

集水农业生态工程

□丁圣彦 杨好伟 主编

□河南大学出版社

● JISHUI

● NONGYE

● SHENGTAI

● GONGCHENG



集水农业生态工程

主 编 丁圣彦 杨好伟

河南大学出版社

内 容 提 要

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是发展我国干旱地区的农业的一个重要途径。其主要内容包括天然降水的自然分区、集水工程的发展历史、集水工程的规划、集水工程及其附属设施的构建方法与技术体系、集水工程的管理技术体系、集水—节水灌溉工程技术体系、集水背景下的微生境再造技术体系及农田集水—保水工程技术体系,进一步解决了旱地农业生产过程中集水、用水、保水的技术和使天然降水资源进一步转化增值的问题。本书可作为从事旱地农业的科研人员和水利、农业、园艺等部门的实际工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

集水农业生态工程/丁圣彦编著. —开封:河南大学出版社,2001.7

ISBN 7-81041-830-0

I. 农… II. 丁… III. 农业—蓄水 IV. S273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 039797 号

责任编辑:董庆超

责任校对:千里草

装帧设计:刘广祥

出版发行:河南大学出版社

河南省开封市明伦街 85 号 (475001)

0378-2865100

印刷:河南第二新华印刷厂

开本:787×1092 1/16

版次:2001年8月第1版 印次:2001年8月第1次印刷

字数:267千字 印张:11.25

印数:1~3000 定价:15.00元

谨以此书纪念我们的导师

赵松岭教授

本书由

河南大学出版基金

国家社会科学基金(项目编号:00BJY035)

河南省杰出青年科学基金(项目编号:0003)

河南省自然科学基金(项目编号:984070600)

河南省科技攻关项目(项目编号:981030102)

联合资助出版

前 言

干旱地区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缺水。水是干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订了许多相关的政策,科技界人士也为此而一直辛勤工作着。美国国家科学院编的《干旱地区集水保水技术》一书简要地阐述了雨水的收集及化学防渗抗蒸技术,它给同类研究提供了较好的思路。此后,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,为我国干旱地区的居民生活和工农业生产做出了很大贡献。特别是赵松岭主编的《集水农业引论》在总结我国旱地农业多年的理论研究和实践应用的基础上,明确提出集水农业是干旱地区农业可持续发展的突破口。

我国现有 12 多亿人口,2.5 亿人饮水困难,人均水资源的占有量只有世界均值的 1/4,为 13 个缺水国家之一。干旱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。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。在天然降水资源化的基础上,发展集水农业。集水农业是以“微生境”再造理论为指导,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、进一步达到富裕的硬技术体系。通过硬技术体系的模式化、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,减轻山丘区土地的压力,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和人民生活的改善,我们编著了《集水农业生态工程》。

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是发展我国干旱地区的农业的一个重要途径。其主要内容包括天然降水的自然分区、集水工程的发展历史、集水工程的规划、集水工程及其附属设施的构建方法与技术体系、集水工程的管理技术体系、集水—节水灌溉工程技术体系、集水背景下的微生境再造技术体系及农田集水—保水工程技术体系。本书进一步解决了旱地农业生产过程中集水、用水、保水的技术和使天然降水资源进一步转化增值的问题。

本书的编写提纲及编写计划由丁圣彦(河南大学)在参考国内外相关研究和试验点工作的基础上完成的,经赵松岭教授修改后,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,第三章第一至三节,第四章第四节,第六章第二至四节,第七

II 集水农业生态工程

章第一至六节,第八章第一至三节,第九章,后记;杨好伟(河南农业大学),第五章,第六章第一节,第七章第七节;卢思先(河南省卫辉市农业局),第四章第一至三节;盛海洋(黄河水利职业技术学院),第二章,第三章第四节,第八章第四节。初稿完成后,由丁圣彦、杨好伟统编定稿。

本书的编写和出版曾得到国家社会科学基金、河南省杰出青年科学基金、河南省自然科学基金、河南省科技攻关项目和河南大学学术著作出版基金等的资助。河南大学环境与规划学院的李斌同志为本书清绘了插图。河南大学出版社的董庆超同志为本书的编辑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!

