

中国北方旱区农业 综合研究开发与示范工程

中国农业科学院 编著



中国农业出版社

CHINA

中国北方旱区农业 综合研究开发与示范工程

中国农业科学院 编著



中国农业出版社

2330.2/64



市农科院图书馆S016325

图书在版编目 (CIP) 数据

中国北方旱区农业综合研究开发与示范工程/中国农业科学院编著. —北京: 中国农业出版社, 2001.9

ISBN 7-109-07153-7

I. 中... II. 中... III. 干旱区 - 农业资源 - 综合开发 - 中国 IV. F323.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 065090 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭

责任编辑 洪兆敏

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2001 年 11 月第 1 版 2001 年 11 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 27.25

字数: 668 千字 印数: 1~600 册

定价: 75.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编：信乃詮 张燕卿

编 委：（按姓氏笔画排序）

同延安	刘作新	孙占祥	严昌荣
汪德水	陈万金	张立峰	张燕卿
郑大玮	信乃詮	侯向阳	贾志宽
陶毓汾	梅旭荣	蔡典雄	樊延录

前言

旱地农业 (Dryland Farming) 是指干旱、半干旱和半湿润偏旱地区, 主要依靠和利用自然降水进行的农业生产, 包括种植业和养殖业, 其中种植业有旱作 (Rainfed Farming) 和补充灌溉 (Supplementary Litigation) 两个基本类型。通过建立合理的种植结构和采取一系列旱地农业技术措施, 不断提高地力和自然降水的有限利用效率, 实现优质高产高效和可持续发展的农业。

在“七五”、“八五”科技攻关的基础上, “北方旱区农业综合研究与示范工程”继续列为国家“九五”科技攻关课题, 在科技部、财政部大力支持下, 在农业部直接领导下, 由中国农业科学院, 辽宁、山西、内蒙古、甘肃、宁夏等省、自治区农业科学院, 西北农业大学、中国农业大学、河北农业大学和中国科学院等 40 多个单位承担。参加人员共 288 人, 其中高级研究技术人员 122 人, 中级研究技术人员 71 人, 初级研究技术人员 35 人。该课题设置 10 个专题, 其中试验区 8 个, 专题研究 2 个。经过 5 年的科技攻关, 超额完成了合同规定的攻关任务、考核目标和技术经济指标, 取得各类科技成果 42 项; 培养博士生 12 名、硕士生 23 名; 公开发表论文 587 篇, 出版专著 35 部。科技攻关不仅取得了巨大的经济效益、社会效益和初步的生态效益, 而且也促进了旱农科学的发展, 提高到了一个新水平。

为了总结工作、交流经验, 课题和各专题分别对“九五”科技攻关的重要进展、关键技术的突破、成果转化和产业化, 以及组织管理的基本经验进行了较全面系统的总结。同时, 也选择了部分博士生论文一并汇集成册, 供广大农业工作者和科技、教学人员参考。

干旱缺水是世界性问题, 也是我国存在的突出问题。我国北方旱区占全国耕地面积的 48%, 粮食、棉花、油料和肉类等主要农产品产量分别占全国产量的 46.0%、60.9%、46.7% 和 39.4%。但是, 由于干旱缺水, 生产条件较差, 自然灾害频繁, 已成为农业发展的主要限制因素。2000 年的严重干旱, 发生范围之广, 持续时间之长, 受灾程度之重是不多见的, 给农业生产和农村经济发展造成了重大损失。我们建议在已有科技攻关取得重要进展和关键技术突破的基础

上，贯彻实施西部大开发战略，继续把北方旱区农业研究与开发列入“十五”国家科技攻关计划，组织跨部门、跨地区的科技力量，实行多专业、多学科的联合攻关，为农业可持续发展提供重大科技成果和技术储备。

