半干旱区集雨节灌农业研究

曹国番　著

甘肃科学技术出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目（CIP）数据

半干区集雨节灌农业研究/甘肃省农科科主编．—兰州：甘肃科学技术出版社，2001．6
ISBN 7-5424-0753-8

Ⅰ.半… Ⅱ.甘… Ⅲ.降水—灌溉—技术—研究
Ⅳ.S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2001）第 17665 号

半 干 旱 区 集 雨 节 灌 农 业 研 究

作者　曹国 番　著
责任编辑　黄培武
封面设计　何　伟
版式设计　石　川
出版　甘肃科学技术出版社（兰州滨河东路 296 号）
发行　甘肃科学技术出版社发行
印刷　甘肃陇西县印刷厂
开本　850mm×1168mm　1/32
印张　6．25
字数　150 000
版次　2001 年 4 月第 1 版　　2001 年 4 月第 1 次印刷
印数　1～1000
书号　ISBN 7-5424-0753-8/S·188
定价　12.00 元

⊙甘肃科学技术出版社图书若有
破损、缺页可直接与印刷厂联系调换

●版权所有　翻印必究

前　言

就世界而言,水资源危机日益严重,据不完全统计,20 世纪以来,世界农业用水增长 7 倍以上,城市生活用水增长 12 倍以上,工业用水增长 20 多倍,全世界存在三大问题:水少,人口增加,二氧化碳增加。

目前全国 600 多座城市中,有 300 多座城市缺水,其中严重缺水的有 108 个。由于干旱和中下游争水,1992 年黄河断流 70 天,1995 年黄河断流竟长达 122 天,断流时间和断流长度都是历史上从未有过的。目前我国的水资源已经出现严重的"赤字",农业缺水 $3.0\times10^{10}m^3$,城市缺水 $6.0\times10^{9}m^3$,到 2000 年,至少缺水 $6.0\times10^{10}m^3$。另外,水资源时空分布不均,受季风气候影响,年内和年际差异很大,特别是在北方地区,春旱秋涝,旱涝无常。定西是全国干旱缺水著称的地区,全区自产水资源总量仅为 $1.6\times10^{9}m^3$,人均 $600m^3$,是全国的 25%,甘肃省的 46%,相当于世界人均水资源量的 6%。

20 世纪 60 年代以"自然降雨全部就地拦截入渗利用"为其技术路线的水保型农业,与以前相比较,半干旱区每亩地可多蓄存相当于当地降雨总量 15%左右的水分,使旱地农业区平均产量具有 30%～50%的增产潜力,可以说是一次飞跃。之后,引起了品种、施肥、管理等一系列研究工作的配套及变化,为解决人们的物质需求做出了贡献,但随着时间的推移,水保型农业的潜力已经得到较

高程度的挖掘,再次出现效能的有限性和阶段研究内容的枯竭,现在的生产事实证明,水保型农业仍解决不了旱地生产存在的三大问题,“旱地产量波动性规律”依然是个客观现实。分析旱地农业研究工作的现实,证明原有思路指导不了旱地农业的新进展,继续下去不会有大的进展,亟待思路上的新突破。

解决旱地农业区生产水平低下,人口承载力甚低的问题,其惟一出路在于巧妙利用当地降水资源,实现人们对自然降雨中一定份额的控制与分配使用。这就引发了一些研究工作者对主动抗旱问题的思考,促使人们在旱路走不通时创造条件走水路。

农业的本质是通过农业生物同化环境把自然资源转化为农产品的生物学过程,水是生命的介质,抗旱性与丰产性的矛盾是生物学的、对抗性的。没有水的保证,任何农业的丰收都是不可能的。要使半干旱地区高产和稳产,亏缺的水分必须补偿。

国内外集水技术已有较好发展。当时国际报道澳大利亚西部于 70 年代已建成 240hm^2 的沥青混凝土集水区,为 32 个小城镇供水,并认为是花钱最少的一种办法。1986 年查到了印度创造的洪水集蓄技术,并开始用于农业生产。甘肃省水利厅于 20 世纪 80 年代后期开始对传统旱区水窖技术进行改造,以蓄存降雨解决人畜饮水的研究,比较成功。全国各地塘、坝、小水库等的修建技术日臻成熟。这些集中起来看,已表明集水技术(包括洪水集存技术)已基本解决,又有水可集,国际研究又证明是廉价高质量水源。与此同时也看到国际上节水农业的新进展,特别是滴灌、渗灌技术有可能用增加少量供水获取较多的增产,预示出这项技术的良好前景。

