

中国中西部地区集水节水农业发展问题研究

ZHONGGUOZHONGXIBUDIQUSHIJIJISHUIJIESHUIJIEJIANAGONGYEFAZHANWENTYANJIU

■ 丁圣彦等 编著

■ 河南大学出版社

中国中西部地区集水节水
农业发展问题研究

丁圣彦 等 编著

河南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国中西部地区集水节水农业发展问题研究/丁圣彦等编著. —开封:河南大学出版社, 2007. 4
ISBN 978-7-81091-668-4

I. 中… II. 丁… III. 农田灌溉-节水用水-研究-中国 IV. S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 129458 号

责任编辑:杨风华

封面设计:马 龙

出 版 河南大学出版社

地址:河南省开封市明伦街 85 号

邮编:475001

电话:0378—2864669(行管部)

网址:www.hupress.com

排 版 河南大学出版社印务公司

印 刷 郑州市毛庄印刷厂

版 次 2007 年 4 月第 1 版

印 次 2007 年 4 月第 1 次印刷

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 26.75

字 数 586 千字

印 数 1—1000 册

定 价 54.00 元

(本书如有印装质量问题请与河南大学出版社营销部联系调换)

本书由

河南大学出版基金

国家社会科学基金(项目编号:00BJY035)

联合资助出版

河南大学出版社

前 言

中国中西部大部分地区居民生活和农业生产中普遍存在的、也是最为严重的问题之一就是水资源短缺。水是干旱、半干旱和半湿润易旱地区社会生活和经济发展最主要的限制因素。各国政府为解决此问题而制定了许多相关的政策,科技界人士也为此而一直辛勤工作着。我国的科技工作者在引进国外相关先进理论及技术体系的基础上,对天然降水的收集、储藏及各种形式的节水灌溉技术体系进行了大量的研究,逐步形成了具有中国特色的集水节水农业技术体系,并在集水节水的组织形式和管理方面积累了丰富的经验,为我国缺水地区的居民生活和工农业生产做出了很大贡献。

我国现有 13 多亿人口,2.5 亿人口饮水困难,人均水资源的占有量只有世界平均值的 1/4,为 13 个缺水国家之一。中国中西部大部分地区农业生产的第一限制因素是降水总量不足,水分供需严重错位,对有限水资源的利用效率低下。从目前国内外的发展趋势看,解决这一难题的最佳方案就是利用工程措施直接富集天然降水,使其变为人类可直接利用的水资源,补偿农业和人类所需淡水的不足,同时加强有限水资源的管理,提高利用率。在天然降水资源化的基础上,发展集水节水农业。集水节水农业是以天然降水工程富集、储存技术体系为基础,以节水有限补偿灌溉为手段,以集水高效农艺利用技术体系为核心而综合发展的大农业。它是一种新的旱地雨养农业开发模式,终极目标在于使雨养农业由完全被动抗旱型转变为主动抗旱型,干旱年份农业生产也能丰产和稳产,大力发展商品生产,形成规模经济,促进整个地区社会和经济的全面发展。集水节水农业是中国乃至世界干旱、半干旱和半湿润易旱地区 21 世纪农业发展的主流,是农民解决温饱,实现小康,进一步达到富裕的综合技术体系。通过这一综合技术体系的模式化、标准化、产业化生产,通过微生境的再造,加上科学的组织和管理,创造作物生长的微生境天堂,实现商品生产的高产与高效,在完成由自给自足的小农经济向商品经济跨越的同时,减轻山丘土地的压力,退耕还林还草,改善生态环境,实现农业的可持续发展。为促进我国中西部干旱缺水地区农业生产发展和人民生活的改善,我们在《集水农业生态工程》的基础上,编著了《中国中西部地区集水节水农业发展问题研究》一书。

本书在研究国内外旱地农业发展的基础上,提出应用工程技术收集天然降水,实现集水节水农业是发展我国干旱地区农业的一个重要途径。其主要内容包括集水节水农业的发展历史,中西部自然、社会经济概况,集水节水农业的自然分区,集水节水工程的规划,集水节水工程及其附属设施的构建方法与技术体系及农田集水节水工程技术体系,集水节水农业的管理和组织形式、目前存在的问题及对策,并通过一些集水节水农业生产的案例介绍了有关方面的成功经验。

本书的编写提纲及编写计划是由丁圣彦在参考国内外相关研究和试验点工作的基础上完成的,并由丁圣彦据此组织撰写。本书的具体分工为:丁圣彦,前言,绪论,第一章,第三章,第四章,第五章;李志恒,第二章;胡楠,第六章,第七章,第八章,第九章。初稿完成后,由丁圣彦统编定稿。

本书的编写和出版曾得到国家社会科学基金和河南大学学术著作出版基金等的资助。河南大学出版社的编辑为本书的出版付出了极其细致而艰辛的劳动。在此谨向他们表示衷心的感谢!