主 编

2001 年 4 月

目 录

前 言

第一章	中国北方旱区农业综合研究开发与示范工程	1
第二章	风沙半干旱区(阜新)农林牧持续综合发展与示范工程	16
第三章	晋东豫西旱农地区(寿阳)农牧结合产业化持续发展模式与技术	38
第四章	高寒半干旱区(张北)农牧综合治理与适度开发技术体系	57
第五章	陇东高原半湿润偏旱区(镇原)集水高效农业研究与开发	97
第六章	陕西渭北半湿润偏旱区(合阳、澄城)农业高产高效研究与开发	125
第七章	低山丘陵半干旱区(喀左)农林业持续发展与综合治理研究	154
第八章	宁南半干旱偏旱区(海原)农业综合发展研究	187
第九章	内蒙古后山旱农区(武川)综合治理与农业稳定发展研究	222
第十章	主要类型区农田水分平衡、水分生产潜力适度开发及调控技术	254
第十一章	主要类型旱地农田水肥耦合及高效利用技术研究	283
附录:	博士生论文选编	323
杨建设	北方主要类型旱区资源节约与高效利用农业技术的方向选择	325
刘玉华	冀西北高原农田生产力合理开发对策研究	372
王 建	辽西地区人工林生产力及混交林土壤微生物学特性研究	399

中国北方旱区农业综合研究 开发与示范工程

第一节 “八五”科技攻关的回顾

通过“八五”科技攻关，超额完成了全国规定的主要研究任务，全面达到了各项技术经济指标。5年共取得各类科技成果30项，其中国际领先水平成果1项，国际先进水平成果10项，国内领先水平成果19项；发表论文612篇，出版专著39部。

通过5年科技攻关，取得一批重大科技成果，主要有：研究提出了不同类型区主要粮食作物良种良法、高产高效综合配套技术体系；总结提出不同类型区粮经饲结合高产高效综合配套技术体系；研究提出不同类型区农牧结合、农林牧综合发展优化模式；研究提出不同气候年型下，农田水分收支状况、水分生产潜力及调控措施；初步研究提出小麦在水分胁迫下，水肥耦合效应、模式及其机制等。这些成果有很高的科技水平，而且也产生了巨大的经济、社会效益和初步的生态效益。

粮食产量稳步增长，基本解决了温饱。试验区“八五”平均粮食单产229.2kg，比“七五”189kg增长38.9%，年递增7.55%。粮食总产量达到2.32亿kg，比“七五”1.43亿kg增长62.2%。

试验区科技成果示范推广面积270.52万hm²，5年粮食增产达28.42亿kg，比“七五”粮食产量8.91亿kg增长219%。

农业总产值持续增加，农业和农村经济向集约高效型发展。在粮食稳定增长的同时，试验区“八五”农业总产值达10 045.6万元，比“七五”增长108.6%，年递增19.8%。其中种植业产值4 262万元，畜牧业产值3 491.5万元，林果业产值426.3万元，分别比“七五”增长87.5%、86.6%、287%，年递增分别达到18.4%、16.6%和28.1%。

试验区科技成果大面积示范扩散，5年累积经济效益达27.4亿元，比“七五”17.2亿元增长59.3%。人均纯收入不断增长，正在

从温饱向小康迈进。试验区“八五”年人均纯收入达到 887.8 元,比“七五”的 436.0 元增加 106.4%,年递增达 21.3%。5 年人均累计纯收入增加 2 259 元,比“七五”的 1 292 元增长 74.8%。

各试验区和专题研究,增加了科技和物质投入,水分利用率达 64.9%,比“七五”提高了 20.3%,水分利用效率达 $8.85\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$,比“七五”提高了 $2.55\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$;化肥利用率达 38.4%,比“七五”提高了 12.1%。同时,通过产业结构调整,大力发展经济林,营造水土保持林和人工草地建设,使林草覆盖率有所提高,取得了初步生态效益。

各试验区和专题研究的科技人员,借助地方政府的有效组织和热情支持,多渠道、多形式培养技术骨干和农民技术员,普及推广科技成果和先进实用技术,取得了显著效果。据不完全统计,“八五”期间,举办各类专业技术培训班 3 546 期,培训技术骨干和农民技术员 39.5 万人次,分发各种技术资料 82 万份,加快了旱区农业技术扩散和农民脱贫致富的步伐。

同时,在组织重大科技攻关项目上,也积累了组织管理经验,主要有:组织多专业、多学科的力量联合攻关,提供示范样板;加快科技成果转化力度,取得重大规模效益;科技攻关同国内外旱农研究结合,提高科技攻关整体水平;加强科技攻关组织协调,搞好项目自身管理。