集水农业就是在旱地农业很难找到自身新增长点的情况下,根据旱农地区的水资源特征,借鉴国内外集水技术成就提出的一种发展旱地农业的新思考,是时代的产物。集水高效农业研究的思路认为:人们可以利用现代技术巧妙地安排使用半干旱区降水

资源,达到人为对干旱控制的目标。

干旱半干旱山区,雨水集蓄节灌工程的内容大体包括集水工程、调蓄工程和灌溉工程三大序列。集水工程:主要是以合理规划布置的沟、渠网络,收集坡面、沟壑、道路、场地、庭院、屋面、集流场等雨水。调蓄工程:主要是结合集水网络的布局、地形条件和便于用水,以简易的水池、水窖、涝池、塘坝等小型蓄水工程群体,短期调节径流,控制供水时间。灌溉工程:主要是根据实施情况,建立节水灌溉主体和洪水灌溉两大类型。

干旱半干旱地区雨水资源潜力巨大,蓄雨用水是解决干旱缺水,提高作物生产潜力,发展旱区高效农业的重大举措。西北黄土高原地区,多年平均降水量 443mm,由于降水时间分布不均,降水期常常与作物需水期发生错位,降水利用率极低,约为降水量的 30%～40%,降水生产效率仅为 3.0kg/mm·hm^2～6.0kg/mm·hm^2,尚有 60%～70%的降水以地表径流和无效蒸发的方式而损失。采用有限补充灌溉,合理的供水和栽培管理,雨水利用率可显著提高,作物产量由 1 200kg/hm^2～1 500kg/hm^2 提高 1 倍～2 倍是可能的。另一方面,西北黄土高原地区人口密度小,人均土地面积较为充裕,加之土地多为坡地(大于 7°的坡地占土地面积的 55%),这不仅有利于营造雨水汇集场,而且为配套的自流灌溉提供了有利条件。雨水就近拦蓄存贮,无须高扬程提引,经济实用。配套以先进的灌溉方法和管理措施,投资小,见效快,易于推广。在这类地区,一方面,水资源奇缺,但另一方面,经常遭受汛期暴雨径流的冲刷,致使水土流失严重,土壤肥力下降,生态环境恶化。因此,充分有效地利用当地雨水资源,无疑是解决干旱半干旱地区农业缺水问题,改变区域生态环境,发展多种经营,增加粮食生产,农民脱贫致富的一条有效途径。

雨水集流利用工程的推广,解决了干旱山区有史以来无水灌溉的难题。雨水的集蓄包括汇集和贮存 2 个环节,雨水的汇集应

需要全本请访问 www.ertongbook.com

遵循因地制宜,充分利用,就地取材,降低工程造价的原则;雨水的贮蓄应以水窖的贮水为主。雨水的利用包括人畜饮水,发展庭院经济,农副产品加工,发展节水林业、旱作农业等方面,它是一项多功能、少投入、高效益的综合利用工程,是干旱山区社会进步、经济发展和生态建设的有效措施。

利用雨水集流搞滴灌,经济效益十分显著:春小麦在生育关键时期,补灌两次,每次每公顷灌水 75m^3 ～120m^3,粮田单产达 1 500kg/ hm^2 左右,比对照提高 50%～150%。地膜玉米补灌一次,仅用 150m^3 水,较未灌的每公顷增产 375kg。在日光温室中配套滴灌,节水 55 .6%,空气湿度下降 15%,发病率下降、植保投资减少 52%,产值增加 100%,节灌效益净值是滴灌设备投资的 3 .3 倍。初果期果园安装滴灌后每公顷产果 1 1250kg,比同条件旱地果园增产 2 .13 倍,产值增加 2 .33 倍,是贮水窖、设施投资的 5 倍。滴灌所具有的特点和优越性已为农民认识和接受。其特点:一是成本低,除已搞的雨水集流的水源部分外,固定式滴灌从规划、设计、配套、安装、试水到交付使用,4m×5m 株行距的果园,每公顷造价 6 300 元。配合地膜玉米、小麦种植安装的移动式滴灌,每公顷造价为 4 500 元。二是节省水,滴灌果园灌一次,每公顷用水量 75m^3～120m^3,大田作物灌一次,每公顷用水量 225m^3～300m^3,就可满足作物需要。修建一个蓄水 60m^3 的水窖,一次性积水便可满足 0.2m^3 果园全年浇 3 次关键水,0.2m^3 粮田浇一次关键水。三是省工,浇水只需一人开机启伐,每公顷用工 0 .495 个,一个有 0.2m^3 果园的农户,每公顷浇水花工 1 .5 个。四是省肥,化肥溶解后用施肥伐直接施入根部,易吸收,浪费少,肥效高。五是不板结土壤,渗灌从地下供水,湿润土壤,地表不见水,不板结,不降低地温,可同时满足作物对水、肥、气、热的要求。

