

半干旱区春小麦高效利用有限灌水的研究

邓西平 山 仑

(中国科学院 水土保持研究所 陕西杨陵 712100)
水利部

Lnanaga Shinobu

(Arid Land Research Center Tottori University 1390 Hamasaka 680 Japan)

Sinohara Wataro

(Niigata University Miyamae4-29-8 Tokyo Japan)

摘 要 在宁夏南部半干旱山区的研究结果表明,满足籽粒产量最大时所需的补充灌水量为200mm;满足作物水分利用效率最高时所需的补充水量为100mm;满足灌水效率最高时所需的补充灌水量为60mm。60mm补充灌水条件下可使春小麦的耗水量从240mm增加到320mm左右,同时明显地使作物产量、水分利用率和灌水效率得以同步提高,作物对土壤储水和利用程度也相应增强。据此认为,旱地春小麦有限灌水量的适宜下限为60mm。对不同生育期有限灌水的研究结果表明,拔节期是春小麦有限供水的最佳时期。

关键词 春小麦 有限灌水 水分利用效率 旱地

High Efficient Use of Limited Irrigation Water by Semiarid Zone Spring Wheat

Deng Xiping Shan Lun

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

Lnanaga Shinobu

(Arid Land Research Center Tottori University 1390 Hamasaka 680 Japan)

Sinohara Wataro

(Niigata University Miyamae4-29-8 Tokyo Japan)

Abstract The research results showed that in the semiarid mountain area of the south part of Ningxia, the maximum supplementary irrigation water to meet with the highest grain yields of spring wheat was 200mm; and the supplementary irrigation water to satisfy the highest crop water use efficiency was 100mm; and the supplementary irrigation water required to satisfy the highest irrigation efficiency was 60mm. In the case of 60mm supplementary irrigation water, the

water consumption of spring wheat increased from 240mm to 320mm or so. Meanwhile, crop water consumption, water use efficiency and irrigation efficiency were much improved synchronously. And also, stored soil water use efficiency by crops improved correspondingly, on the basis of which it can be considered that the limited irrigation water for dryland spring wheat was the lower limitation. Also, the results from research on the limited irrigation water in different and developing stages indicated that the best period of limited water supply should be the jointing stage.

Key words spring wheat limited irrigation water water use efficiency dryland

我国西北黄土丘陵半干旱地区,水分不足是限制粮食生产的一个主要因子,但是,多数情况下有限降水资源并没有得到充分利用,致使当前作物产量显著低于按降水量推算的理论产量。这一地区的灌溉面积尽管得不到耕地面积的10%,但通过径流蓄水发展雨水集流农业和有限灌水是可行的。因此,旱地农业中有限灌水高效利用的研究有可能促使这类地区的粮食产量有较大幅度提高,成为农业增产的一条新途径。然而,关于有限灌水条件下作物产量、耕水量和水分利用之间的关系目前尚缺乏系统的研究报导。依据试验研究对这三者之间的定量关系以及确定适宜供水时间和灌水量下限方面的问题进行了探讨,旨在为半干旱地区有限水资源的高效利用提供科学的依据。

1 材料和方法

试验于1990~1991年在位于典型黄土丘陵半干旱地区的中国科学院固原生态站进行。该站年平均气温6.5℃,年平均降雨量470mm。试验地选择阳面台地,土壤类型为黄绵土,土壤肥力为中下水平,田间持水量23.6%,永久凋萎湿度5.6%。试验施肥量为225kg/hm²,其中N和P₂O₅的比为例6:9。选用当地大面积推广的春小麦品种定西81-39(2)为试验材料。实验分两组进行:

A组:灌水量试验,设0,30,45,60,150,180,240和360mm。

B组:灌水期试验,灌水量60mm条件下(1) 1. 籽粒产量(y_1)和 $ET(x)y_1 = -5.1085 \cdot 10^{-5}x^2 + 0.0496x - 6.8183 (r = 0.998 \text{ SE} = 0.073)$

不灌水;(2)拔节期;(3)孕穗期;(4)灌浆期。
2. $WUE(x_2)$ and $ET(x)$, $y_2 = -1.4107 \cdot 10^{-4}x^2 + 0.1094x - 8.8507 (r = 0.975 \text{ SE} = 0.192)$

