

# 宁南半干旱地区主要作物土壤水分效率

韩仕峰 史竹叶 徐建荣

中国科学院  
(水利部水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

**摘 要** 宁南半干旱地区主要作物的土壤水分效率,经 1988~1995 年长期测定为:年降水利用率,春麦、豌豆、马铃薯、胡麻和谷(糜)依次为 52.49%, 48.35%, 82.56%, 63.17% 和 75.27%,以马铃薯利用率最高,山地高于塬地、川台地;可供有效水利用率,依次为 50.77%, 47.71%, 61.89%, 50.29% 和 59.80%,以马铃薯和谷(糜)地最高,山地高于塬和川台地。在立地条件差异上,胡麻是川台地大于塬、山地;水分生产效率依次为  $3.47\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,  $3.18\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,  $38.08\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,  $2.44\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$  和  $9.13\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,以谷(糜)最高,次为马铃薯,川台地高于塬地和山地。从目前的利用率和效率看,多数作物才达 50%~60% 和  $2\sim 3\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,还有相当大的潜力。提高的途径是:①调剂分配不均的降雨,②补灌提水,③培育抗旱品种,④提高已供有效水的利用率。

**关键词** 土壤水分 主要作物 宁南 水分利用率

## The Soil Water Use Efficiency of Main Crops in Southern Ningxia Semi-Arid Area

Han Shifeng Shi Zhuye Xu Jianrong

(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and  
Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

**Abstract** Through experiments done during 1988~1995, the soil water use rate and soil water use efficiency of main crops were analysed. They are as follows: (1) The precipitation use rate (PUR): spring wheat use 52.49% of precipitation others are pea 48.35%, Potato 82.56%, Flax 63.17% and Proso 75.27%. The PUR in slope land is higher than that of table land or table land. (2) The soil water use rate (WUR) are respectively 50.77%, 47.71%, 61.89%, 50.29% and 59.80% according above order. The WUR has the same tendency with above one. (3) The water use efficiency (WUE): 3.47, 3.18, 38.08, 2.44 and 9.13 (unit:  $\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{mm}$ ). The order of WUE has some difference within difference topography, which is in the order: table land's > tableland's > slope land's. From above analysis, we could see that WUR and WUE have great potentialities. The ways to raise include: A: to adjust and redistribute the precipitation; B: to uptake water from any water body and irrigate corps; C: to bring up new

drought resistant crop varieties; D: to raise the use rate of supplied effective water.

**Key words** soil water main crop southern Ningxia water use rate

宁南地处黄土高原西部温凉半干旱地区,降水偏少,气温偏低,一年一季作物,产量不高。过去人们单以干旱来总结当地农业发展,究竟水的作用发挥的怎么样,系统资料少,为了帮助决策农业发展问题,我们就水与作物产量的关系,作了较长期田间测定,现总结于下,以供参改。

## 1 观测地点和设计

本试验的观测点设在固原县河川乡上黄村,年干燥度 1.55,为典型的半干旱地区。以当地的轮作形式安排各年作物种植,进行系统土壤水分测定,半月一次,测深 0~2m,播种收获加深到 3m。为掌握地下地上部分变化关系,按生育阶段进行生长状况调查,收获时考种。轮作观测地块布置在川台、塬和山地上,均为平地,山地为新修宽面梯田,就地拦蓄降雨的能力很强。观测地块水源为自然降水,不灌溉。

观测的资料分两种情况,川台地于 1988 年起观测,积累资料 8 年,塬、山地从 1992 年起进行观测,积累的资料只有 4 年。

本文总结内容包括年降水利用率,可供有效水的利用率和水分生产效率三方面。年降水为生育年,即某作物收获到收获,可供有效水利用率包括生育期降水。

## 2 测定结果

### 2.1 春麦地土壤水分效率

各年降水利用率。如表 1 所列数字,其平均值在 50%~55%之间,山地>塬地>川台地。川台地干旱年的降水利用率高,如 1988,1991 和 1995 年的年降水量分别为 439.8mm,260.7mm 和 187.3mm(1~7 月),年降水利用率分别为 89.5%,70.3 和 66.4%。提高川台地年降水利用率需要做大量工作,其中一项措施就是调节降水时空分配不均的问题,当前推广的窑窖农业带有人为调节功能。

表 1 春麦地年降水利用率(%)