验收委员会认为:该项目全面超额完成了国家“八五”科技攻关规定的各项指标,立项科学,组织管理得力,经费使用合理,资料齐全,数据可靠。验收委员会认为该项目总体研究属于国际先进水平。

第二节 “九五”科技攻关任务、考核目标及主要技术经济指标

“九五”国家重点科技攻关课题“北方旱区农业综合研究开发与示范工程”,共设置 10 个专题,其类型、名称、承担单位列下:

一、半湿润偏旱区

寿阳试验区:中国农业科学院气象所、作物所,山西省农业科学院

合阳试验区:陕西省农业科学院、西北农业大学

镇原试验区:甘肃省农业科学院、甘肃农业大学

二、半干旱区

阜新试验区:辽宁省农业科学院

喀左试验区:中国科学院应用生态所

张北试验区:河北农业大学、张家口农业专科学校

三、半干旱偏旱区

武川试验区：中国农业大学、内蒙古自治区农业科学院

海原试验区：西北农业大学、宁夏回族自治区农业科学院

四、横向专题

主要类型区农田水分平衡、生产潜力适度开发及调控技术：中国农业科学院气象所、西北农业大学

主要类型区旱地农田水肥耦合及高效利用技术研究：中国农业科学院土肥所、中国科学院应用生态所

经研究与论证，确定该课题攻关研究的任务和目标主要为：建立和完善一批旱农区域农业发展典型样板，每个试验区要攻关1~2项关键技术。在粮食持续稳定高产技术、用养结合改土培肥技术、草饲畜规模化及农林牧综合发展技术、土壤水分转化规律以及集水补灌工程技术、水肥高效利用及适度开发等方面取得重大突破。

要达到的技术经济指标有：“九五”期间，建成6.67万 hm^2 试验示范区，平均粮食增产20%~30%，水分利用率增加10%，水分生产效率达到 $6.0\sim 9.0\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$ ，牧业生产提高15%~20%。5年累计技术改造中低产田200万 hm^2 ，新增粮食8亿~10亿 kg ，新增经济效益20亿元，科技贡献率达到45%~55%。

要求科技攻关研究完成后，总体上达到国内领先水平，部分研究达到国际先进水平。

第三节 “九五”科技攻关的主要成果

“九五”期间，各承担单位团结协作，联合攻关，全力以赴地投入试验区和专题研究，以合同为依据，超额完成了攻关任务、考核目标和技术经济指标，取得各类科技成果42项，其中国际领先水平成果1项，国际先进水平成果36项；培养博士生12名，硕士生23名；公开发表论文587篇，出版专著35部。

一、以市场为导向，以经济效益为中心，依靠科学技术进步，调整北方旱区农业结构

发挥地域资源优势，主动适应市场变化，调整农业结构与布局，提高农业效益和增加农民收入，并逐步改善农业和农村生态环境，是北方旱区农业实现可持续发展的必由之路。

“九五”期间，在发展旱农业科技、充分挖掘降水生产潜力，以稳定提高粮食单产、增加总产的基础上，研究探索了不同类型区粮食作物、种植业和农林牧等不同层次的结构调整与优化，并在生产中推广应用，取得了显著的效果。

(一) 压夏扩秋，建立适雨种植的粮食生产结构 我国北方旱区自然降水量少且季节变率大，夏季降水约占全年降水量的60%~75%，春季缺水和秋冬季干旱发生概率分别超过

80%和50%。在这种情况下,种植夏收(秋播)作物如冬小麦,不仅生育期缺水严重,而且种植技术成本高,最终产量是低而不稳。因此,发展适雨种植是北方旱区粮食生产结构调整方向之一。镇原和海原试验区的研究结果表明:压夏扩秋,春播作物生育期需水规律与自然降水规律基本吻合,需水满足率一般达到55%~90%,水分利用率提高8%~15%,提高了春播作物的稳产性。

大规模引用耐旱作物和抗旱品种。各地研究表明,北方旱区影响自然降水生产潜力的诸多要素中,生物因子即作物类型及品种是影响潜力发挥的内在因子。开发北方旱区粮食生产潜力,需要调整粮食作物结构和品种结构。“九五”期间,各试验区引进并筛选出10多种粮食作物50多个抗旱品种,如黑小米晋谷28,高粱晋杂15号和16号,荞麦黑丰1号,春小麦铁丰1号、辽春10号,玉米张玉1号、晋单34号、陕单13号等作物品种,在各地推广应用,具有优质、丰产、抗逆性强等特点,在粮食增产中发挥了重要作用。

