

黄土高原地区农田土壤水分高效调控技术

彭珂珊

(中国科学院·水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:分析黄土高原节水农业的必要性,总结出黄土高原农业调水技术主要有 7 大类:培肥地力以肥调水,轮作倒茬调水,间隙休闲调水,抗旱育种调水,节水灌溉调水,径流农业调水,化学技术调水;指出在干旱、半干旱的黄土高原地区,利用农业调水技术是粮食增产增收的有效措施和必然趋势。

关键词:节水农业;调水技术;水资源利用;生态环境;黄土高原

中图分类号:S152.7;S27

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2001)01-0005-04

黄土高原发展旱作农业和节水农业是该地区农业发展的必然趋势。节水农业,首先要提高天然降水利用率;其次把可以用于农业生产的地面水、地下水、灌溉回归水、经过处理后的污水以及土壤水等都充分、合理地利用起来;三是把农业调水措施的潜力发挥出来,达到费省效宏的目的。广义的节水农业包括了农业高效用水的许多措施^[1]。鉴于黄土高原地区水资源日益短缺的现状,早在 50~60 年代,水利部就开始实施了节水农业技术和以提高灌溉水有效性为目标的灌溉农业工程,到 70 年代初某些技术已在生产中大面积推广应用。如在自流灌区大力推广衬砌渠道,减少输水渗漏损失,田间开展平整土地,划小畦块,推行短沟或细流沟灌,建立健全用水组织,实行计划用水,按用水量收费。70 年代中期在机电泵站和机井灌区进行节水节能技术改造。70 年代后期到 80 年代初在丘陵区 and 土壤透水性强、水源奇缺的北方地区实行抗旱灌溉,推广喷、微灌等先进灌水技术。80 年代中期到 90 年代初,在全国范围内推广低压管道输水灌溉技术。从 90 年代开始,研究节水工程技术同农业技术(水肥配合、耕作措施、作物结构与布局、地表覆盖)和化学节水技术的综合组装,如小麦优化灌溉、水稻浅湿灌溉、膜上灌、旱作坐水点种等,使 20 世纪末节水农业技术提高到一个新的水平。按照现阶段节水灌溉标准计算,我国节水灌溉面积已达 1333 万 hm^2 ^[2]。北方旱区低压管道输水面积达 333.3 万 hm^2 ,宁夏、山西、甘肃等发展水窖集雨灌溉,喷灌面积发展到 67 万 hm^2 ,滴灌面积 1.33 万 hm^2 ,甘肃在 60% 的地区降水量不足 300 mm

的情况下,充分利用水资源,兴建了提黄工程,新增水浇地 7 万 hm^2 。宁夏等部分地区启动类似节水农业工程,成果显著,效果明显。

1 培肥地力调水

培肥地力是农业调水最为关键的技术,以肥调水是通过培肥旱地土壤、改善土壤结构、增加土壤蓄水能力来对农作物培育壮苗,使之形成强大根系,扩大吸水深度而达到调水之目的。

a. 有机肥含 N、P、K 全面,它在农作物发展中的作用不可低估。施用有机肥,使土壤有机质含量全面增加,长期施用还可明显改善土壤的结构和通透性,增强土壤团聚性和水稳性,从而使土壤保水保肥性能得到提高,为作物生长创造良好的生长条件。在夏季休闲期间,连续 4 年增施有机肥的土地,比不施肥的增加蓄水量 750~900 m^3/hm^2 ,小麦增产 1 倍,水分利用效率提高 80%,小麦从土壤中带走的有机肥中的 N 素是随用量的增加而增加的,这种趋势无论是丰雨年,还是干旱年均一致,有机肥施用量的增加均能有效提高籽粒及茎叶的 N、P、K 含量,还能提高水分的利用率,并能提高小麦产量。

b. 化肥是农业生产的物质保证,合理施用可以显著提高农业产量。据在宁夏固原试验,春小麦产量 810~1350 kg/hm^2 生产水平的耕地上,施用 N 和 P_2O_5 各 30~45 kg/hm^2 ,产量即可提高到 1175~2025 kg/hm^2 ,可增产 720~930 kg/hm^2 ,增产率为 55.2%~118%;水分利用率由 2.715~4.2 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 提高到 6.675~7.68 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$,提高了 58.9%~