2 结果

2.1 有限灌水条件下耗水量(ET)、产量和水分利用效率(WUE)之间的关系

图1表明,旱地春小麦在有限灌水条件下籽粒产量,水分利用效率和耗水量之间均呈二次

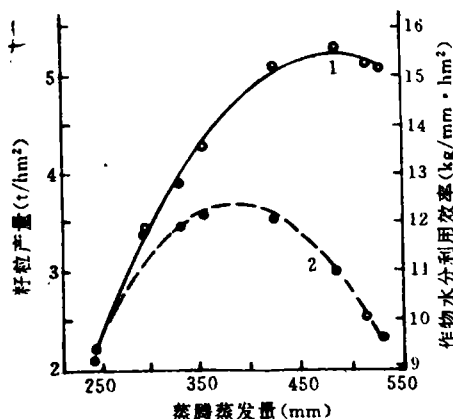


图1 旱地有限灌溉水条件下蒸腾耗水量(ET)对籽粒产量和作物水分利用效率(WUE)的影响

曲线关系。当耗水量从 240mm 增加到 440mm 时,籽粒产量随耗水量的增大而显著提高。虽然统计分析的结果表明,当耗水量从 440mm 增加到 540mm 时籽粒产量的变化没有明显差别,但当耗水量为 486mm 时,籽粒产量已达到了最大值,即最大产量为 $5.228\text{t}/\text{hm}^2$,再进一步增大耗水量则产量呈下降趋势。

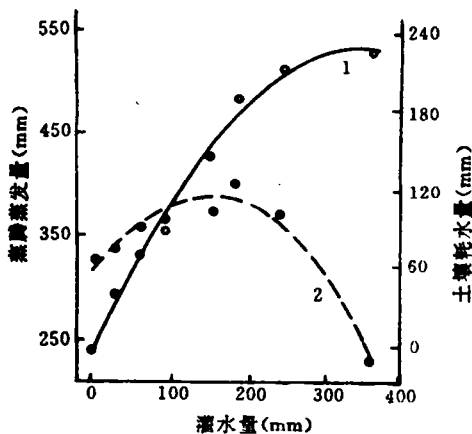
水分利用效率与耗水量的关系显示出,当耗水量为 390mm 时,作物的水分利用效率就已达到了其最大值,为 $12.34\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,相应的籽粒产量为 $4.737\text{t}/\text{hm}^2$ 。但统计分析的结果显示,当耗水量从 240mm 增加到 320mm 时,水分利用效率随耗水量的增大而明显提高,当耗水量从 320mm 继续增加至 440mm 时,随耗水量的增大水分利用效率则没有明显提高;耗水量从 440mm 再继续增大时,随耗水量的增大水分利用效率显著下降。

对图 1 中耗水量与产量和水分利用效率三者关系的分析结果表明,籽粒产量和水分利用率同步提高的耗水量为 240mm 到 320mm 之间;水分利用效率在比较高的水平上保持相对稳定,而籽粒产量明显持续增加的耗水量范围为从 320mm 到 440mm;籽粒产量在高水平上相对稳定,而水分利用效率则从高水平上显著下降的耗水量范围从 440 至 540mm。

2.2 灌水量、土壤耗水与灌水效率

图 2 中当灌水量从 0 增加到 240mm 时,随灌水量的增大耗水量从 240mm 持续增大至 510mm 左右;灌水量从 240mm 增大到 360mm 时,耗水量则没有显著变化。灌水量与土壤耗水的关系表明,灌水量为 60mm 时可以显著提高对土壤储水的利用;当灌水量从 60mm 增加至 200mm 时,对土壤储水的利用程度继续增大的作用不明显,平均比不灌水的对照增加了 37mm,回归分析的结果虽然在灌水量为 150mm 时,土壤耗水的最大值为 112mm,比对照提高了 48mm,但多重比较的检验结果表明,与平均值没有显著差异,当灌水量从 200mm 增加至 360mm 时对土壤储水利用程度则显出显著的负效应。

