

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3.47kg/(hm²·mm),3.18kg/(hm²·mm),38.08kg/(hm²·mm),2.44kg/(hm²·mm)和9.13kg/(hm²·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2~3kg/(hm²·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: kg/hm²·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

① 收稿日期:1995-11-10

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 2392.5~291kg/hm² 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/hm² 和 188.4kg/hm²,水分生产效率分别高 0.09kg/(hm²·mm) 和 0.85kg/(hm²·mm)。从多年平均数看,宁南山区水分生产效率仅 3.78~2.93kg/(hm²·mm)(相当 3.75~3.01kg/hm²·mm),非常低,就是在产量最高的 1993 年,也只有 9.11~5.33kg/(hm²·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/hm²;一般降水年份,可提高产量 282kg/hm²;据试验,留高茬覆盖比不覆盖增产 54~72kg/hm²。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/hm²,效率 kg/(hm²·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 ² ·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 ² ·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 ² ·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 ² ·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 2.5kg 薯折 0.5kg 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^[1]; 山仑等研究, 采用拔节期一次补灌600m³/hm²水, 水分效率达到1.9kg/(hm²·mm)⁽²⁾, 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^[1], 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(1hm²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。