本书是作者们对中国中西部干旱缺水地区社会生活和经济发展所做的一点绵薄贡献。由于作者理论水平所限,实践经验不足,书中错谬之处在所难免,恳请广大业内人士和读者不吝赐教。

编 者

2006年2月于开封

目 录

前言	(1)
绪论	(1)
第一章 集水节水农业历史综述	(5)
第一节 集水节水农业的概念	(5)
第二节 国外集水节水农业的历史综述	(7)
第三节 中国集水节水农业的历史综述	(12)
第二章 中国中西部地区集水节水农业概况	(15)
第一节 自然条件	(15)
第二节 农业生产与社会经济状况	(17)
第三节 水资源开发利用	(26)
第四节 集水节水农业现状与发展方向	(38)
第三章 中国中西部地区集水节水农业分区	(40)
第一节 集水节水农业分区的原则与依据	(40)
第二节 集水节水农业的自然分区	(41)
第三节 集水节水农业的综合分区	(42)
第四章 雨水集蓄系统	(47)
第一节 集水工程概述	(47)
第二节 储水窑窖的建造	(64)
第五章 集水节水灌溉系统	(91)
第一节 集水节水灌溉农业概述	(91)
第二节 集水节水灌溉工程	(105)
第三节 集水节水灌溉设施技术水平与适宜性评价	(158)
第六章 中国中西部地区集水节水农业的技术体系	(178)
第一节 现代集水节水农业技术研究进展与发展趋势	(178)
第二节 集水节水型农业技术体系的内涵	(191)
第三节 集水节水农业技术措施	(198)
第四节 主要类型区集水节水型农业技术体系	(235)
第五节 集水节水型农业技术体系的应用与效果	(242)
第七章 中国中西部地区集水节水农业管理与组织形式	(260)

第一节 集水背景下发展节水农业的管理与组织形式概述·····	(260)
第二节 集水工程的管理·····	(264)
第三节 集水节水农业灌溉制度与管理·····	(272)
第四节 农业专家系统及其在集水节水农业灌溉管理中的应用·····	(282)
第五节 集水节水农业规划管理与组织形式·····	(285)
第六节 中国西部地区集水节水农业规划管理与组织形式·····	(305)
第八章 中西部地区集水节水农业管理与组织中存在的问题及对策与建议 ·····	(323)
第一节 中西部地区集水节水农业管理与组织中存在的问题·····	(323)
第二节 对策与建议·····	(329)
第三节 典型案例分析·····	(345)
第九章 中国中西部地区集水节水农业管理与组织形式的案例介绍 ···	(358)
案例之一:河套灌区节水改造效益显著 ·····	(358)
案例之二:内蒙古河套灌区灌溉管理体制改革的探讨 ·····	(361)
案例之三:西北地区发展节水灌溉的作用与途径 ·····	(364)
案例之四:河南省机械化旱作农业技术推广工作总结 ·····	(372)
案例之五:立足省情 积极探索 把机械化旱作节水农业提高到一个新水平····· ·····	(376)
案例之六:积极探索 大胆实践 努力推动旱作与节水农业发展 ·····	(381)
案例之七:陕西省机械化旱作节水农业总结及发展规划 ·····	(385)
案例之八:围绕蓄水保墒发展旱作农业 ·····	(388)
案例之九:北方旱区雨水利用系统与集雨农业前景 ·····	(390)
案例之十:论半干旱黄土高原地区集水型生态农业 ·····	(393)
案例之十一:宁夏节水农业的选择与实施 ·····	(398)
案例之十二:黑龙江省半干旱农区蓄水保墒的综合技术 ·····	(402)
案例之十三:贵州省发展旱作农业的做法和经验 ·····	(404)
案例之十四:因势利导 大力发展旱作节水农业 ·····	(406)
案例之十五:甘肃黄土高原半干旱区集流补灌农业技术体系 ·····	(408)
参考文献 ·····	(414)

绪 论

一、水是限制中国中西部地区农业生产的最主要因素

我国现有 13 亿多人口,是世界上人口最多的国家,水资源总量虽然居世界第 6 位,但人均水资源的占有量仅为 $2\,400\text{m}^3$,居世界第 109 位,只是世界人均占有量的 $1/4$,为 13 个缺水国家之一。

我国中西部的大部分地区属于干旱、半干旱和半湿润易旱地区。在这些地区的农业生产中,不但降水总量不足(年平均降水量小于一年两季作物的需水量),而且供需错位(即年降水量的 $50\%\sim 60\%$ 集中于 7、8、9 三个月,与作物生育期的需水耦合性极差),干旱威胁是该区农业生产的最主要的限制因素。旱灾较其他自然灾害具有范围广、历时长的特点,对农业生产影响最大。据统计,1949~1995 年,我国各种自然灾害(如旱灾、水灾、风雹、霜冻等)累计受灾面积为 $120\,607\text{万 hm}^2$,成灾面积为 $59\,407\text{万 hm}^2$,其中旱灾受灾面积为 $69\,879\text{万 hm}^2$,成灾面积为 $31\,445\text{万 hm}^2$,分别占受灾总面积和成灾总面积的 57.94% 和 52.93% ,损失惨重。因此可以说,旱灾位于各种自然灾害之首,受灾损失为其他自然灾害损失之和。旱灾盈频,只有时空上的差异,其中尤其以该区域的山丘区更甚,不但作物的产量低而不稳,而且人畜吃水十分困难。在这里,水的问题不解决或解决不好,不要说经济腾飞,就连温饱问题的长期稳定都不可能。