综上所述,原有旱农技术包括水保型农业技术都无法从根本上解决旱农生产的产出低、不稳定、效益差三大问题,产量波动规

律依然是客观存在。国内外的集水工程、贮水和供水设施和灌水技术日臻完善,集雨节灌农业在我国北方如雨后春笋般发展起来了,但好多技术问题还远没有搞清楚,贮水容器、供水方式、补灌效益、补灌量、补灌时期、配套技术等一系列问题亟待解决。

2001 2

序

水资源短缺是一个世界性的问题,我国干旱半干旱地区约占国土总面积的52.5%,70%的农田因缺水而长期处在中低产田状态,甘肃是水资源严重欠缺的地区,但浪费现象突出,降水利用率和农田水分利用效率低。

旱农研究和生产受到世界各国的高度重视,现在和未来都作为食物和纤维的主要生产区。随着全球干旱的持续发展,建设高效用水的雨养农业已别无选择。因此,开发半干旱及半湿润偏旱地区,提高旱地降水资源利用率和农田水分利用效率以满足日益增长的对农产品的需求,是一个世界性目标。

近年来,旱灾连年发生,旱区范围趋于扩大,水的供需矛盾极为突出。借助于现代科学技术,提高有限水资源的利用效率,是解决水资源短缺的惟一途径。发展旱地农业,提高天然降水的利用效率,发展节水灌溉技术,势在必行。

旱地农业是一种以水为中心的复杂生产体系,其理论与实践取决于综合技术的运用和多学科的支撑,在不同阶段有不同的发展重点。国内外经验表明,提高旱农生产力的手段一般均经历了从土地、土壤改良为主到综合运用各种农业技术农田水分利用率为主的阶段,然而,旱地农业进一步发展将主要取决于降水利用率和农田用水效率的大幅度提高。因此,深入研究集雨节灌农业,对旱地农业生产力的提高和旱农学科的发展既具有现实的重要作

用,也具有长远意义。

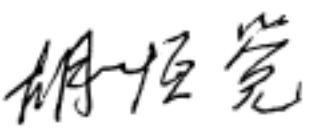
集雨节灌农业就是在旱地农业很难找到自身新增长点的情况下,根据旱农地区的水资源特征,借鉴国内外集水技术成就提出的一种发展旱地农业的新思考,是时代的产物。集雨节灌农业研究的思路认为:人们可以利用现代技术巧妙地安排使用半干旱区降水资源,达到人为对干旱控制的目标。

半干旱区地下水和地表水俱缺,降水是农业生产的惟一水源,如何用活、用好降水资源是半干旱区农业生产成败、农村经济能否持续发展的首要问题之一。半干旱区的缺水并非绝对没有水,而是降水和作物生长严重错位。采用适当的贮水设施和配套的集水技术,将不同季节的降水收集起来,进行定向、有序地调控,不断提高降水利用率,通过雨水富集叠加工程,把非生产区的降水集中到生产区高效运用,深化研究和不断改善农业生产技术和节水灌溉技术,以提高雨水的利用效率,是半干旱区农业研究刻不容缓的重大课题。