年	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	平均
川台地	89.5	65.0	69.2	70.3	32.9	53.9	50.2	66.4	50.85
塬地	—	—	—	—	52.0	59.9	62.5	29.5	50.98
山地	—	—	—	—	51.8	59.4	65.0	46.3	55.63

表 2 春麦地可供有效水利用率(%)

年	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	平均
川台地	72.3	65.5	64.3	72.6	30.5	49.6	52.2	55.3	46.9
塬地	—	—	—	—	44.9	65.8	50.2	30.9	48.0
山地	—	—	—	—	50.7	68.3	59.5	51.2	57.4

可供有效水的利用率。计算结果列于表 2,以川台地为例,1988~1991 年平均值为 68.7%,1992~1995 年为 46.9%,均表现出,有相当一部分有效水未被利用。不同立地条件下春麦地对可供有效水的利用率,以山地最高,塬地次之,川台地偏低,就是这样,可利用的程度仍然不够,有 53.1%~42.6% 的已存有效水至作物收获,仍滞留在土壤内。可供有效水和年降水利用率比较,

多年平均值偏低,川台和塬地分别相差 3.95% 和 2.98%,使降水的作用又减少一部分,山地较好,与土质地均一,供水快有关系。

春麦地土壤水分生产效率。它和产量、耗水量有密切关系,多年测值统计结果反映出(表 3),春麦地的籽实产量波动很大,介于 2 392.5~291kg/hm<sup>2</sup> 之间,年度产量相差 8 倍以上。春麦产量受上年秋雨恢复影响大:如果上年 8~10 月累积降雨量超过 200mm,第 2 年春麦将丰收;如果上年 8~10 月累积降雨量超过 100mm,第 2 年春麦因水分问题将取得一般收成;如果低于 100mm 降雨量,会出现干旱,第 2 年将带来严重减产。8~10 月的降雨集中起来,反映在 11 月初土壤水分状况。对当地 1988~1995 年裸地土壤水分对应变化进行了回归统计,为直线关系: $\hat{y}_{(1/4)} = 0.0327 + 0.934X_{(1/11)}$ ( $r = 0.935$ )积累土壤水分变化量的影响是,第 1 年秋季(11 月 1 日)土壤含水量每增加 1%(干土重),第 2 年开春(4 月 1 日),将增加 1.82mm,0~2m 土层折合 36.4mm。水分生产效率也直接受其上年降雨量的影响。从立地条件分析,川台地高于塬、山地,1992~1995 年平均,产量比塬、山地分别高 118.6kg/hm<sup>2</sup> 和 188.4kg/hm<sup>2</sup>,水分生产效率分别高 0.09kg/(hm<sup>2</sup>·mm) 和 0.85kg/(hm<sup>2</sup>·mm)。从多年平均数看,宁南山区水分生产效率仅 3.78~2.93kg/(hm<sup>2</sup>·mm)(相当 3.75~3.01kg/hm<sup>2</sup>·mm),非常低,就是在产量最高的 1993 年,也只有 9.11~5.33kg/(hm<sup>2</sup>·mm),与其它地区还相差 30%~50%。在现有降水条件下,增施肥料,覆盖,补灌提水等可较好地提高水分生产效率。在降水偏多年份,仅施肥一项措施,即可提高产量 639kg/hm<sup>2</sup>;一般降水年份,可提高产量 282kg/hm<sup>2</sup>;据试验,留高茬覆盖比不覆盖增产 54~72kg/hm<sup>2</sup>。在提高产量,挖掘水分潜力上,山地反应明显。

表 3 固原春麦水分生产效率 [产量,kg/hm<sup>2</sup>,效率 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)]

年		1988	1989	1991	1992	1993	1994	1995	平均
川台地	产量	1620.0	2067.0	2250.0	291.0	2392.5	365.3	424.5	868.3
	效率	4.73	8.28	7.44	2.68	9.11	1.43	1.88	3.78
塬地	产量	—	—	—	248.3	1650.0	530.3	570.0	749.7
	效率	—	—	—	1.44	5.65	1.97	5.69	3.69
山地	产量	—	—	—	372.8	1543.5	577.4	336.0	679.9
	效率	—	—	—	2.18	5.33	2.06	2.14	2.93