二、传统农业技术增产的极限

考古资料表明,我国干旱地区早在西周时期就出现了以旱地农业为主的传统农业,如将西周作为本区传统旱作农业的奠基时期,至今雨养农业已有近 4 000 年的历史。该区的劳动人民经过数千年的实践、创造、发展和总结,已形成了相当完善的以精耕细作、蓄水保墒、轮作倒茬、间作套种、培肥地力和选育抗逆良种等为核心的传统旱作农业技术体系,对中国和世界的农业做出了不可磨灭的贡献。新中国成立 50 多年来,由于现代农业科学技术和科学知识在旱作农业生产实践中的广泛应用,传统旱作农业技术又有了新的长足发展。其重要的标志是,在传统旱作农业耕作技术体系的基础上进一步形成了以梯田建设、地膜覆盖种植和小流域综合治理为主要技术特征的现代水保型旱作农业技术体系,即水保型农业,从而使该区旱地农业生产力有了明显的提高。然而,该区降水量少,降水的季节和年际变率大,降雨、土壤水分与农作物生长用水三者之间耦合程度很低,致使集水节水农业常常处于严重的水分亏缺威胁之中。在这样一个恶劣的自然生态环境背景下,水保型农业技术措施尽管对减轻干旱对作物的威胁和提高旱地农业生产力发挥了重要作用,但并没能使集水节水农业从根本上摆脱干旱缺水的制约,没能走出小旱小灾、大旱大灾的“天赐农业”的被动困境。在“八五”期间的 5 年中,旱灾几乎年年出现。

1995 年出现几十年不遇的大旱,1997 年出现百年不遇的特大旱灾。由于旱情严重,数百万公顷的雨养农业旱田严重受挫,数十万公顷的丘陵旱地几乎绝收。

支持水保型农业的三大重要技术体系一是梯田技术,二是地膜覆盖种植技术,三是小流域综合治理。梯田技术是一项古老的旱地农业措施,早在我国东汉时期就已经出现,在南北朝有了更进一步的发展,并逐渐趋于成熟。其根本目的在于变坡耕地为水平梯条田,以接纳全部天然降水,使其就地入渗,储存于土壤之中,实现农田水分的以丰补歉,调节利用。地膜覆盖技术的主要目的在于减少土壤水分无效蒸发,蓄水保墒,改善农田供水状况,提高降水利用率 and 水分利用率。小流域综合治理则是从农业结构、耕作与种植制度改革的整体目标出发,运用农业生态工程原理将整个小流域农业生态系统结构的整体与分层优化设计,形成组分完善、结构合理、功能优良的农业生态系统,以做到在土地利用上“地尽其力”,在水土保持上把降到流域内的天然降水尽可能“吃干喝尽”,谋求获取最大的系统综合生态经济效益。不言而喻,这些技术措施对减少降水径流损失,保护生态环境,改善农田土壤水分质量,提高农田的自然资源综合生产效益的作用是肯定的。但是,水保型农业措施即使在最好的技术组合条件下,最大限度也只能多接纳一般在坡地上被损失掉的 10%~15% 的地表径流水,不可能更多,因而改善旱作农田土壤水分状况和补偿作物亏缺水分的作​​用仍十分有限。更何况水保型农业的技术措施效应的发挥在很大程度上与降水年型有关。正常降水年份,技术成效明显;而在异常年份(大旱年份),其效应甚微。因此,就水保型农业抗旱减灾的机制而言,属于典型的被动策略。由于干旱缺水是本区雨养农业的本质特征,是制约生产潜力的“瓶颈因子”,诸如土壤贫瘠、环境质量变劣、农村经济贫困和社会发展滞后等一系列问题在深层次上都与干旱缺水紧密相关。因此,要想使该区雨养农业彻底摆脱目前的落后状况,赢得一个长足发展的机会,真正走上持续、高效、高产、优质的良性发展轨道,并在 21 世纪为实现粮食(食物)供需总平衡和自己养活自己的战略目标做出应有的贡献,关键在于能否有效地解决旱作雨养农业干旱缺水的问题。历史与现实的经验已经证明,要解决这一问题,不能继续沿着水保型农业的路子走,而应当寻求建立在干旱防范行为上更为主动和有效的抗旱减灾农业生产体系。

农业的本质是通过农业生物类群同化环境,把自然资源转化为可供人类利用的农产品的生物学过程。在这一过程中,水是生命的介质,如果没有充足的水分保证,任何农业系统的丰收都是不可能的。旱作农业地区集水节水农业生态系统降水总量不足,供需严重错位,水分严重亏缺。这些是这些地区面临的重大生态危机,也是导致生态系统结构受损、功能不良的主要原因。要从根本上解决系统的水分亏缺,最关键的是要增加对农作物生长系统的水分投入,对亏缺的水分最大限度地予以补偿。而补偿农田水分亏缺最有效的办法之一就是提供灌溉。但是,靠这些地区地表水和地下水作为解决亏缺水分的补偿的水源可能性很小。再一途径就是跨流域远距离调水,这一措施不但投资大,而且效益差,况且在我国现阶段的经济水平和发展水平下难以实施,这是解决该区集水节水农业水分亏缺的最大难点。