本书是作者对中国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,恳请广大同行和读者不吝赐教。

作 者

2001年5月于开封

目 录

绪 论	(1)
一、限制农业生产的瓶颈因子	(1)
二、传统农业技术增产的极限	(1)
三、人类用水文明发展的必然	(3)
四、集水农业的远景展望	(4)
第一章 天然降水集水的历史综述	(6)
第一节 国外天然降水集水的历史综述	(6)
一、天然降水集水的历史	(6)
二、天然降水集水的现状	(8)
第二节 中国天然降水集水的历史综述	(9)
一、天然降水集水的历史	(9)
二、天然降水集水的现状	(10)
第三节 小结	(11)
第二章 天然降水资源的分区	(13)
第一节 天然降水的自然分区	(13)
一、干旱地区	(13)
二、半干旱和半湿润易旱地区	(13)
三、湿润地区	(14)
第二节 天然降水资源的综合分区	(14)
一、东北地区(DB)	(16)
二、华北地区(HB)	(16)
三、东南地区(DN)	(17)
四、西南地区(XN)	(18)
五、西北地区(XB)	(18)
第三章 集水工程概述	(20)
第一节 集水工程的起始与发展	(20)
一、水瓮时期	(20)
二、水窖时期	(20)
三、水窑时期	(21)
第二节 集水工程的作用	(21)
一、解决群众的生活用水和生产用水,经济效益比较高	(21)
二、控制水土流失,生态效益比较明显	(22)

IV 集水农业生态工程

三、有利于干旱山丘区尽快脱贫致富,社会效益比较好	(22)
第三节 集水工程规划	(23)
一、储水窑窖地址的选择	(23)
二、储水窑窖容积的确定	(25)
第四节 集水工程附属设施的构建	(26)
一、集水面的处理技术	(26)
二、集水渠道的处理与管理养护	(28)
第四章 储水窑窖的建造	(37)
第一节 不同类型储水窑窖的构筑	(37)
一、土储水窑窖的构筑方法	(37)
二、砖石结构储水窑窖的构筑方法	(41)
第二节 储水窑窖的附属设施	(49)
一、引水沟渠(引水墙)	(49)
二、沉沙池	(50)
三、进水暗管	(50)
四、窑底消力设施	(51)
五、窑台	(51)
六、窑内水位控制设施	(52)
第三节 几种微集水工程修复和修建的施工方法与步骤	(52)
一、旱井治漏的基本方法和步骤	(52)
二、水瓮治漏的基本方法和步骤	(53)
三、长方体和正方体水窖的施工方法	(53)
第四节 储水池库	(54)
一、塘坝或塘库	(55)
二、蓄水池	(55)
三、储水池库的保水措施	(59)
第五章 集水工程的管理	(60)
第一节 储水窑窖的一般管理	(60)
一、提高认识,重视管理	(60)
二、建立健全管理组织和规章制度	(60)
三、加强对储水窑窖工程设施的管理和用水管理	(62)
第二节 生活用储水窑窖的水质管理	(62)
一、饮水卫生的基本常识	(62)
二、饮用水的消毒	(65)
三、储水窑窖水源的卫生防护	(66)
四、生活饮用水储水窑窖的特殊处理	(66)
第六章 集水—节水灌溉工程	(70)
第一节 作物节水灌溉的意义及生物学基础	(70)

一、作物节水灌溉的意义·····	(70)
二、作物节水灌溉的生物学基础·····	(71)
第二节 喷灌技术·····	(74)
一、概述·····	(74)
二、喷灌系统的类型·····	(76)
三、喷灌系统的规划设计·····	(79)
四、喷灌系统的施工·····	(86)
五、喷灌系统的管理·····	(88)
第三节 滴灌技术·····	(88)
一、滴灌技术的发展概况·····	(88)
二、滴灌系统的组成·····	(89)
三、滴灌的优缺点·····	(93)
第四节 渗灌技术·····	(95)
一、渗灌系统的优缺点·····	(95)
二、渗灌系统的施工·····	(95)
第七章 集水背景下的微生境再造技术·····	(97)
第一节 日光温室生产技术概述·····	(97)
第二节 日光温室的类型·····	(97)
一、拱圆形日光温室·····	(98)
二、一坡一立式日光温室·····	(98)
第三节 日光温室场地的选择与规划·····	(99)
一、场地的选择·····	(99)
二、场地的规划·····	(100)
第四节 日光温室的基本结构·····	(101)
一、后墙与山墙·····	(101)
二、骨架结构·····	(101)
三、后屋面与前屋面·····	(102)
四、通风口·····	(103)
五、防寒沟·····	(103)
六、进出口·····	(103)
第五节 日光温室的建筑材料选择与施工·····	(103)
一、建筑材料的选择·····	(103)
二、施工·····	(106)
第六节 日光温室的茬口安排及休闲期利用·····	(109)
一、日光温室茬口的概念·····	(109)
二、日光温室茬口安排的原则·····	(110)
三、日光温室的茬口安排·····	(111)
四、日光温室的休闲期利用·····	(113)