作者在研究和实践的基础上,结合国内外有关方面的工作总结编写了《半干旱区集雨节灌农业研究》一书。该书采用理论研究与实证研究相结合、世界横比与历史纵比相结合、统一分析与定性抽象相结合、农业研究与经济研究相结合的方法,不仅在集雨节灌农业理论研究上有所创新,而且对集雨节灌农业的适宜范围、适度规模、雨水积蓄技术、高效运用技术等问题进行了科学的评价和深入的研究,提出了许多技术难度小、可操作性强,经济效益高的实用技术。

该书是作者多年来试验研究和示范推广工作的总结,是一篇博士论文,是集技术性与实用性为一体的专业手册,主要为农业技术管理工作者、农技人员和农民服务,作为集雨节灌农业的新知识、新成果、新技术的普及与培训本,对指导农业科技人员、农技推广人员、基层干部和广大农民群众具有现实意义,是从事这一领域

研究人员富有价值的参考书。针对性强,技术先进、注重实用、实效,文字通俗易懂,可操作性强。在这本专著中,作者把水土保持、旱地农业、节水农业、抗旱技术等科学理论和先进技术融为一体,提出了集雨节灌农业技术体系。尽管本书还不是十分完善,但它毕竟为中国市场经济条件下的集雨节灌农业研究注入了新鲜的观点,其理论与实践对促进我国现代农业的发展将起到积极的作用。



甘肃农业大学

2001 年元月 11 日

目　录

概论…… (1)
第一章　集水农业的国内外研究进展 …… (12)
　第一节　旱农研究的有效性局限性 …… (12)
　第二节　发展集水农业的迫切性 …… (13)
　第三节　发展集水农业的可行性 …… (14)
　第四节　集水农业的现状 …… (15)
　第五节　集水农业的国内外研究进展 …… (19)
　第六节 发展集水农业的成效…… (23)
第二章　研究设计 …… (26)
　第一节　主要研究内容 …… (26)
　第二节　研究方法与基本情况 …… (26)
第三章　集雨节灌农业的适宜范围和发展规模研究 …… (29)
　第一节　旱农地区的基本情况 …… (29)
　第二节　集雨节灌农业的可行性研究 …… (32)
　第三节　集雨节灌农业的适宜范围 …… (34)
　第四节　集雨节灌农业的发展规模研究 …… (37)
第四章　雨水收集技术和雨水贮存技术研究 …… (40)
　第一节　雨水收集技术研究 …… (40)
　第二节　雨水贮蓄技术研究 …… (49)
　第三节　雨水集蓄利用方法研究 …… (57)
第五章　雨水高效利用技术体系研究 …… (65)
　第一节　现代节水技术研究 …… (66)
　第二节　现代工程节水技术研究 …… (75)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第三节 现代节灌技术研究 …… (76)
第四节 集雨节灌高产栽培技术研究…… (107)
第五节 集雨节灌农业的综合效益分析…… (117)
第六节 集雨节灌农业的特征…… (129)
第六章 集雨节灌农业研究成果及存在问题…… (130)
第一节 主要研究结论与讨论…… (130)
第二节 合理开发利用与建议…… (135)
第三节 有待进一步研究的问题…… (137)
参考文献…… (138)

概　论

本项研究以半干旱区的典型缩影——定西为研究对象,采用宏观分析与典型剖析相结合、定性分析与定量研究相结合、田间试验与室内系统分析相结合的多元互补研究方法,对半干旱区集雨节灌农业技术体系进行了深入研究。

(1)干旱区(降水量在250mm以下)。受降水量的制约,集水量不足以用于农业生产,是集雨节灌农业的不适宜区。湿润区(降水量在600mm以上)。其降水基本可以满足作物生长的需要,没有必要发展集雨节灌农业。半干旱区降水量少,时空分布不均,年际变率大,干旱特征明显,水分亏缺严重,补灌效率高,玉米的补灌效率可高达60.0kg/mm·hm^2,是发展集雨节灌农业的适宜区。半干旱偏旱区的降水资源较少,只能小规模发展集雨节灌农业;半干旱区的降水量各地差异悬殊,地形地貌复杂,应因地制宜发展集雨节灌农业;半湿润易旱区的降水资源比较丰富,应大规模发展集雨节灌农业。