三、人类用水文明发展的必然

从目前国内外的发展趋势来看,解决水分亏缺这一难题的最佳方案就是利用工程措施直接富集天然降水,使其变为人类可直接利用的水资源,补偿农业和人类所需淡水的不足。

足,在天然降水资源化的基础上,通过合理的组织与管理,发展集水节水农业。集水节水农业是中国与世界干旱、半干旱与半湿润易旱地区 21 世纪农业发展的主流,是支持农民解决温饱,实现小康,进一步达到富裕的综合技术体系。通过这一综合技术体系的模式化、标准化、产业化生产,通过微生境的再造,创造作物生长的微生境的天堂,实现商品生产的高产与高效,在完成由自给自足的小农经济向商品经济跨越的同时,减轻山区其余土地的压力,退耕还林、还草,改善生态环境,实现农业的可持续发展。

我国的干旱、半干旱和半湿润易旱地区尽管降水量少,但由于受季风气候的影响,降水的季节性变化特征是有一个相对集中的丰水季节(一般是 7、8、9 三个月),且降水多以暴雨形式出现,这样的降水特点为人工富集利用降水提供了有利的条件。

集水节水就是通过工程设施,把天然降水所形成的地表径流富集并存储起来变成可以利用的水资源,并通过合理有效地利用有限的水资源,达到集水节水增收的目的。而集水节水农业就是把对农业无效部分的天然降水通过工程设施富集起来,实施时空调节,通过节水措施和有限供水方式,补偿农田水分亏缺,实现农业生产稳定提高的技术体系。其核心内容是在中国中西部的干旱、半干旱和半湿润易旱地区,以天然降水工程富集、储存技术体系为基础,以节水有限补偿灌溉为手段,以集水节水高效农艺利用技术体系为核心,并把经济管理和技术服务作为重要组成部分而综合发展的大农业生产过程。它是一种新的旱地集水节水农业开发模式或增长方式,终极目标在于使集水节水农业由完全被动抗旱型转变为主动抗旱型,实现干旱年农业生产也能丰产和稳产,大力发展商品生产,形成规模经济,促进整个地区社会和经济的全面发展。

目前,全球性水资源日益紧缺,使世界各国都在致力于发展集水节水型农业,研究并推广许多行之有效的节水技术,诸如渠道衬砌防渗、低压管道输水、改进地面灌水技术、发展喷灌与微灌、实施节水灌溉制度、推行水资源优化配置和管理、改变作物种植结构、选用作物耐旱品种、进行秸秆或薄膜覆盖、节水耕作栽培和化学节水等。这些技术,近 10 多年来在我国也有相当规模的发展,并取得了显著的经济效益和社会效益。据统计,到 1992 年全国已推广节水灌溉工程措施面积约 2 亿亩(1 公顷=15 亩),其中低压管道输水灌溉面积约 4 350 万亩,喷灌、微灌面积约 1 300 万亩,渠道防渗控制面积 1.4 亿亩。目前在中央和各级政府的支持下,每年仍以推广千万亩的速度增长。截至 1992 年,华北 4 省 2 市已发展喷灌、微灌面积约 450 万亩,管道输水灌溉面积约 3 100 万亩,渠道防渗控制面积约 2 000 万亩(防渗率 20%~30%)。

国际上,以色列的集水节水农业科研和开发居世界领先地位。该国的水、土资源条件很差,平原不足总面积的 1/5,沙漠占国土面积的 2/3,人均水资源占有量 370m^3 ,亩均 252m^3 。但该国的农业生产增长速度 20 世纪 60~70 年代为 12%,80 年代为 7.5%,1993 年人均国民生产总值已超过 13 000 美元,跻身发达国家行列。该国经济之所以持续、稳定、快速增长,重视农业生产和农业科技是重要原因之一,而发展水利、全面推行节水灌溉起了极其重要的作用。在过去的 40 多年里,以色列的灌溉面积从占耕地面积的 15% 上升到 49%,增加 2.3 倍,灌区单位面积灌溉量从 1949 年的 $568\text{m}^3/(\text{亩}\cdot\text{年})$ 降低到 1989 年的 $400\text{m}^3/(\text{亩}\cdot\text{年})$,即减少约 1/3。以单位用水的产量来表示的灌溉水生产效率,从 1949 年的 $1.6\text{kg}/\text{m}^3$ 上升到 1989 年的 $2.33\text{kg}/\text{m}^3$,增长 46%。单位面积及单方水

的出口创汇值 1989 年比 1949 年分别增长 1.51 倍和 10 倍。面对水资源严重不足的局面,以色列在农业发展中强调最有效地利用水,并把它作为农业政策的一个重要部分,采取北水南调,输水管道将地表水、地下水集中统一调配管理;制定和执行“水法”和鼓励节水的水管理政策,以及废、污、咸水处理利用等一系列开源、节流措施,并特别重视农业与水利措施结合以提高水分生产率。目前以色列已全部采用喷灌、滴灌、微喷和移动式喷灌,在灌溉面积中的比重已分别占 60%、10%、5% 和 25%。