第七节 日光温室的生产管理	(114)
一、光照及其调控	(114)
二、温度及其调控	(115)
三、湿度及其调控	(115)
四、CO ₂ 浓度及其调控	(116)
第八章 集水—保水工程技术	(118)
第一节 最少耕作制或免耕法	(118)
一、少耕或免耕法的原理	(118)
二、免耕要求的条件	(118)
三、免耕法存在的问题	(119)
四、免耕法的应用	(120)
第二节 农田覆盖集水—保水技术	(121)
一、农田覆盖栽培的历史及发展	(121)
二、地膜覆盖集水—保水技术	(122)
三、秸秆覆盖集水—保水技术	(128)
第三节 砂田集水—保水技术	(131)
一、砂田的建设和种类	(131)
二、砂田的耕作与管理	(133)
三、砂田的作用	(134)
四、砂田的应用前景与改进	(136)
第四节 坡耕地上常用的几种集水—保水耕作技术	(137)
一、等高耕种法	(137)
二、等高沟垄耕种法	(138)
三、蓄水聚肥改土耕作法	(139)
四、区田耕作法	(140)
五、沟垄种植法	(140)
六、等高带状间作	(142)
七、水平截水防冲沟耕作法	(142)
八、兴修坡地田间集水工程	(142)
第九章 化学物质的田间保水技术	(147)
第一节 土面保墒增温剂	(147)
一、研究概况	(147)
二、保墒增温剂的作用	(147)
第二节 吸水剂	(151)
一、研究概况	(151)
二、吸水剂的种类和基本特性	(151)
三、吸水剂在农林业生产中的应用	(152)
第三节 黄腐酸(抗旱剂 1 号)	(158)

一、抗旱剂 1 号的功能	(158)
二、抗旱剂 1 号的作用	(160)
三、抗旱剂 1 号的使用方法	(163)
参考文献	(165)
后记	(167)

绪 论

一、限制农业生产的瓶颈因子

我国现有 12 多亿人口,是世界上人口最多的国家。水资源总量虽然居世界第 6 位,但人均水资源占有量仅为 2 400 立方米,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。

我国有 2.5 亿人饮水困难,至今还有大约 8 000 万人没有完全解决饮水问题。2.5 亿人中已解决饮水问题的 1.7 亿人中相当一部分标准很低,很不稳定。人畜饮水困难的地区主要集中在干旱、半干旱的黄土高原,西南岩溶地区和沿海岛屿。这些地区地表径流和地下水都很短缺,调蓄困难,人畜饮水无法保证。人工集蓄雨水是解决这一问题的主要途径。

全国现在还有大约 6 000 多万的贫困人口生活极端困难,脱贫任务极为艰巨。已脱贫的地区返贫现象也很普遍。这些贫困地区大都位于缺水的山地丘陵区。要逐步脱贫,除解决饮水困难外,适当发展高产稳产农田是一项有效的措施。这一措施实施的前提是解决水的问题。