灌水量与灌水效率的结果(图 3)表明,当灌水量从 0 增加至 60mm 时,灌水效率随灌水量急剧增高,其中 60mm 灌水量条件下灌水效率达到最大值 $28.95\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$,从 60mm 的灌水量开始,随灌水量的增加灌水效率显著下降。



$$1. ET (y_1) \text{ 与 灌水量 } (x), y_1 = -2.5424 \cdot 10^{-3} x^2$$

$$+ 1.743 x + 236.8 (r = 0.994 \text{ SE} = 6.410.073)$$

$$2. \text{土壤耗水量 } (y_2) \text{ 与 灌水量 } (x), y_2 = -2.6853 \cdot 10^{-3} x^2$$

$$+ 0.7956 x + 53.515 (r = 0.970 \text{ SE} = 4.78)$$

图 2 灌水量对土壤耗水和蒸腾蒸发量 (ET) 的影响

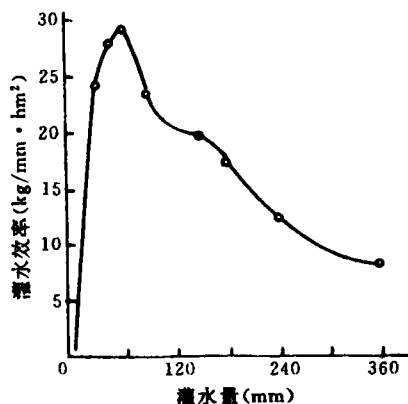


图 3 灌水量对灌水效率的影响

2.3 有限灌水的适宜时期

不同生育期有限灌水的实验结果(表1)表明,在灌水量 60mm 条件下,三个生育期补充灌水的效果表现出明显的差异,从对产量的影响看,虽然孕穗期和灌浆期灌水处理表现显著增产,但以拔节期灌水的增产幅度最大,水分利用效率最高,灌水效率也最大,有限灌水的效果依次为:拔节期>孕穗期>灌浆期。表1中的资料还表明,拔节期灌水处理耗水量大,而且比其它处理多利用了土壤储水达 30~58mm,而孕穗期和灌浆期的处理与对照相比较则对土壤储水的利用为负效应。根据上述结果可以认为,春小麦有限灌水的适宜生育期为拔节期。

表1 不同生育期有限灌水对春小麦产量和水分利用的影响

灌水处理	产量 (kg/hm ²)	水分利用率 kg/(mm·hm ²)	耗水量 (mm)	土壤耗水量 (mm)	IWU kg/(mm·hm ²)
CK	2148d	9.06d	241.2d	64.0d	0d
拔节期(60)	3915a	11.82a	331.2a	94.0a	29.0a
孕穗期(60)	3165b	10.73b	295.5b	58.3b	16.35b
灌浆期(60)	2730c	9.98c	273.5c	36.3c	9.15c

注:灌溉水利用效率 IWUE 为 Irrigation use efficiency.

表中每列数后不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

3 讨论

3.1 有限灌水条件下春小麦耗水量对产量水分利用的效应特征

通过对图1、图2和图3的分析表明,春小麦的耗水量变化具有以下3个特征:(1)耗水量从 240mm 提高到 320mm 时可以显著同步提高籽粒产量,水分利用效率和灌水效率,同时也提高了土壤储水的利用程度。耗水量达到 320mm 所需的补充灌水量仅为 60mm,表明耗水量的增大不仅是由于增加了灌水量,同时,土壤耗水也随之增大;(2)耗水量从 320mm 增加至 440mm 时,籽粒产量持续显著提高,水分利用效率和土壤储水的利用则在较高的水平上保持相对稳定。在这一耗水量范围内所需的补充灌水量为 60~150mm,但是,随着灌水量的增大,灌水效率则明显下降;(3)耗水量在 440~540mm 范围之内,籽粒产量在高水平上相对稳定,满足这一耗水范围的补充灌水量为 150~360mm,随灌水量的持续增加水分利用效率和对土壤储水的利用显著下降。回归分析的结果进一步表明,满足最大产量所需的补充灌水量约为 200mm;满足作物水分利用效率最高时所需的补充灌水量为 100mm 左右;满足灌水效率最高时的补充灌水量约为 60mm。综上所述,可以认为,在宁夏南部半干旱地区有限灌水的适宜下限以 60mm 为宜。

3.2 春小麦有限供水的最佳时期

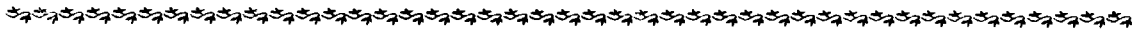
对表1和图1、图3的分析结果表明,拔节期 60mm 灌水条件下,补充灌水量仅占最大产量下灌水量的 1/3 左右,所取得的产量则为最大产量的 75.0%,作物水分利用效率达到了其最大值的 95%。作者已有的研究还表明,这一时期有限供水提高了单叶净光合速率,促进了根系生长^[2],从而提高了对土壤深层储水的利用程度。据此认为,拔节期是春小麦有限供水的最佳时期。