基金项目:中国科学院西部行动计划和国家科技攻关资助项目(编号:96-004-05-B)。

作者简介:彭珂珊(1962—),男,湖北应城人,高级工程师,香港中文大学客座教授,从事水土保持与生态农业研究。

145.9%。根据试验,深施磷肥的株高、单株根数、单株鲜重、单株干重和产量比对照组提高30%,20%,26%,8.3%,33.3%,水分利用率提高28.2%(见表1)。

表1 不同处理春小麦产量和水分利用效率

处 理	株高 /cm	单株根 数/条	单株鲜 重/g	单株干 重/g	产量/ (kg·hm ⁻²)	水分利用效率/ (kg·(hm ² ·mm) ⁻¹)
施磷肥(A)	18.4	6	0.44	0.13	1500	6.54
对照组(B)	14.2	5	0.35	0.12	1125	5.10
$\frac{A-B}{B}$	29.6%	20%	25.7%	8.3%	33.3%	28.2%

c. 制定配方施肥方案,定产定肥。黄土高原水土流失区土壤一般缺N又缺P,而且K不足。如盛产马铃薯的宁南、陇东地区,一般每1000kg马铃薯需N₂.75kg, P₂O₅ 1.1kg, K₂O 5.1kg, N和P₂O₅之比为2.5:1.45。根据不同作物的需要及土壤供肥和肥料的效应,配方施肥是马铃薯稳产的重要保证,N,P,K配合施用。随着N肥用量的增加,马铃薯的增产效应呈上升趋势,配施P₂O₅或K肥比单施均增产,其中N,P,K以1:2:2和3:2:3配合产量最高。

d. 平衡施肥,是指作物必要的各种营养元素之间的均衡供应和调节,以满足作物生长之需要,从而发挥作物生长潜力及肥料利用率,避免使用某一元素过量所造成的污染。近几年来,平衡施肥面积迅速扩大,施用作物的种类越来越多。黄土高原土壤所含元素不均,通过试验,坡地必须强调N和P的配合,梯田宜多N,川地宜多P,因为坡地水土流失严重,N,P均缺,梯田常施优质有机肥,故P多而N少,川地是粮食生产的基地,重施N而不注重施P,致使N丰而P缺。此外,各种方法与微量元素硼、锰、铝、锌、铜、铁配合使用,效果更好,长武试区在黑垆土上对小麦施用锌、锰、硼肥,增产分别达到33.6kg/hm², 260kg/hm², 143 kg/hm²,增产幅度分别达到9.8%, 7.5%, 4.1%。马铃薯平均增产15.4%。

2 轮作倒茬调水

农田轮作倒茬是耕作制的重要内容,也是黄土高原的重要农田水分控制技术。在旱作农田,自然降水不足,而土壤水分库容较大,如果采用合理轮作方式,则可提高水分利用效率。轮作是在同一块农田上,有计划地播种几种不同作物,使前后作物相互配合,以充分利用气候、地力、肥力、劳力、畜力等生产要素。合理轮作是通过肥(施用有机肥、肥田保水)、作(作物调剂用水)、蓄(改善土壤条件,扩大蓄水量)、用(挖掘不同层次的有效水利用)等途径来解决有限供水下的农业持续增产问题。由表2可知,在大多数情况下,适合当地的轮作与小麦连作相比,均能提高水分利用率,其中半湿润偏旱区提高6.8%~

7.0%,半干旱区和半干旱偏旱区分别提高2.0%~9.4%和2.4%~6.1%。据中科院·水利部水土保持研究所在澄城试验,高肥豌豆麦(谷)轮作1983~1992年对降水利用率平均值在55.0%以上,比无肥连作提高3.0%~6.0%,比油菜和冬小麦(2年)与苜蓿(3年)和冬小麦(2年)轮作提高5.0%~7.0%。在干旱年,比高肥连作提高20.0%~30.0%。切合实际的轮作可提高可供有效水的利用率,一般提高2.0%~9.0%。轮作一般都要加进经济作物,提高总产值。在黄土高原地区,年和季降水不均,干旱时刻威胁每季作物,肥力的作用还不能充分发挥出来,只有轮作来调节分配不均的降水,以便释放出应有的能量。试验表明,轮作地无论是在干旱年型、平水年型或丰水年型,都使籽粒产量和水分利用率达到最高水平。3年轮作小区的粮食产量比连作提高36.4%~109.8%,增产735~600kg/hm²,水分利用率提高25.1%~92.0%。黄土高原部分地方实行玉米和苜蓿、小麦和杂粮轮作,缓解了旱情,扭转了粮食徘徊不前的局面。