(2)不同集流面的降水强度与产流降水量的关系是:集流面相同时,降水强度增大,产流降水量减小。降水强度一样的情况下,降水强度小时,不同集流面之间的产流降水量差异小,降水强度大时,产流降水量差异大。地膜覆盖农田、裸露空地、露地农田、草地、灌木地、乔木地的产流降水量依次增大。多年多点观测资料显示,硬化路面的集流效率为52%～56%,塑料薄膜为83%～92%,柏油路为74%～79%,水泥地为82%～85%,瓦面为61%～66%。

(3)衬砌连环涝池只能作为荒山荒坡区临时贮水容器,集蓄的雨水渗漏和蒸发损失多,不能长时间贮存,必须尽快利用或及时转

入薄壁水泥窖中保存,否则就白白浪费了。半干旱区集水的主要目的是秋雨春用,多年实践证明,只有薄壁水泥窖适宜长期存水,因此,薄壁水泥窖是该区较好的贮水容器。

(4)荒山荒坡和沟道集水的利用方法主要有三方面,一是集水造林,可使造林成活率提高 24 .3%和 47 .6%;二是补灌周围农田;三是临时贮存在连环涝池和小水坝中,及时引入附近薄壁水泥窖。村庄道路(包括能利用的柏油路)收集的雨水主要用于农田补充供水,但在有条件修建果园和日光温室的地方,应优先考虑果树和蔬菜的补充供水。庭院的集水除了解决人畜饮水外,主要用于发展庭院经济和家庭养殖业。塑料大棚棚面集水直接用于棚内蔬菜补充供水。夏闲地通过农田雨水富集叠加工程,将一部分土壤上的降水富集叠加到另一部分土壤上,造成局部土壤水分优势,增产效果显著。

(5)集流节灌的效益研究资料显示,集蓄的雨水给不同的作物补灌,产生的效益有显著差异,在春小麦拔节期补充供水的吨水产值为 2 .43 元～3 .78 元,平均为 3 .11 元,在谷子拔节期补充供水的吨水产值为 2 .73 元～4 .77 元,平均为 3 .75 元,在玉米抽雄期补充供水的吨水产值为 3 .15 元～10 .42 元,平均为 6 .79 元,补灌塑料大棚蔬菜的吨水产值为 7 .6 元～19 .03 元,平均为 13 .32 元,补灌日光温室蔬菜的吨水产值为 14 .74 元～26 .72 元,平均为 21 .69 元,补灌早酥梨园的吨水产值为 21 .57 元～29 .19 元,平均为 25 .44 元。以补灌早酥梨园的吨水产值为 100%,补灌春小麦、谷子、玉米、塑料大棚蔬菜、日光温室蔬菜吨水产值的实现率分别为 12 .22%、14 .74%、26 .69%、52 .36%、85 .26%。补灌大田作物的平均吨水产值为 4 .55 元,补灌蔬菜的平均吨水产值为 17 .51 元,补灌果树的吨水产值是补灌大田作物的 5 .59 倍,较补灌蔬菜的吨水产值提高 31 .17%。说明集蓄的雨水,在有条件的地方,首先应该考虑补灌果树,然后考虑补灌蔬菜,最后再考虑补灌大田作物。

(6)半干旱区的集雨节灌农业之所以高产高效,主要原因就是抓住了农业生产的制约因素,利用集蓄的雨水,在作物需水关键期补充供水,大大缓解了作物的水分供需矛盾,促进作物生长,增强作物吸收土壤水分和养分的能力,补灌后,相对充足的土壤水分,又能溶解部分难溶养分,故补灌使作物对土壤养分的利用更彻底,在增产和提高水分利用效率的同时,还能提高单位化肥的投入效率。由于采用了对应的微灌方式,属局部灌溉,以灌作物为主,明显地减少了无效蒸发,显著地提高了补灌效率。补灌量是极其有限的,不存在深层渗漏的问题,水分几乎全部被作物吸收利用,大幅度提高了水分利用效率 。