表 4 固原不同立地条件主要作物水分效率\*

作物	内 容	川台地	塬地	山地	平均
豌豆	年降水利用率(%)	45.44	49.03	50.58	48.35
	有效水利用率(%)	44.59	46.28	52.25	47.71
	水分生产效率(kg/hm <sup>2</sup> ·mm)	4.33	3.50	1.71	3.18
马铃薯	年降水利用率(%)	80.38	76.60	90.07	82.56
	有效水利用率(%)	60.28	55.97	69.43	61.89
	水分生产效率(kg/hm <sup>2</sup> ·mm)	38.07	47.43	28.75	38.08(折粮 7.62)
胡麻	年降水利用率(%)	75.10*	60.83	53.58	63.17
	有效水利用率(%)	52.75*	48.67	49.45	50.29
	水分生产效率(kg/hm <sup>2</sup> ·mm)	2.66*	2.32	2.33	2.44
谷(糜)	年降水利用率(%)	75.27	—	—	75.27
	有效水利用率(%)	59.80	—	—	59.80
	水分生产效率(kg/hm <sup>2</sup> ·mm)	9.13	—	—	9.13

\* 为两年平均值。川台地为 1988~1995 年平均值,谷(糜)为 1988~1989 和 1991,1994 年 4 年平均值,其它均为 1992~1995 年平均值。马铃薯折粮比例为 5:1。

2.2 豌豆地土壤水分效率

表 4 列出不同立地条件下各种作物地的年降水利用率,可供有效水分利用率和水分生产效率,因 1992~1995 年内,在当地经历了干旱,平水和丰水三个年型,取平均值。

豌豆地年降水利用率为48.35%,与春麦、马铃薯等4种作物比较,处于最低水平。山地略高于塬、川台地1.55%~5.14%。年型对其影响很大,丰水年,山地比塬地高5%~10%,旱年,山地比塬、川地低1%~3.5%,但其年降水利用率仅变化在40.6%~55.7%之间,只可利用到一半左右的年降水量。

可供有效水利用率,与年降水利用率有相同趋势,平均值为47.71%,利用不到一半有效水。山地略好,塬、川台地作用发挥的更低,低于其它4种作物对可供有效水的利用率,差值达到14.18%~2.58%。各降雨年型差异大,如川台地豌豆的可供有效水利用率从35.2%~59.2%,相差24%,塬、山地也可相差14.1%~14.3%。相差的原因,不仅与生育年降雨量有关,而且与年内降雨时空分配关系更大,如1991年和1993年的生育年降雨分别为430.6mm和487.6mm,1993年多降57mm,但1991年的可供有效水利用率比1993年提高15.1%,关键有两点,一是上年10月份降雨量多少不一样,1991年比1993年多52.9mm,10月降水在当地都会通过土壤水库几乎全部的贮存到第2年开春,使3月15日的土壤含水量相差2.4%,0~2m土层折合62.9mm;二是关键生育期降水不一样,豌豆地在5月中旬到6月上旬为吐丝期,即为麦田的孕穗期,和需水临界期,1993年5月份比1991年同期多降水37.4mm,解决了补灌提水作用的问题。

豌豆地土壤水分生产效率比胡麻地高,平均值为 $3.18\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,川台地>塬地>山地,相差 $2.62\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。效率甚低,比当地麦田低 $0.71\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,豌豆地提高效率的潜力很大。不过作为轮作倒茬作物,对于调节时空分配不均降水利用、改善土壤肥力水平有一定价值。如果单纯从经济效益和提高水分利用效率考虑,发展豌豆生产的限制性大。加入轮作系统后总体产量和产值都很高,在固原上黄村的试验结果是,加豌豆的四年轮作地总产量比连作春麦提高 $956.5\text{kg}/\text{hm}^2 \sim 629.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ,总产值提高 $1\,092.70 \sim 1\,485.30\text{元}/\text{hm}^2$ ;在澄城连续5年试验证明,加豌豆轮作总产量比连作冬麦增产 $1\,939.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ,总产值增加 $354\text{元}/\text{hm}^2$ 。