表2 不同地区轮作方式的可供有效水利用率 %

地 点	麦轮作	麦豆轮作	胡麻麦轮作	麦糜豆轮作
澄城	87	94	—	—
固原	51	48	60	53
海原	76	78	82	74

3 间隙休闲调水

间隙休闲是干旱丘陵坡地实行的撂荒农业,即实行一定时期的间歇休闲,可使土壤水分得以恢复。在黄土高原水土流失地区,一季作物使土壤水分亏缺较多,当年降雨,只能使土壤水分恢复一部分,第二年才能使其恢复到田间稳定湿度上。如年降水量在300mm的轻壤土地区,0~200cm土层的持水能力可达496mm,有效蓄水库容347mm,即使当年降水全部渗入土壤中,也是非饱和的,按需水量较小的谷、糜作物来说(5250~6750mm/hm²),也满足不了作物对水分的需求量,何况一般降水量要受到径流、蒸发等损失,入渗到土壤中的降雨就更少;不足水分,依赖于第二年降水补充,沙壤土地区对第二年降水的依赖性更大。撂荒农业,是一种粗放的耕作制度,实际上起到了时空调节水分利用的作用,使粮食作物产量大幅度提高。

4 抗旱育种调水

作物主要抗旱方式一般为避旱、御旱和耐旱三种^[3]。黄土高原冬小麦的生育期都可能产生干旱(见表3),科技工作者要根据不同时期降水量选育抗旱

品种.黄土高原由于受干旱的威胁,农作物品种中谷子具有较强的抗旱与耐旱性,应进一步改良栽培技术,发挥其抗旱的功能.据试验,谷子随着播期的推迟及生育期的缩短,延谷6号和榆谷1号两个品种减产幅度均不大,两个品种的出谷率均在78%左右,千粒重均在3.8g左右.如果出现旱灾,利用谷子夏播改种或补种,是增产增收的有效措施.研究表明,选择作物抗旱丰产品种,是干旱、半干旱地区提高水分利用率,实行高产稳产很有前途的措施.黄土高原高粱品种中抗旱品种占10%~30%,50年代初赵洪璋院士育成的小麦抗旱品种碧蚂1号,在甘肃、河南、山西推广之后,比当地品种增产20%~50%.80年代选育推广渭麦5号、晋麦16号等抗旱丰产优良品种,使小麦产量达到2250 kg/hm².“七五”期间,又有一批抗旱丰产的良好选育出来,早选11号、平阳27,平均产量3000 kg/hm².“八五”至“九五”期间,科技工作者又选育小偃22,101,168,264号等系列产品,平均产量为3750~4500 kg/hm².1975~2000年的25年间,我国黄土高原小麦产量均创造了一些高产纪录,如阿勃小麦在兴平杜马村试验达6525 kg/hm²,咸农68号小麦丰产田单产达7583 kg/hm²,小偃5号小麦达到8820 kg/hm².通过培育抗旱品种,使在干旱条件下能获得较高的粮食产量(Y_d),在多雨的年份又不失去产量潜力(Y_p),确保旱地尽可能稳产增产,其重点是改良绝对产量(Y_d)高的品种,而不是改良相对产量(Y_d/Y_p)最高的品种.稳产性受多雨年份的影响较大,所以育种工作应在 Y_d/Y_p 值大于0.2的干旱强度下进行.由于不同的作物有不同的降雨需求量,同一作物品种对降雨需要亦各有不同.不同时期干旱对产量影响大小顺序为:苗期>返青期>抽穗期>成熟期>休闲期.因此,应根据全年降雨量、降雨强度等,筛选与降雨同步的作物品种.

表3 1993~1994年陕西合阳控制不同时期降水量对冬小麦产量的影响

控水时期	控制降水量 /mm	供给水量 /mm	产量 /(kg·mm ⁻¹)	降水利用效率 /(kg·(mm ² ·mm) ⁻¹)
休闲期	321	232.2	2834	12.21
苗期	93	460.4	1500	3.26
返青抽穗期	67	485.8	2066	4.25
成熟期	76	476.5	2501	5.25
对照组	0.0	553.0	4451	8.06

5 节水灌溉调水

节水灌溉就是要充分和有效地利用自然降水和灌溉水,最大限度地减少水从水源通过输水、配水、灌水直至作物耗水过程中的损失,最大限度地提高单位耗水量的作物产量和产值.节水农业的内涵一

般包含水资源的合理开发利用、输配水和田间灌溉过程的节水、农业节水增产技术以及用水管理节水4个方面.为了抵御干旱少雨的危害,增加农作物产量,必须对分布于丘陵沟壑区中有限水资源加以高效合理利用,提出能充分利用水资源并发挥最大效益的优化方案,进行水资源的开发利用.在利用地下水为灌溉水的地区,对机井进行测试改造,提高机井的出水效率,降低能耗;采用井渠结合,实行地面水和地下水联合运用,提高渠灌区的重复利用率,对废水可进行净化处理,使其达到灌溉水标准;对地下水可采取和淡水混合轮灌的方式进行灌溉.