(7)渗灌是春小麦的最佳补灌方式,补灌后在土壤中入渗较深,1997 年补灌后入渗深度达 80cm,1998 年补灌后入渗深度达 100cm,蒸发损失少,因补灌量不大,不存在深层渗漏问题,土壤贮水量增加多,1997 年补灌后土壤贮水量增加了 28 .2mm,1998 年补灌后土壤贮水量增加了 27 .1mm,水分几乎全部被作物吸收利用,根系生长健壮,小麦生长发育良好。1997 年的补灌效率达 21 .45kg/ mm·hm^2,1998 年的补灌效率高达 29 .55kg/ mm·hm^2。春小麦在拔节期补灌的效果最好,补灌后小麦的生长速度加快,干物质积累量增加,产量和补灌效率提高,1995 年和 1996 年的补灌效率高达 14 .40kg/ mm·hm^2 和 19 .50kg/ mm·hm^2。春小麦的适宜补灌量是每公顷 30mm,如果补灌量偏大,作物不能完全吸收利用,并且补灌的总面积减少,整体效益差;如果补灌量偏小,补灌的水分没有进入土壤水分循环就已经被蒸发损失掉了,虽然补灌的面积很大,但全都是徒劳。补灌量增加,产量随之提高。补灌效率的变化趋势则正好相反,补灌量增加,补灌效率降低,补灌 30mm 的补灌效率最高。

(8)滴灌是玉米补灌的最佳方式,采用膜下滴灌方式补充的雨水,由于滴灌毛管安装在地膜下面,只有少部分蒸发损失了,绝大

部分参与土壤水分循环,入渗较深,补灌的水分在土壤中的入渗深度,1997 年为 80cm,1998 年为 100cm,1997 年和 1998 年补灌后土壤贮水量分别增加了 34 .6mm 和 34 .9mm。滴灌的滴头和玉米的播种穴完全吻合,与其他补灌方式相比,水分利用得最彻底,棒粒数和棒长增加最多,产量最高,增幅最大,1997 年和 1998 年的补灌效率分别为 22 .50kg/ mm·hm^2 和 28 .50kg/ mm·hm^2。点浇的补灌效率高达 43 .50kg/ mm·hm^2,如果集蓄的雨水很少或播前土壤水分严重不足的话,点浇也是一种简单实用、经济有效的增产措施。玉米在抽雄期补灌的效果最好,抽雄期补灌的棒长、棒粒数、百粒重、产量和补灌效率都是名列前茅的,1997 年抽雄期补灌的棒长、棒粒数、百粒重、产量和补灌效率分别为 15 .6cm、376 粒、19 .6g、3037 .5kg/ hm^2、17 .10kg/ mm·hm^2,1998 年抽雄期补灌的棒长、棒粒数、百粒重、产量和补灌效率依次为 20 .5cm、718 粒、25 .3g、5023 .5kg/ hm^2、18 .15kg/ mm·hm^2。玉米的适宜补灌量是 40mm/ hm^2,虽然补灌量为 60mm 和 50mm 时,棒长、棒粒数、产量均呈增加态势,但补灌效率降低,证明补灌的水分潜力没有完全挖掘出来;补灌量为 20mm 和 30mm 时,产量和补灌效率均在继续提高,充分说明补灌量还有必要再加大。只有补灌量为 40mm 时,补灌效率达到了最大值,同时产量也比较高。

(9)地膜覆盖的主要作用是保水,减少土壤水分的无效消耗,不能增加土壤水分,补充供水的效益能否发挥出来,与补充水分的去向直接有关,如果没有保护措施,大部分就会蒸发损失掉,就不能达到补充供水的目的,只有把地膜覆盖的保水作用和补充供水紧密结合起来,地膜覆盖的保水作用才能发挥出来,补充的水分才不至于造成浪费。土壤瘠薄也是半干旱区小麦低产的重要原因,一般情况下,由于土壤水分不足表现得更为突出,对土壤养分强调不够,半干旱区农民的投资能力有限,施肥量常常偏少。集雨节灌配合地膜覆盖栽培,土壤养分必须同时跟上,否则,只能提高生物

产量,不能提高经济产量。当前旱地的小麦品种大部分是中高秆的,补灌后倒伏现象突出,引进和筛选适宜的良种也是非常重要的。选用 8275、8139 等良种、地膜覆盖、每公顷施纯氮 150kg,五氧化二磷 120kg,拔节期以渗灌方式补灌 30mm 雨水是小麦高产栽培的关键措施。选用新玉 6 号等良种、地膜覆盖沟种、每公顷施纯氮 165～180kg,五氧化二磷 132 .0～146 .0kg,大喇叭口期以膜下滴灌方式补灌 40mm 雨水是玉米的高产栽培模式。

需要全本请访问 www.ertongbook.com