(二)在确保区域粮食总量稳步增长的基础上,围绕“调优、调强”的原则,进行种植业结构的调整优化,压粮扩经,发展旱区粮、经、饲“三元结构”种植业取得成效。各试验区结合当地条件,试验研究了压粮扩经模式与技术,果树、蔬菜、油料作物种植面积扩大,产值增加,农民增收。合阳、澄城试验区在渭北旱塬调整种植结构中,压缩粮食种植面积,扩大苹果生产,建立了优质苹果商品基地,“九五”期间农民平均纯收入达1797元;张北试验区利用高寒半干旱区的资源优势,大力发展蔬菜生产,种植面积达1.73万 hm^2 ,初步形成主导产业,“九五”期间农民人均纯收入达到2683元;阜新试验区实施“三梨两杏一沙棘”发展战略,初步建立了果品生产与加工一体化的产业发展格局,“九五”期间农民人均纯收入2300元。海原试验区“九五”期间平均年降水量比常年偏少25%条件下,利用土地资源优势,扩种紫花苜蓿,实行粮草轮作,用地养地结合,不仅提高了粮食产量,而且促进了畜牧业的发展。

压粮扩经和建立三元种植结构,不仅是经济作物和饲料作物种植面积的扩大,更重要是建立合理的种植制度和栽培模式,促进农业增产增收。武川试验区推行马铃薯与春小麦带状间作,配套应用高留茬技术,产量提高了15%,种植业效益增加20%,而且坡耕地的水土流失得到了有效控制;粮草留茬带状间作,其生物量(干重)为严重退化草场的21倍,比传统种植提高了15.5%,比作物带状间作也高出5.5%。寿阳试验区玉米与大豆带状间作,粮食产量提高8%~12%,收入增加15%~18%。玉米与豆角间作在水肥条件较好的旱地可实现亩产和收入双超千。以上表明:在北方旱区建立三元种植结构,只要采取适宜的技术方案,其效益是相当可观的。

(三)退耕还林还草,建立农林牧综合发展的产业结构。在北方旱区不仅有丰富的土地资源,也拥有草地、林地资源,适合农牧结合、农林牧综合发展。但现时的农业结构和资源配置极不合理,据有关资料统计:近年北方旱区农林牧产值比例为61:3:36,而相应的耕地、林地、草地资源比例为1:1.2:3.5,地域资源多样性优势没能充分发挥,畜牧业和林果业发展滞后。因此,以市场为导向,以经济效益为中心,依靠科技进步调整农业结构势在必行。

在农区要突出秸秆利用,发展草饲畜牧业。寿阳试验区深入研究玉米等农作物秸秆加工利用方式,在肉羊、肉牛育肥和奶牛饲养中转化,取得明显成效。其中以草粉配制的肉羊日粮,饲喂利用率达94.6%~96.7%,比秸秆黄贮和氨化分别提高了28.7%和51.5%;在舍

饲条件下,应用EM生物制剂发酵秸秆草粉添加到肉羊基础日粮中(40%精料+60%秸秆草粉)饲喂,其日增重146.3g,比基础日粮饲喂对照的112.7g提高29.8%。在秸秆养牛上,采用生物酶转化剂发酵玉米秸粉喂育肉牛,日增重达602g。由63.6%(重量,能量占61.8%,下同)的氨化秸秆和36.4%的精饲料(能量38.2%)组成的奶牛日粮中64.9%的能量被畜体利用,35.1%的能量进入田间生产系统循环,秸秆能量的转化率超过60%。

在农牧交错区退耕还林还草,促进了农牧结合、农林牧综合发展。张北试验区采用一年生作物与多年生牧草混播,即坡梁瘠薄侵蚀地莠麦与苜蓿“麦草混播”,盐碱退化地油菜与苜蓿、老芒麦“油草混播”,实现退化土地分步成草恢复植被。混播人工草地生物产量可提高219%~758%,土壤含盐量明显降低,地表覆盖度提高,水土流失基本得到了控制。海原试验区通过发展秋粮作物,确保粮食自给的基础上,扩种牧草发展畜牧业取得成效。夏秋作物比例由3.5:1调整到0.18:1,相应粮食总产量提高79.4%,人工牧草面积扩大了8万 hm^2 ,农牧业产值增长了152%。寿阳试验区通过产业结构调整,农林牧结构得到了不同程度的优化,种植业、林果业和畜牧业收入分别比“八五”增长了64%、118%和148%。