在植物水分关系的研究中,以往多注意于充足供水和严重亏缺条件对生理过程和产量形成的影响,而对有限条件下的研究则涉及的较少,而且已有的报导多数认为,孕穗期(花粉母细胞形成)是小麦对水分亏缺的敏感期,即临界期,此期遭受干旱对籽粒产量的影响最大^[3]。本研究以半干旱地区的春小麦为对象,从有限水高效利用的原理出发,对春小麦产量、耗水和水分

利用综合分析认为,干旱条件下获得适宜产量的有限灌水量下限为 60mm,而这一少量水的最佳供给时期为拔节期,因而发现小麦的水分亏缺临界期与最佳供水时期并非同一生育期,两者存在着时间上的错位现象。因此,有必要将缺水减产与供水增产的概念加以严格区别,这一结果是对春小麦水分关系已有研究的一个重要补充,为缺水地区发展有限(亏缺)灌溉农业提供了理论依据。

参考文献

- 1 山仑、孙继斌等. 宁南山区主要粮食作物生产力和水分利用研究. 中国农业科学, 1988, 21(2), 9~16
- 2 Loomis R. S and Connor D. J, Crop ecology, Cambridge University Press, 1992, 240~151
- 3 Shan Lun and Deng Xiping et al, Water use efficiency in agriculture, Vivian R. Priel press, Jerusalem, 1992 102~110



(上接第6页)

四季分配不均,年变率大(春季为 49%,夏季为 46%,冬季为 78%)。有明显的旱季和雨季,旱季(4~6月)降水偏少,仅占全年的 1/4。这一时期除六盘山附近地区外,干旱对夏季作物威胁严重,在年降水量 350~450mm 的各地,年干旱频率为 60%以上,最北部达 80%,春夏连旱为 53%~77%,即 10 年有 6~8 年旱,每 2~3 年一大旱,春夏连旱的年份占 1/2 以上,旱期长,平均每年干旱日数 67d,最长 140d(1973 年),作物产量很不稳定。

热量偏低,春季气温回升不稳,常有寒潮袭击,霜冻频繁,大大降低了光能资源的利用率。据气候生产潜力估算,因热量偏低,使光合潜力下降约 50%,而水分不均匀又使光合潜力下降 14%~34%。

冻雹危害较重,冻雹路径多,可以从各个方面袭击,全县平均每年发生雹灾 11 次。1964~1970 年全县累积雹灾面积 162 533hm²,平均每年 23 200hm²,占农地面积 8%。

2.2.4 森林覆盖率低,农村能源严重短缺 固原县森林覆盖率仅 2.1%,低于黄土高原的平均水平,而且分布不均,主要集中在六盘山区,广大东部、东北部丘陵区只有 0.1%。农村能源奇缺,每年约有 2/3 的农户缺烧 6 个月以上,挖草根、铲草皮、烧畜粪作燃料,使森林草场受到破坏,水土流失加剧。

简言之,固原县幅员广阔,地势起伏大,自然条件组合多样,为农林牧业的合理配置、分区经营和综合发展提供了基础条件。但由于资源利用不合理和一些不利因素的影响,致使粮食、饲草、土地资源、能源与人、畜、环境之间都出现了严重的不平衡。农地面积大,但广种薄收,口粮不能自给;有广阔的天然草场,但载畜量低;土地资源丰富,且“三料”俱缺,水土流失严重,农林牧业严重失调。因此,必须在查清资源的基础上,从合理利用资源出发,作出符合科学的农业区划、规划,并从生产方针、合理配置、控制人口增长以及经济和技术政策各方面进行重大改革,且持之以恒地经过较长时间的努力,才能扭转当前的被动局面,逐步达到由穷变富、改变面貌的目的。

根据固原县所处半干旱的黄土高原森林草原和干草原生物气候带,及其有利和不利的自然因素,固原县农业生产应发展旱作农业、草地畜牧业和以防护为主的林业体系,在其起步阶段则要大力种草种树、兴牧促农、农林牧全面发展,以利于农林牧三者相互依存和协调发展。中日关于黄土高原绿化与农田增产的生态学基础研究,即是为实现这一目标提供依据和措施。