20 世纪 90 年代以来,我国半干旱区不少从事旱地农业研究的农、林、牧、水利、土壤、气候等多方面的专家,不约而同地把注意力集中到了天然降水的开发利用上,并开始探寻新的雨养农业可持续发展的途径,主要是利用工程措施来富集、储存天然降水,将集蓄的雨水用于农田水分亏缺有限补偿灌溉的探索性试验。兰州大学干旱农业生态国家重点实验室与甘肃农业科学院合作,在定西进行的雨水集流补灌旱地春小麦的田间试验结果表明,在小麦拔节期一次性补灌 45mm 水,最高单产达到 6 512kg/hm²,为未补灌对照田小麦产量的 2.4 倍;在小麦拔节期和抽穗期各补灌 45mm 水,最高单产达到 7 335kg/hm²,为未补灌对照田产量的 2.7 倍。大旱的 1995 年在河南卫辉市太公泉乡道士坟村进行的雨水集流补灌旱地冬小麦的田间试验表明,补灌 1 次,每公顷灌水量 225m³,产量为 2 250kg/hm²;补灌 2 次,每次 225m³,产量为 4 650kg/hm²;补灌 3 次,每次 225m³,产量为 5 625kg/hm²。未补灌对照田产量仅有 450kg/hm²。这些结果令人欣喜。尽管这些试验结果是在小范围内取得的,但它充分显示了集水节水农业显著的技术成效性,表明了集水节水农业虽不能够改变整个地区土地的水分状况,但却可以改变局部水分微生境,为农作物生长发育创造一个水热组合的天堂,实现局地农业高产、稳产和优质。

科技部于 1996 年下达了“九五”国家科技攻关计划“节水农业技术与示范”项目,由水利部、农业部和中国科学院组织实施。攻关的任务是以减少渠系输水损失、提高灌溉水利用率和农田水分生产效率为核心,以节水增产增效为目标,以我国西北、华北水资源最紧缺、节水潜力最大的地区为重点,突出科技创新和成果的技术集成组装备套,形成适用于不同地区的集水节水农业技术体系,突出先进实用的灌水技术的试验示范,辐射推广与成果转化,突出设备及产品的标准化、系列化及产业化,使我国灌溉水利用率和农田水分生产效率得到显著提高,节水农业关键技术和设备取得创新和突破。

面对 21 世纪,保证我国粮食安全面临着因人口的增长对农产品需求增加与水资源不足、耕地减少等尖锐矛盾。大力推进集水节水农业,提高水的生产效率,改善农业生产条件,为先进农业技术应用创造条件,提高农业综合生产能力和农业的整体效益,是解决这一矛盾的主要途径。集水节水农业理论的创立与实践给我国干旱、半干旱和半湿润易旱地区农业的生产和农村经济的综合发展带来了曙光。它是人类农业用水文明发展的新时期,同时也标志着我国传统旱地农业发展进入了一个新的历史阶段。

第一章 集水节水农业历史综述

第一节 集水节水农业的概念

一、雨水资源化的含义

雨水作为一种重要的生产资源,长期以来受到人类的极大关注。近年来,随着干旱程度的日益加剧,人类对雨水的重视程度更是不言而喻,深受干旱之苦的我国干旱、半干旱和半湿润易旱地区的雨养农业区更是如此。雨水是气候资源中能够计量、存贮和运输的物质资源,是区域水资源最根本的来源。当雨水作为一种用来满足人类生活和生产活动要求的物质资料时,雨水就变为雨水资源,将雨水转化为雨水资源的过程被定义为雨水资源化。间接利用雨水以及其他形式大气降水的过程为广义的雨水资源化。雨水资源化过程中应用的集流、收集、存贮、运输、利用(节灌、补充灌溉)系统,称为雨水集流节灌系统。目前,在干旱、半干旱和半湿润易旱地区雨养农业区,雨水集流节灌系统占雨水开发利用的主导地位,正发挥着日益巨大的作用。雨水资源化过程包括两条途径:一是雨水自转化为雨水资源,其含义是雨水通过入渗进入土壤,增加“土壤水库”贮水量,直接供给作物生长;二是雨水的人为资源化过程,主要含义是经过人类干预,使雨水变为雨水资源,促进农业生产或解决人畜饮水,如各种增加雨水入渗的水土保持措施、雨水集流节灌系统等。雨水资源化强调以下几个方面:

(1) 最大限度地利用降雨资源,变害为利,使不能为作物直接利用的暴雨或大暴雨的雨水,经过人为的干预,变为可以被作物利用的雨水资源。

(2) 加强人类对雨水资源化过程的干预作用。

(3) 雨水资源化不但可以解决干旱问题,为农业生产提供适宜的环境,而且可通过雨水的集流、存贮,跨季节、跨年度使用,缓解由于雨水供应与农作生长发育期不同步的矛盾。

(4) 雨水资源化过程强调雨水在土壤与作物间的存贮与调蓄利用,最大限度地发挥“土壤水库”的贮集功能。

二、集水节水农业的含义

我国是一个水资源相对贫乏的国家,水资源储量少,时空分布极度不均,旱涝灾害频繁发生,季节性、区域性的干旱缺水问题十分严重。灌溉农业之路与我国的国情越来越不相适应,农业发展与水资源的矛盾愈发突出。干旱缺水的基本国情决定了我国必须走集水节水农业之路。

集水节水农业是近年来提出的新的科学概念,它建立在新的农业观念及农业用水观念、效益农业观念之上,它是在人们充分认识灌溉和浇地的严格区别之后,演化出来的具有深刻科学含义的现代概念。

集水节水农业是指充分合理利用自然降水和各种可用水资源,采取水利、农艺、管理等措施,以提高水的利用率和水分生产率为中心的高产优质、高效农业生产模式。它不仅是克服水资源紧缺矛盾的必然选择,而且是科学技术进步的产物,也是现代化农业的重要内涵。其核心是在有限的水资源条件下,通过对水资源的合理开发利用,采用先进的水利工程技术、适宜的农业技术和水管理技术等综合技术措施,充分提高农田用水的利用率和水分生产率及效益,保证农业持续稳定发展。

关于对集水节水农业内涵的界定,论述颇多。我们认为集水节水农业技术比节水灌溉的范围更广,内涵更丰富,它包括生物节水、农艺节水、化学节水、工程节水、灌溉节水等方面,是农业高产、优质、高效、低耗的综合节水技术。集水节水农业就是高标准高效用水农业。集水节水农业是一项农、水技术紧密结合,水、土、作物资源综合开发,同时配合管理科学的系统工程,涵盖了农艺节水、灌溉节水和管理节水等范畴。集水节水农业的基本理论以多学科交叉的、综合的理论为基础。集水节水措施也是建立在节水农业理论体系上的综合技术措施。

集水节水农业不是一种单一的技术,而是包含多种技术措施的一套技术体系。这些技术措施可分为三部分:集水节水灌溉技术、农艺节水技术以及集水节水管理技术。三者相互结合并融为一体,形成一个综合的农业节水技术体系。

(一) 集水节水灌溉技术

集水节水灌溉技术即采用各种先进的灌溉技术,达到节约灌溉用水的目的。农田灌溉节水主要有两种途径:一方面是将输配水过程中的渗漏损失水量减少到最小;另一方面是采取各种先进的灌水方法、潜水技术和灌溉制度等,把田间灌水过程中的各类损失减少到最低程度,提高灌水的有效利用率和单位水量的生产效率。集水节水灌溉技术的特点是高效节水的补充灌溉,通过采用高新技术控制用水(包括时、空、量、质),恰到好处地满足作物不同生育期的需水,使作物优质高产,实现水资源的良性循环。

集水节水灌溉技术主要包括渠道防渗工程技术,低压管道输水技术,地面灌溉节水技术,喷灌技术,微灌技术,地下灌溉技术,坐水播种技术等。

(二) 农艺节水技术

农艺节水技术是在传统农业蓄水保水等抗旱技术和方法的基础上,注入现代科学技术成果,通过耕作栽培技术的改进而形成的一系列旱作农业新技术。它主要包括蓄水保墒、土壤耕作、治坡治沟等水土保持技术,农田覆盖保墒技术,少耕免耕技术,截流、集水等径流农业技术,抗旱播种、抗旱保苗技术,旱地农业结构调整、作物布局与轮作技术,农田培肥与合理施肥技术,作物品种抗旱性改良技术,以及抗旱、保水化学制剂的应用技术等。

(三) 集水节水管理技术

集水节水管理技术是根据农业生产的实际需水要求和可能的水源条件,合理开发利用和分配水资源,并在节约用水的原则下,及时、适度地满足作物对水分的需求,达到既节水又增产的目的。

集水节水管理技术主要包括区域水资源优化分配技术,地下水合理开采利用技术,劣质水(包括生活污水、工业污水、微咸水、灌溉回归水)利用技术,土壤墒情检测与预报技术,实时灌溉预报技术,用水管理的自动化和计算机管理技术等。

第二节 国外集水节水农业的历史综述

一、天然降雨集水的历史

天然降雨集水是古代获取水分的一种方法。一般认为,利用径流集水起源于4 000~6 000年前的古伊拉克,目的是为贸易商人们提供饮用水。4 000多年以前,以色列盖夫沙漠的农夫就清理山坡地的地面,把山坡面作为径流面,进而将汇集的雨水引入到山谷的农田中浇灌作物。