节水灌溉技术就是采用管道输水的方式进行引灌,它可以提高田间水利利用系数,灌水利用率高,杜绝田间输水沟渠的渗透损失和因地面不平整灌水利用不高而引起的深层渗漏损失^[4],其方式有漫灌、沟灌、畦灌、喷灌等,其中畦灌比漫灌节水15%~20%;喷灌比渠灌(沟灌和畦灌)节水60%;滴灌比畦灌节水30%以上,增产30%~50%,这一技术输水总有效利用率可达95%~97%,比土渠提高30%~40%,占地则可减少1%~3%.推广农业节水技术,包括蓄水保墒耕作技术、切合实际种植的作物合理布局、提高作物抗旱能力的栽培技术、秸秆或地膜覆盖的保墒技术、限额灌溉及节水抗旱品种选育六个方面.如采用松耕作法,疏松耕层20cm以上,耕层有效水分可增加4%~5.6%,渗透率提高13%~14%,粮豆增产10%,在伏雨前深松,可使40~100mm土体蓄水量增加70%,小麦增产6%~30%;秸秆覆盖可抑制蒸发率60%,小麦节水20%,增产20%,玉米节水15%,增产10%~20%.覆盖地膜可提高地温2~4℃,增加耕层土壤水分1%~4%,全生育期可节水1500~2250 m³/hm²,增产40%以上.膜孔灌是利用塑料薄膜输水,通过膜孔(含放苗孔和专用灌水孔)给作物灌水的先进方法,防止了水流对土壤的直接冲刷和侵蚀,因而可以避免田间土、肥流失,是建设高产稳产大田的有效灌水方法之一.膜上灌投资少,操作简便,便于控制水量,加快输水速度,可减少土壤的深层渗漏和蒸发损失,显著提高水肥的利用率;同时也减少了膜侧土壤水分蒸发所带来的地热消耗,因此地温较高,增加了作物生产所需的热能供应量,为农作物优质高产创造了条件.

6 径流农业调水

径流农业又称聚流农业.它是实施降水资源的空间富集,把集水技术与农业生产相结合的农业生产技术.实行农田径流利用技术,依据降水在地表面的再分配规律,采取相应措施,把有限降水资源最大

限度地保蓄、利用,是适应旱区环境特点以及提高水分利用率的有效措施。在黄土高原水土流失区的丘陵地区,径流农业把山间沟谷汇集的径流引入农田,增加土壤水分来源,是变害为利的一种农业耕种形式,国外称之为微型集水区农业。缺水的黄土高原水土流失地区,采用径流农业调水,无疑是因地制宜抗旱防灾的一项有效措施。在半干旱地区,尽管降水不多,但将有限的降水收集起来,其水量也是很可观的。例如在 1 hm^2 土地上降雨 10 mm ,汇集起来就是 100 m^3 的水。我国黄土高原地区旱地径流农业集水技术有窑窖、蓄水池、引洪漫灌、淤坝地和梯田等。宁夏固原七营乡倪家壕村实施每户 2 口水窖,每窖可蓄水 60 m^3 ,成本 200 元,每窖可灌枸杞 0.1 hm^2 ,增产 $50\sim 70\text{ kg}$;灌西瓜 0.13 hm^2 ,增产 $600\sim 1200\text{ kg}$;灌玉米 0.13 hm^2 ,增产 $150\sim 240\text{ kg}$;灌甘蓝 0.07 hm^2 ,增产 $400\sim 700\text{ kg}$,生产效益和经济效益显著。