二、针对北方旱区干旱缺水,农业不高不稳问题, 研究提出了一批核心技术、关键技术

“九五”期间,紧密围绕农业生产条件改善、大幅度提高水资源利用率与作物生产效率的技术创新,开展了试验研究和联合攻关,为北方旱区农业抗逆稳产及区域优势资源开发提供了一批核心技术、关键技术。

(一)采取改土培肥,合理轮作技术,建设以保土保水为中心的保护性耕作制度 针对北方旱区农田土瘠地薄、干旱缺水、产量低而不稳问题,张北试验区开展了不同地貌农田定位培肥、水肥耦合效应及农田土壤碳、氮转化与平衡研究,揭示了土壤肥力因素对作物生产影响的定量关系,提出了以土壤物理性黏粒、阳离子代换量、易氧化碳、重组碳、原土复合量、速效氮、速效磷及蔗糖酶等所表征的耕层土壤肥力指标,以及亚土层物理性黏粒、碳酸钙含量与表土层厚度所表征的土壤肥力指标。建立了高寒半干旱区以土质、土型为核心的保护性耕作技术肥力指标体系。栗钙土农田有机无机配合培肥水分适宜开发度达51.3%,客土改良作物平均增产10.8%~26.6%,水分利用率提高10.3%~21.1%。

武川试验区面对以坡耕地为主的基本农田建设,进行了以丘陵为单元,不同部位土层质地结构、风水侵蚀强度、水分营养分布与生物量关系的系统研究,确定了丘陵相对高程50%以下的土地适于农业生产。在此基础上,提出了采用定向翻耕、配合植物护埂,建设保水保土等高基本农田技术。1m土层等高田比坡耕地每10mm侵蚀性降水可增蓄土壤水分42mm,作物第1年较坡耕地增产23.7%,第2年为39.2%,第3年为41.2%,达到该区作物最大综合生产潜力2475 kg/hm^2 的64.1%。

以作物合理轮作与冬春季植被覆盖为特征的农田养分建设与风蚀控制,促进了旱地农田生产力可持续开发。张北试验区通过高效作物轮作体系研究,提出了轮作土地当量比(LER_R)概念及其计算方法,解决了不同轮作方式资源利用效果的定量比较问题。作物间关系表明,莠麦在作物倒茬中表现偏利效应,而马铃薯表现偏害效应。作物合理倒茬与轮作能显著提高农田水分与养分资源的利用效率。“豆—麦”、“薯—麦”轮作, LER_R 达1.110~

1.222, 氮素平均产投比达 0.932, 加入豆科作物的轮作显著促进了低投入农作系统土壤氮素的正平衡。武川试验区提出了“麦+薯”带状间作沙化农田风蚀控制技术, 春小麦与马铃薯以 3.6~8.4m 带宽间作种植, 留茬带风速可削减 56%~68%, 并具有明显冬季积雪与减小土壤蒸发作用。

