气候资源与合理利用.农业气候资源分析与利用,福建科技出版社,1982.12
- 2 山仑,陈国良.黄土高原旱地农业的理论与实践.科学出版社,1993.12
- 3 陈国良,徐学选.黄土高原雨水资源利用的技术与发展.第七届国际雨水利用文集,1995,5
- 4 陈国良,李璧成等.对宁南山区发展高效农业的思考与建议.水土保持通报,1994.No.5
- 5 山仑等.节水农业及生理生态基础.应用生态学报,1991
- 6 年永录等.半干旱山区庭院径流拦蓄利用技术初探.甘肃农业科学,1995
- 7 陈国良,尚德福,张虹.干旱山区要大力发展窑窖节水农业.宁夏日报,1995年8月7日