我国年降水量 800 毫米等值线以北的地区属于干旱、半干旱和半湿润易旱地区。该区是我国主要的农业生产区。在农业生产中,该区域不但降水总量不足(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%~60%集中于 7、8、9 三个月,与作物生育期的需水耦合性极差),干旱胁迫是农业生产的第一制约因子。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、冰雹、霜冻等)累计受灾面积为 120 607 万公顷,成灾面积为 59 407 万公顷;其中,旱灾受灾面积为 69 879 万公顷,成灾面积为 31 445 万公顷,分别占受灾总面积和成灾总面积的 57.94% 和 52.93%。1997 年北方地区发生百年罕见的特大旱灾,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。旱灾频仍,普遍存在,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,而且人畜饮水短缺问题十分严重。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。如果将西周作为该区传统旱作农业的奠基时期,雨养农业至今已有近 4 000 年的历史。经过干旱区人民数千年的实践、创造、发展和总结,干旱区农业技术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,对中国乃至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管理知识在旱作农业生产实践中的广泛应用,传统旱作农业技术有了长足发展。其重要标志是,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,降水、土壤水分与农作物生长用水三者之间耦合程度很低,致使雨养农业常常处于严重的水分亏缺胁迫之中。在这样一个恶劣的自然生态环境背景下,尽管水保型农业技术措施在减轻干旱对作物的胁迫和提高旱地农业生产方面发挥了重要作用,但并没能使雨养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,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完全绝收。

支持水保型农业的三大技术体系为梯田技术,地膜覆盖种植技术,小流域综合治理。梯田技术是一项古老的旱地农业技术,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。其根本作用在于变坡地为水平梯田,以更多地接纳天然降水,使其就地入渗,储存于土壤之中,实现农田水分的以丰补歉。地膜覆盖技术的主要作用在于减少土壤水分的无效蒸发,蓄水保墒,改善农田供水状况,提高降水利用率。小流域综合治理则是从农业结构、耕作制度与种植制度改革的目标出发,运用农业生态工程原理,将整个小流域农业生态系统结构进行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,在土地利用上实现“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”,以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肯定是有作用的。但是,即是在最好的技术组合条件下,实施水保型农业措施最多也只能多接纳一般在坡地上损失掉的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仍十分有限。更何况水保型农业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,就抗旱减灾的机制而言,水保型农业属于典型的被动农业。由于干旱缺水是干旱地区雨养农业的本质特征,是制约生产潜力发挥的“瓶颈因子”,而诸如土壤贫瘠、环境质量劣变、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,要想使干旱地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)产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作物同化环境,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。降水总量不足、供需严重错位、水分严重亏缺,是干旱地区面临的最大的生态危机,也是导致生态系统结构受损、功能不良的主要原因。要从根本上解决农业系

统的水分亏缺,最关键的是要增加对农作物生产系统的水分投入,最大限度地补偿亏缺的水分。而补偿农田水分亏缺最有效的办法之一就是灌溉。但是,就干旱区而言,靠本区地表水和地下水补偿亏缺水分的可能性很小。另外,跨流域远距离调水,不但投资大,而且效益差,况且在我国现阶段的经济水平和国力条件下也难以实施,这是解决干旱地区雨养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,在天然降水资源化的基础上,发展集水农业。集水农业是中国乃至世界干旱、半干旱与半湿润易旱地区 21 世纪农业发展的主流,是农民解决温饱、实现小康的硬技术体系。通过硬技术体系的模式化、标准化、产业化生产,通过微生境的再造,创造作物生长的“天堂”(微生境),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,存在一个降水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和利用降水提供了有利的条件。

集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。而集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,有限供水,补偿农田水分亏缺,实现农业生产力的稳定提高。其主要内容是,在干旱、半干旱和半湿润易旱地区,以微生境再造理论为指导,以天然降水富集工程、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,把经济管理和技术服务作为重要组分而综合发展的大农业生产过程。它是一种新的旱地雨养农业开发模式或增长方式,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,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。

雨水集流技术作为一项古老的富集利用天然降水的技术,在以色列、土耳其以及非洲、拉丁美洲和亚洲(包括中国)的许多国家已流传了数千年,并一直沿用至今。利用富集的雨水发展农业、林业的研究成果在中东地区及美国的西南部地区,已规模化推广,效益非常显著。