公元前2 000多年的中东地区,典型的中产阶级家庭都有雨水收集系统存储雨水,用于灌溉、生活、私人洗浴和公共卫生。在利比亚的干燥河谷里,雨洪在高原边缘被石墙和涵洞导入谷底,由另外或宽或窄的石墙加以控制。在高原上也一样,雨洪由石墙引入淤积的浅滩,以改善放牧条件。阿拉伯人汇集雨水,以保障干谷中的农业,种植无花果、橄榄树、葡萄和大麦等,曾以罗马帝国的粮仓而著名。《利比亚研究》杂志1989年发表的一份UNESCO报告总结:没有一滴水被浪费。公元前47年,埃及人使用集水槽供水。公元前8世纪,希腊人的房子备有储水槽、淋浴室和卫生间等,并且有陶土管建成的排水系统。

在以色列的涅杰夫沙漠中,年降雨量仅100毫米,天然降雨是惟一的水源。大约1500年前,纳巴泰人的沙漠商队利用当地这少量的雨水灌溉,种出了庄稼,而且建立起了一系列的城市,成为灿烂一时的沙漠文明。雨水集流是世界上干旱地区共同的用水特征。在印度的西部塔尔沙漠,人们通过水箱、贮水池、石墙、水坝、水窖和其他方式收集雨水,依然能够获得足够的水量,每平方千米养活60人,使之成为世界上人口最稠密的沙漠。20世纪中期,以色列制定了“沙漠花园”计划,实施有效的雨水利用技术,把以色列的水源“榨取”到了极限,以至于水泵消耗了该国1/5的电力。虽然这些严重缺水的地区,每年只有一两次暴雨,以色列人却巧妙地利用一些拦水墙,将沙漠周围光秃秃的山头上的雨水,拦截到耕作田地的沟渠水网里。除了农场以外,有些地区将收集到的雨水存放在山腰的蓄水池里,供应牧民以及羊群全年的用水。根据不同地形、雨水条件和作物需水量,以色列人建立了径流农场、微集水区、蓄水池等多种雨水利用工程,在沙漠中种出了“《圣经》中提到的大部分庄稼”。

在加勒比海、中东以及澳大利亚等地,雨水集流技术长期以来是作为当地重要的供水技术。它的潜力很长时间以来就被认识到,但也是近年来才在一些地方被开发出来。

在美国同样有雨水利用的悠久历史。几百年前,亚利桑那州沙漠中的印第安人就用漏斗边似的长堤,把雨水汇集到几公顷大的区域,用以种植玉米、南瓜和甜瓜。50年代这种技术体系被植物学家埃得加·安得森描绘为“世界上最值得注意的农业系统之一”。500年前,在科罗拉多高原以北,阿那萨基人建造了数以千计的小坝,截流冲下山坡的雨水和淤泥,用于浇灌干旱峡谷里的玉米、大豆和蔬菜。

在墨西哥和南美的安第斯山坡上,陡峭的山腰上有数百万公顷靠石墙汇集雨水灌溉

的梯田和数百千米建造精巧的渠道,供应印加人的“太阳帝国”和现已消失的马丘比城。1000 多年前建造起来的这种雨养梯田不仅能排涝,而且能用于灌溉,并且在排洪沟底收集绿藻产生的肥料,使几十万人在这片土地上生活,其规模和景观使得现代农业专家惊叹不已。

在哥伦比亚北部、厄瓜多尔以及苏里南沿海和秘鲁南部奥梯波兰诺高原,3000 多年前村民就开始修筑台田,成功地利用台田和沟地的高差重新分配雨水,分别种植旱作玉米和水作稻谷。

在古代及现代的干旱区,另一项重要的雨水利用工程是暗渠(坎儿井),它在波斯山区也有广泛的分布。伊朗约有 4 万多条暗渠,总长 27 万 km,可绕地球近 7 圈。在 20 世纪 50 年代,这些已有 2000 多年的渠道仍然供给着伊朗 3/4 的用水。严格意义上讲,暗渠并非直接的雨水利用设施,它只不过是利用暗渠防止蒸发损失,将其他地区的雨水、冰雪融水、河道潜水或地下潜水集流到使用地区。但是,从扩大集流面、满足局部地区高要求的用水需求这一雨水集流的本质意义上讲,暗渠仍是一种雨水利用技术。

二、集水节水农业的现状

21 世纪被称为水的世纪,随着世界人口的不断增加,生产的不断发展和社会的进步,全球水资源日趋紧张。目前占世界人口 40% 的 80 个国家淡水供应短缺已成为限制其经济社会发展的重要因素。据统计,全世界 210 亿亩耕地中,主要依靠自然降水进行农业生产的旱地占 70% 以上。而全世界的灌溉面积在 1950~1985 年的 35 年间,平均每年增长 5% 以上。自 1985 年以来,世界灌溉面积增长速度明显下降,年增长率不到 1%。在世界范围内,一是发展新灌溉系统的成本在不断上升,平均每亩成本超过 300 美元,甚至高达 700 美元,灌溉农业的效益下降,制约了灌溉农业的发展。二是单纯依靠发展灌溉已远远不能解决食物安全问题。世界各国都在积极探索解决水资源短缺的有效途径。农业集水节水的研究和发展已经成为农业领域里一场新的技术革命。为满足 21 世纪 30 年代 80 亿人口的食物需求,在积极发展灌溉农业的同时,大力变革和开发旱地集水节水农业,提高旱地集水节水农业的综合生产力,就自然成为一个世界性的目标。