(二) 提出了以抑制蒸发为中心的系列覆盖技术, 提高自然降水保蓄率 “九五”以来, 针对不同生态条件、经济水平及作物类型, 提出了以留茬少耕、秸秆覆盖、地膜覆盖等为特征的农田水分抑蒸保蓄技术。武川试验区采取麦田冬季留茬技术, 不仅有显著的减风滞雪效果, 而且使土壤蒸发量减少 13%~17.6%, 有力地保证了春播作物安全成苗。合阳试验区研究提出了小麦高留茬少耕全程覆盖技术, 在穴式施肥播种技术突破基础上, 通过良种、化学除草、提早播期等配套技术, 形成麦田周年秸秆覆盖抑蒸体系, 使自然降水的保蓄率由 20%~25% 提高到 50%~65%, 小麦水分利用效率达 $18.75\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$ 。寿阳试验区围绕优势作物玉米生产, 创新了以两年为一周期的玉米覆盖生产技术, 将玉米秸秆周年覆盖与免耕播种、良种与抗旱种衣剂包衣、配方肥料等技术集成, 使降水利用率提高到 75%, 产量增加 25%~40%, 水分利用效率达到 $24.0\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$, 比传统技术提高 4.5~7.5 $\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$ 。镇原试验区在作物地膜覆盖技术基础上, 创新性地提出农田地膜周年覆盖生产技术, 将冬小麦秋播时覆膜提前到小麦收获后遇雨深耕施肥覆膜 1 次完成, 秋播时直接在膜上穴播, 以此为基础选用良种、适期晚播、精量半精量播种等配套技术, 形成了冬小麦周年覆膜穴播栽培技术。这项技术把解决冬小麦干旱缺水的重点放在利用地膜周年覆盖保蓄降水、抑制蒸发上, 创造足墒壮苗稳产高产的土壤水分基础。1997—1999 年实施这项技术的覆膜麦田比不覆膜麦田播前土壤水分贮存量高 76.9mm, 降水保蓄率由 31.5% 提高到 70.2%, 小麦单产平均 $5\,497.5\text{kg}/\text{hm}^2$, 水分利用效率达 $12.255\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$, 比不覆膜与秋覆膜栽培技术分别增产 40.5% 和 20.2%, 水分利用效率相应提高 36.2% 和 11.9%。

(三) 提出了不同尺度的集雨节灌技术, 提高作物水分生产效率 “九五”期间, 围绕提高降水的作物生产效率, 首次提出了不同尺度的自然降水集聚与资源化技术。镇原试验区对大尺度的非耕地下垫面, 如地形、道路、庭院等的降水, 提出了通过修建坑塘、水窖等集水工程, 进行径流集蓄, 结合输配水管道实现异地高效利用技术。按照资源投入的比较经济效益原则, “集水面—水窖—经济作物”成为旱区水分高效利用的主导模式。利用径流集水, 配合地下渗灌设施, 果园增产达 40.8%, 增收 36.6%, 补水的 WUE 高达 $135.3\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$, 供水效益 16.2 元/ m^3 ; 关键期补灌西瓜、烤烟、油菜等经济作物也具有同样的效果。对于中尺度的农田降水, 提出了人工创造田间微地型, 即起垄覆膜技术, 使垄沟雨量叠加, 实现无效降水的有效化和水分深储。海原试验区采用垄沟宽各 60cm 比例的农田集水技术, 春小麦、玉米、谷子、豌豆等作物比对照分别增产 84%、69.8%、83.6% 和 77.1%, 水分利用效率分别达到 8.73、19.845、13.95 和 $7.71\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$, 较对照分别提高 56.9%、69.6%、72.5% 和 74.8%。寿阳试验区采用垄膜沟植的农田集雨技术, 在 1997 年的严重干旱年份, 玉米单产达 $5\,565\text{kg}/\text{hm}^2$, 比常规种植增产 $2\,907\text{kg}$, 增幅 109.4%。小尺度的集水是围绕作物根区改善其水分环境的技术。寿阳试验区采用抗旱种衣剂技术, 通过附被于种子表面的化学吸水物质富集种床水分, 使玉米出苗率比对照提高 5%~20%, 产量增加 8%~10%。阜新试验区围绕果树优质丰产, 采用根区挖坑、埋入秸秆+有机肥技术, 促进水分向根区集聚, 这一技术使根区土壤含水量提高 10.3%, 果品单株产量与优质果率分别提高了

78.4%和17.2%。

上述大、中、小尺度的降水聚集,与节水灌溉技术(滴灌、微喷等)相结合,提出了集雨节灌技术基础及设计框架,在不同条件下试验示范与推广,形成了集成配套技术,实现了区域降水资源的高效利用。目前,已成为北方旱区农业稳产与高效的一项重大创新性实用技术。

(四) 应用抗旱化学制剂,改善旱地作物的土壤水分状况 应用新型化学制剂改善土壤物理环境,提高储供水性能,对促进旱地作物稳产高产作用明显。镇原试验区利用黑色液膜研究表明,降水保蓄率比对照(裸地)提高21%,在1999年作物生育期降水量只有35mm情况下,降水保蓄率比对照高出10%,小麦增产29.7%、花生增产24.5%、菜豆增产20.8%。