我国甘肃省自 1988 年以来,积极开展屋顶和庭院雨水集蓄利用的系统研究。他们设计了由 80~120 平方米的水泥瓦和混凝土庭院集流面和 15 立方米的水泥砂浆防渗的储水窖组成的雨水集流系统。到目前为止,已解决了 12 万人的饮水问题,并利用剩余的雨水,发展了小型庭院经济。山西省河曲县砖窑沟流域也从 1988 年起利用屋顶和庭院收集雨水,集水面积平均每户在 200 平方米以上,修建了容积为 15~50 立方米的长方体砖灰结构的水窖。水窖分混合储水和分隔储水两种类型,单纯屋顶集水可作为饮用水,而由庭院集水和混合雨水组成的水则用于刷洗、牲畜饲养和庭院蔬菜灌溉。河北省提出了屋

顶庭院水窖饮水工程。该工程主要由径流场、集水槽、输水管、格栅、沉淀池、过滤池和储水窖组成,彻底消除了老式水窖水质差的弊端。这一技术已在河北省 30 多个县得到推广应用,受益人口达 7 万多人。河南省卫辉市太公泉镇道士坟村自 1991 年至今,已构筑储水窑窖 137 个,微型全封闭式水库 1 座,引进滴灌设备 140 套,建成旱涝保收田 19 公顷。

20 世纪下半叶,随着世界人口压力的不断增大,粮食需求总量急剧增加,国际上一些拥有较大的干旱、半干旱地区的国家,如美国、前苏联、以色列和非洲一些国家,相继将传统的小规模家庭雨水集流技术应用于旱作农田。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,在定西进行了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 45 毫米水,最高单产达到 6 512 千克/公顷,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 45 毫米水,最高单产达到 7 335 千克/公顷,为未补灌对照田产量的 2.7 倍。河南卫辉市太公泉镇道士坟村在大旱的 1995 年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 225 立方米,产量为 2 250 千克/公顷;补灌 2 次,每次 225 立方米,产量为 4 650 千克/公顷;补灌 3 次,每次 225 立方米,产量为 5 625 千克/公顷;未补灌的对照田产量仅有 450 千克/公顷。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农业技术的成效,表明了集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。集水农业理论的创立与实践给我国干旱、半干旱、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,它开创了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的发展进入了一个新的历史阶段。

四、集水农业的远景展望

我国是一个农业大国,农业在国民经济的发展战略中占有十分重要的地位。但是占我国半壁江山的干旱、半干旱和半湿润易旱地区,都存在严重的缺水问题。利用工程措施直接富集天然降水,是解决这些地区水资源不足最经济、最有效的途径。集水农业的技术体系如能得以推广,足能保障这些地区人畜饮水和粮食的富足。甘肃、宁夏、河北、河南等省(区)的部分地区集水农业的试验成功,为我国同类地区提供了一个区域经济发展的样板。集水农业研究的成果不但适合于干旱缺水的山丘区,而且适合于水资源稍好的广大平原地区。降水总量不足和供需错位依然是制约平原地区农业生产力提高的关键因子,尤其是果树、园艺作物等经济作物受制约更甚。因此,充分利用平原地区的村庄、道路、田头、地边,进行集水存储,亏缺期补偿有限灌溉,将会改变农业生产条件,产生难以估量的经济与社会效益。

80 年代以来,世界面临着人口、资源、环境等问题的困扰,人口增长对水资源的压力与日俱增,水荒正在各地蔓延,水环境的污染不断地威胁着人类的健康,水的问题已成为

当今世人所关注的焦点,尤其是解决缺乏水源和供水条件的广大地区的水资源供需问题更是迫在眉睫。针对这一问题,80年代以来,国际上兴起了雨水集流系统(Rainwater Catchment System)的研究。嗣后国际雨水集流系统协会(International Rainwater Catchment System Association, IRCSA)成立,并先后在世界各地组织召开了8次国际雨水集流系统大会。

从集水农业工程的角度看,雨水集流不仅具有很大的潜力,而且具有效果好、投资小、工程简便、可行性强的特点。从规模上看,雨水集流属于小型或微型水利工程,易于在广大缺水地区推广。雨水集流系统与节水利用技术相结合,可以有效地解决分散性的供水问题。在水量转化理论的指导下,今后雨水集流系统必将在继承传统技术体系的基础上获得更大的发展。传统措施与现代化技术的结合,新概念与新技术的应用研究,将使雨水利用推陈出新,雨水资源化一定会丰富和刷新水资源评价与利用的观念。