(一) 国外集水节水农业的几个典例

近年来,世界各国集水节水农业的研究和开发都取得了很大进展,积累了许多成功经验。特别是发达国家的集水节水农业,在自然降水利用、农业布局、水土资源管理以及技术产业等方面形成了完整的技术体系。下面是几个典型的集水节水农业模式。

1. 美国集水节水农业模式

美国是世界上农业最发达的国家之一,农业资源丰富,人均耕地接近 12 亩。全国年平均降水量 760mm。中西部大平原是主要的旱作农业区,其中中部大平原区的年降水量在 400~800mm,西北部地区年降水量在 250~500mm。没有灌溉的耕地面积占 70%。种植制度为一年一熟,作物以玉米、小麦、大豆等为主。1930 年,美国曾因西部耕地过度开发,暴发了震惊世界的黑色风暴,大风刮走了肥沃的表层土壤,致使 450 多万亩良田被毁。从此,农业生产和生态环境协调发展问题开始引起美国社会和政府的高度重视。根据人少地多、资源环境压力小的特点,美国成功地在旱作农业区推广了保护性耕作技术。

保护性耕作技术的核心是土壤和水的管理。作为一个完整的技术模式,它主要包括

以下 4 个方面的内容:一是秸秆覆盖,必须保证有 30% 以上的秸秆还田覆盖。二是免耕或少耕,免耕或少耕是为了保持土壤良好的结构。耕作次数由 1930 年前的 7~10 次,减少到现在耕 1 次或不耕。三是耕地休闲和轮作,主要是通过交替种植使土壤休养生息,合理利用地力,使土壤养分、土壤蓄水满足作物的生长。四是配套的施肥、机械、作物品种等技术措施。美国已经有一整套成熟的保护性耕作农机设备,这些农机具可以完成在秸秆覆盖条件下的施肥、播种、施除草剂等多项作业,提高劳动效率。目前,美国已经有 50% 左右的旱作耕地实施了保护性耕作。据观测,耕地土壤对自然降水的蓄积由 102mm 增加到 183mm,蓄水量从占降水的 19% 提高到 40%。美国中西部开发约 100 年的历史,已经成为美国主要农牧产品的主产区,其中谷物、棉花、果蔬以及肉类等产品产量、销售量均以达到或超过全美的 1/2。

2. 澳大利亚集水节水农业模式

澳大利亚是世界上最干旱的大陆,全国有 31% 的地区年降雨量不足 500mm,有 39% 的地区年降雨量不足 250mm。人均农牧业用地 406.5 亩,人均耕地面积 41.25 亩。干旱、半干旱地区主要分布在该洲的中部和西部,约占该洲总面积的 65.7%。有农牧业用地 72 亿多亩,农用地中 90% 以上是天然草场,耕地面积只有 7.314 亿亩,其中灌溉面积占 4%。

澳大利亚南部半干旱地区的主要传统作物是小麦,1870 年以前小麦平均产量为 57.33kg/亩,1890 年下降为 32.67kg/亩。以后采取小麦休闲耕作制,并开始使用磷肥,产量得以回升。但土壤有机质过度消耗,土壤结构破坏,土壤沙化。到了 20 世纪 40 年代中期,进行豆科牧草与农作物的轮作制试验,1960 年开始大力推广。在南澳实行粮草轮作条件下,苜蓿每年提供土壤的氮素为 2.7~6.0kg/亩;在北澳,柱花草属植物则可提供土壤的氮素为 4.7~8.7kg/亩,而土壤有机氮的积累与消耗与豆科牧草的种植期限成正比。

为了更好地保护生态环境,维持农牧业的持续发展,澳大利亚在不同降水区域采取了不同的放牧制度。年降雨量在 250mm 以下的地区,采用低密度放牧制度,严格保持着天然植被利用与保存的平衡。生产经营以牧羊为主,牧牛为辅。降雨量在 300~450mm 的地区,为谷物生产区,实施轮种牧草农作制,农民们在农场的土地上,建立起若干畜栏牧场,在一部分畜栏中种植小麦、大麦、燕麦或豌豆;在另一部分畜栏中则种植苜蓿或三叶草,放养牛羊。牧草与农作物实行定期轮换。降雨量在 500mm 以上的高雨量区,农业生产以集约经营的畜牧业、高产农作物和果蔬为主。

3. 以色列集水节水农业模式

以色列是世界上土地资源最为贫瘠、水资源十分缺乏的国家之一。全国 90% 的土地是山丘和沙漠,夏季炎热干燥,冬季温和湿润。中、北部地区年降水量在 500~900mm,南部地区 25~300mm。降水量集中在 11 月至翌年的 4 月份。太巴列湖几乎是全国工农业的惟一水源。人们通常以 1m³ 水能产出多少外汇来决定水资源的用途。以色列于 1964 年开始实施北水南调工程,将北部的水一直输送到南部的干旱沙漠地区,形成覆盖全国的供水网络,实现了全国范围内的输水管道化。现已形成 7000 多千米的管道大系统,其输水效率居世界之首,高达 90% 以上。