土壤调理剂可直接改善土壤理化性能。寿阳试验区在春玉米上应用高、中、低量土壤调理剂,0~60cm土层水分贮存量分别比对照增加了7.2、6.3和5.2mm,其中40~60cm土层水分贮存量增加最多。武川试验区在内蒙古后山丘陵地区牧草地应用土壤调理剂,在水分条件较差的情况下,牧草出苗率提高50%。

复配型多功能种子包衣剂在旱地作物抗旱保苗中作用显著。使用抗旱包衣剂拌种,直接改变了种床层微域土壤水分环境,可提高土壤含水量1.5%~10.7%,作物出苗期提前1~4d,出苗率增加10%~30%。在土壤含水量降到5%~6%时,包衣处理牧草种子幼苗成活率比对照提高29%。寿阳试验区研制成功的20%达美种子包衣剂(抗旱型),可提高水分利用率10%~15%,同时具有防治地下害虫和种传、土传病害的作用,一般可使大田作物出苗率提高10%,产量提高10%~15%。目前在玉米生产上已推广应用。

(五) 建立了主要作物抗逆丰产栽培技术,实现了产业化经营 面对北方旱区不稳定的粮食自给生产,研究提出了实现持续增加区域粮食产量,提高自给率和商品率;面向市场发展区域资源优势作物生产,快速增加农民收入的作物抗逆丰产、低投高效系列栽培技术。

以资源高效利用为中心的北方旱区粮作抗逆丰产研究,首先筛选了一批抗逆性强、稳产高产的作物与品种。海原试验区在对不同熟期作物生态适应性全面分析的基础上,得出秋作物水分生态适应性高于夏作物,谷子>马铃薯>糜子>亚麻>小麦>豌豆,提出了压夏扩秋的作物种植策略,并进一步筛选出抗逆丰产的作物良种:春小麦8275,谷子大同14,马铃薯中薯2号,糜子陇糜6号及亚麻晋亚6号等品种,比对照增产8.6%~20.0%。喀左试验区针对主导作物春小麦生产,鉴定筛选出铁春1号、辽春10号等优质品种。寿阳试验区筛选出玉米张玉1号、晋单34、陕单13等优质品种,比对照增产12.7%~31.8%;筛选出的谷子品种承92-554、赤谷8号等,比对照增产11.7%~21.6%,并具有早熟和优质的特点。喀左试验区在选用良种的基础上,采用长效化肥作底肥一次性深施技术,作物生育期不中耕、不追肥,实现了施肥长效化、栽培管理简易化,作物产量提高12%~15%,较传统技术增收20%~30%。寿阳试验区发挥玉米优势,在实现秸秆覆盖免耕播种的基础上,集成配方肥料、抗旱种衣剂、生育期喷施抗旱剂技术,形成简化省力的机械化有机旱作技术体系,玉米增产25%~40%,土壤有机质提高0.5~1.0g/kg,每公顷投入减少750元,效益增加1500元。

以北方旱区优势资源产业化开发为核心的经济作物生产技术,取得成效。张北试验区依据坝上气候冷凉环境特点,提出发展喜凉蔬菜生产,夏秋季供应温带市场的错季蔬菜生产技术。在进行不同菜种生态适应性试验基础上,针对华北市场“三白一红一绿”(大白菜、圆

白菜、白萝卜、红胡萝卜、西芹)为主体菜的生产结构,蔬菜产值达35 850~32 400元/hm²。蔬菜生产成为坝上高寒半干旱区作物生产结构调整的重点和农村经济新的增长点。陕西渭北旱塬,光照强、温差大、土壤干旱,是北方落叶果树的优质商品基地。合阳试验区围绕苹果的优质生产,在有机与无机配合施肥、树盘覆草稳供水肥基础上,组合果实套袋、反光地膜、修剪整枝及采后保鲜等技术,提出了每公顷产45 000kg苹果的简化栽培技术体系,使优质果率提高了20%,商品率提高30%~50%。