### 2.3 马铃薯地土壤水分效率

从表4计算结果看到,马铃薯地的年降水利用率、可供有效水利用率和水分生产效率均处在前列水平,年降水利用率达到82.56%,当年降水大部分在马铃薯生长期被利用,比春麦、胡麻、(糜谷)高出30.07%,19.39%和7.29%。因此,马铃薯茬地的土壤水分条件很差,进入冬季一直处于土壤水分的恢复过程中。如1991年为干旱年,马铃薯地收获后,0~2m土层的土壤含水量已降为7.5%~7.8%,接近凋萎湿度。尽管干旱,土壤水分还在微量增加,立地条件不一样,利用率不一样,以山地最高,达到90.07%。但年际之间不同,旱年山地的利用率为85%;丰水年达到98%;川台地的旱年为70.2%,丰水年达到90.3%。丰水年有利于马铃薯地提高对降水的利用率。

可供有效水利用率。平均值达到61.89%,比春麦、胡麻、谷(糜)地高出11.12%,11.6%和2.09%,谷地可供有效水利用率和马铃薯地接近。在立地条件方面,山地比塬地高3.46%。年际间有较大差别(表5):降雨量高的年利用率高,降雨量少的年利用率低,在山、塬地还没有表现出规律性。提高可供有效水利用率潜力还很大。

表5 马铃薯地各年可供有效水利用率(%)

年	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
降水量	439.8	358.6	475.1	260.7	523.5	335.3	447.4
生育期降雨	323.0	247.4	338.7	193.5	449.8	271.4	345.4
川台地	54.5	49.2	55.3	83.4	59.6	—	—
塬地	—	—	—	—	49.1	61.2	68.8
山地	—	—	—	—	56.2	75.8	76.3

马铃薯地水分生产效率。其平均值高达  $38.08\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,如按  $2.5\text{kg}$  薯折  $0.5\text{kg}$  粮算,为  $7.62\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,还是很高的,比春麦、胡麻分别高出  $4.15\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 和  $5.18\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,比谷地低  $1.51\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。说明对水分利用的较充分,产量还上的不够。尤其山地比塬地要低  $18.7\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。马铃薯地要把提高年降水利用率和水分生产效率结合起来。目前在提高水分利用上出现假象,表面上为作物耗水,实际上有相当一部分降水走了过程,主要原因是降水季节和生长季节同步。要重视降水季节作物耗水的实际利用效率。

#### 2.4 胡麻地土壤水分效率

胡麻是油料作物,经济价值高,近来在本地区推广种植面积很大。

胡麻的年降水利用率。从表4列出数字看到,分别比春麦地、豌豆地高出  $10.68\%$ 和  $14.82\%$ ,但比马铃薯、谷(糜)地低。在立地条件差别上,与春麦有相反的表现,川台地高于塬、山地,相差  $12\%$ 左右。

可供有效水利用率,也处于中等偏下水平,川台地略高于塬地和山地。在胡麻地的生产中,现在还有一半左右的土壤有效水未被利用。从提高胡麻生产来说,潜力还很大。尤其山地的潜力要继续做工作。

胡麻地的水分生产效率。在5种测试作物中是最低的,仅达  $2.44\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,比春麦、豌豆、马铃薯、谷(糜)地分别低  $1.03\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,  $0.74\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,  $5.18\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 和  $6.69\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。川台、塬、山地之间的差值也不大,年际之间变化小,一般都在  $2\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 左右,早年比丰水年低  $0.93\sim 1.07\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。胡麻比春麦收获时间推迟  $10\sim 20$ 天,它的开花、灌浆和成熟期都在雨季,有利于提高产量。但也同时存在和马铃薯一样的问题,水分生产效率不高,有一部分与胡麻生长同步的降水未真正用上。在提高水分利用上,一方面是调剂分配不均的降水,另一方面也必须重视可供水分的有效利用。从胡麻地的反映中得到启发。

#### 2.5 谷(糜)地土壤水分效率

从4年测值统计,相比较处在较高水平,年降水利用率比马铃薯地略低  $5.11\%$ 以外,比其它3种作物高  $0.17\%\sim 30\%$ ;可供有效水水分利用率和马铃薯地持平,比其它作物地高  $7\%\sim 15.21\%$ ;水分生产效率最高,比马铃薯地换算成粮食产量的水分效率高  $1.52\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,是其它3种测定作物地水分生产效率的  $3.43\sim 2.11$ 倍。谷地雨季对同期雨水利用是比较充分的。但年际之间差别也很大,1988年测定,谷地对当年降水利用率达到  $92.7\%$ ,水分生产效率(WUE)达  $15.88\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,而在干旱的1991年,年降水利用率只有  $74.4\%$ ,水分生产效率仅为  $2.81\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ ,相差  $7\sim 8$ 倍。谷地还要不断提高水分效率,潜力是有的。