7 化学技术调水

抗旱化学制剂是利用化学手段生产的用于抑制土壤水分蒸发、促进作物根系吸水或降低蒸腾强度的化学物质。目前用于研究和生产的抗旱化学制剂,主要包括化学覆盖剂、保水剂和抗蒸腾剂三种类型。对于化学节水研究,国外做了大量的研究,在日本、法国、印度等国引起广泛的重视,先后在农业上应用化学覆盖,增产效果很好。施用化学制剂可以提高土壤保水能力,减少作物蒸腾损失。例如,喷施黄腐酸(抗旱剂一号)可以抑制作物叶片气孔开张度,使蒸腾减弱。由具有强吸水性能的高分子材料制成土壤保水剂,它能使土壤在降水或灌溉后吸收相当自身重量百倍、上千倍的水分,膨胀形成水分不易离析的凝胶,在土壤干旱时将所含水分慢慢释放出来供作物吸收利用,以后遇到降水或灌水还可再吸水膨胀,重复发挥作用。70 年代末,我国从风化煤中提取的黄腐酸(FA),是一种较好的调节植物生长的抗蒸腾剂,具有广泛的抗旱节水功能。全国 10 多个单位已研究出多种类型的保水剂,在 60 余种作物上推广,应用面积 7 万 hm^2 。到 90 年代,化学节水技术已被列为“八五”和“九五”国家科技攻关计划,并取得重大进展。山仑院士采用氯化钙-赤霉素合剂混合处理小麦种子,促进干旱环境下的成苗,而且具有提高叶面光合/蒸腾比及植物群体水分利用效率(WUE)的作用,现已推广 6700 万 hm^2 。在黄土高原利用化学覆盖、保水剂、抗蒸腾剂、稀土元素、生根粉等均有抗旱增产的作用。在干旱条件下,采用种衣剂或生根粉拌种,可提高出苗率 $5.5\%\sim 7.2\%$,促进根系发育,使农作物根系吸收水分和养分的能力增强。作物应用

抗旱剂,可使叶面气孔开张度缩小 $11\%\sim 45.5\%$ 。大豆采用抗旱拌种,均能降低叶面气孔开张,降低蒸腾速度 $23.2\%\sim 44.3\%$,叶片水势和土壤含水量明显增加,叶片水势比对照组增加 $14.3\%\sim 87.5\%$ 。苗期采用稀土元素处理作物,可使苗期抗旱性增强,水分饱和和亏缺与叶片水势均表现出显著相关,叶绿素含量达 $4.0\%\sim 15.7\%$,在干旱或严重干旱条件下,农作物产量有所增加。采用黄腐酸(FA)拌种与喷施,产量比对照组高 4.8% 和 4.0% ,分别达到显著和极显著水平(表 4)。

表 4 内蒙武川试区春小麦不同生育期不同处理
0~50 cm 土层含水量

处理	三叶期	分蘖期
FA(抗旱剂)	132	95
CK(对照组)	130	91
FA-CK	2	4

8 结 语

黄土高原属于干旱、半干旱地区,多数降水量在 $250\sim 600\text{ mm}$ 之间,不能完全满足一季作物的需要,季节降水量分布不均、降水集中、降水强度大和变率大等因素制约着粮食生产的发展^[5]。为了达到粮食增产目标,逐步实现粮食产量潜势,黄土高原旱农区用水技术是粮食增产增收的有效措施和必然趋势。黄土高原地区的有效灌溉面积将由 74.8 万 hm^2 发展到 2010 年的 78.6 万 hm^2 ,为了提高单位水量生产效率和粮食单产水平,还需配施化肥农肥,大力培肥地力;应用复种、覆盖技术;作好耕作管理,采用轮作间套,优化立体种植模式;试用抗旱保水剂,提高作物抗旱能力,实现干旱锻炼与有限补充供水;选育、引进抗旱耐旱作物品种,推广保墒丰产耕作技术等,达到 1 m^3 水生产粮食 $1\sim 2\text{ kg}$ 的水平。黄土高原地区光热条件优越,唯有降水不足,只要在旱农区应用合适的水调节技术,农业生产力肯定会有大幅度提高。

参考文献:

- [1] 上官周平,彭珂珊.黄土高原粮食生产与持续发展研究[M].西安:陕西人民出版社,1999.
- [2] 孙国武.中国西北干旱气候研究[M].北京:气象出版社,1996.
- [3] 冷石林.中国北方旱地作物节水增产理论与技术[M].北京:中国农业科技出版社,1996.
- [4] 信乃谄,王立祥.中国北方旱作农业[M].南京:江苏科技出版社,1998.
- [5] 董修桥.节水灌溉的三个体系[J].节水灌溉,1999(1):7~10.

(收稿日期:2000-11-07 编辑:熊水斌)