### 3 提高利用的途径

概括起来是:

### 3.1 调剂降水分配不均而造成有水用不上的问题

北方旱农地区,雨季集中在7、8、9三个月,其间降雨要占到全年降雨量的65%~70%,其它长达9个月的时间内,降雨才占到全年降雨量的30~35%。而旱季正是春麦、豌豆等作物生育期,土壤贮存的有限水分满足不了作物正常生长的需要,大部分地区又无地表水资源,出现水分亏缺,对提高产量影响很大;就是和雨季同步生长的作物,如胡麻、谷子、马铃薯、春玉米等作物,前期往往因干旱而小苗长势不好。急需补充一定水量。旱地农业主要是调剂分配不均的降水。可采用窑窖农业、冬灌深层蓄墒以及覆盖施肥保墒等措施能够解决一定问题。

### 3.2 补灌提水,提高水分效率

当土壤水降到一定湿度后,对苗期作物来说,很难利用上,只有利用一定外来水,催苗生长,使根系深扎下去,待自身抗旱能力加强后,以水调水。据测定,作物各生育阶段的凋萎湿度值不一样,春麦三叶期为4.9%,到孕穗期为10.4%,开花期为11.6%,开花期的凋萎湿度值比三叶期增加6.7%,利用这种办法,前期补灌,后期挖掘深层水分利用<sup>[1]</sup>;山仑等研究,采用拔节期一次补灌600m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>水,水分效率达到1.9kg/(hm<sup>2</sup>·mm)<sup>(2)</sup>,增产幅度达45%~80%。

### 3.3 培养抗旱品种,减少无效蒸腾。提高已用水分的光和效率

### 3.4 对已供有效水要采用覆盖,促渗抗旱拌种等方法,达到缓慢的持续供水,提高水分利用率

据对当地裸地雨季降水动态测定,87.7%的降水复被蒸发,在半干旱偏旱地区甚至达到100%;又据测定,麦田行间蒸发要占到总耗水量的44%~48%左右<sup>[1]</sup>,增加对生长同期降水的有效利用是一个突出问题,在谷糜、马铃薯的水分生产效率中已反映出来。

## 参考文献

- 1 陶毓汾等. 中国北方旱农地区水分生产潜力及开发. 北京:气象出版社,1993,p53~83
- 2 山仑. 节水农业研究的任务与前景. 中国科学报,1985. 年8月18日

(上接第106页)

体是同步的(如1991年,这样的年份较少),只要在头年的秋季,作好保墒,使2m深层的土壤水分含量在春播时达15%左右,春麦的丰收是有希望的。如遇到旱年,必须利用有限的水资源进行有限的补灌,特别是在拔节—抽穗最需要水分时期,此时是营养生长和生殖生长最旺盛时期,拔节初期也是幼穗分化的高峰期,它关系到穗大粒多,是夺高产的关键时期。要求农民多打窖或修蓄水池,将自然降水储存起来,关键时期进行滴灌,以维持春麦的正常生长。

### 2.4 增加肥料的投入,特别是磷肥的投入量

增加肥料投入,培肥土壤,做到以肥调水,以水促肥的效果。

### 2.5 改善施肥方式,提高肥料的有效利用率

改变现在秋季“一炮轰”的施肥方法,根据赵世伟的试验,将春麦全生育期应施入的氮肥总量的一半(即1/2)和全部的磷肥(种肥除外)在头年秋季施入土壤,播种时施入适量(1hm<sup>2</sup>施60kg磷酸二铵)种肥。在拔节、抽穗期应将所余的一半氮肥作为追肥施入,可在雨水较好的拔节期一次施入土壤中,或者有条件时可在这两个时期分别以1/4的量喷洒叶面。这样既可防止肥料的过多损失,又可及时供给春麦生长需要,使肥料的利用率大大提高。

还可在春麦拔节抽穗期,喷施1~2次新型液肥(暂定名为多功能液肥),这种肥料不仅能给春麦提供养分,还起到了抗旱作用,特别在干旱年份作用更大,据我们几年的试验,增产在10%~24.1%,尤其对千粒重的增加效果好,应大力推广应用。