(六) 组装集成“集水—覆盖—节灌—作物”配套技术,提高了资源综合利用效率“九五”以来,在单项技术突破的基础上,依据北方旱区不同类型区的特点,把降水径流集聚、覆盖抑蒸、节水灌溉、高效作物等技术系统集成,形成了区域资源高效利用的综合技术模式。镇原试验区利用塑料大棚棚面集水,通过集水道使降水集贮效率达到85%以上,在棚内设置水肥药加压滴灌联供系统,种植地膜蔬菜。正常年份240m²大棚窖贮降水可达55.4m³,对日光温室周年生产果菜的自给率为52.8%,年均产值4 314元,每1m³水产值达41.1元。利用地形、公路、水窖集水,并与节水灌溉(滴灌、微灌等)相结合,向大田粮食作物灌溉延伸,实施集雨节灌工程。在灌2~3水条件下,冬小麦单产4 890kg/hm²、玉米单产7 140kg/hm²、谷子单产4 680kg/hm²,分别比一般旱地增产2~5倍以上。

这项综合集成配套技术已列入甘肃省“121”工程,近年在陕西、宁夏、山西、内蒙古等省、自治区推广应用,取得了较好的经济、社会效益和生态效益。

三、农田水分状况及水分耦合试验研究与应用取得新的突破

通过在我国北方主要类型区设立中心试验区与观测点,取得了一大批重要的试验数据和观测结果。表明:北方旱区降水量具有明显的区域分异,降水从东南向西北逐渐递减,而农田蒸散变化比较复杂。农田2m土体水分储存量规律是半湿润偏旱区>半干旱区>半干旱偏旱区。干旱年、平水年、丰水年3种降水年型农作物水分满足率分别是:半湿润偏旱区为<30%、50%~70%、>90%;半干旱区为23.3%~35%、54.3%~57.8%、62.8%~80.7%;半干旱偏旱区为<40%、50%~75%、>80.1%。农田潜在蒸散总量趋势为半湿润偏旱区最大,半干旱偏旱区略大于半干旱区。区域农田水分亏缺为半湿润偏旱区最轻,半干旱区亏缺量次之,半干旱偏旱区最严重。不同类型区小麦、玉米降水生产潜力为半湿润偏旱区>半干旱区>半干旱偏旱区。在3种类型区中作物降水生产潜力差异明显,除半干旱偏旱区夏玉米低于冬小麦外,其他的潜力水平顺序基本一致,为春玉米>夏玉米>冬小麦>春小麦。

主要类型区水分生产潜力及适度开发研究表明:马铃薯、春玉米、春谷子、春小麦、糜子5种作物水分生产潜力试验值为1 125.0~3 336.0kg/hm²。其中马铃薯潜力最高,为3 336.0kg/hm²;其次是春玉米和春谷子,为1 800~2 400kg/hm²;春小麦和糜子最低,为1 125.0~1 500kg/hm²。5种作物潜在生产水分效率为4.125~9.375kg/(mm·hm²)。其中马铃薯、春玉米最高,在8.7~9.375kg/(mm·hm²)之间;春谷子、春小麦居中,为6.195~6.915kg/(mm·hm²);糜子最低,为4.125kg/(mm·hm²)。5种作物平均耗水量在167.5~356.1mm。春玉米、春谷子、糜子耗水量在266.3~275.7mm;春小麦耗水较低,在167.5~244.5mm。5种作物水分利用率在40.4%~70.2%之间。其中春玉米、春谷子较高,为67.8%~70.2%;其他作物较低,为40.4%~62.4%。按各类型区作物水分利用率

高低排序是半湿润偏旱区>半干旱区偏旱区东部>半干旱偏旱区西部；5种作物缺水重量平均为117.5mm，水分亏缺率为30.6%。其中春玉米、春谷子和春小麦缺水较多，缺水重量为110~190mm，缺水率为30%~50%；其次是糜子缺水重量为89.3mm，缺水率为24.8%；马铃薯基本上不缺水。从不同作物的可开发程度大小排列为：马铃薯>春小麦>糜子>春谷子>春玉米；不同类型区的可开发程度是半干旱偏旱区东部>半干旱区偏旱区西部>半湿润偏旱区。表明在气候干旱年份，水分生产潜力可开发程度仍较高，只要增加投入，蓄水保墒，其增产潜力是很大的。

系统研究并建立了主要类型区水肥耦合产量效应模式。在3种主要类型区长期田间和旱棚小区定位试验的基础上，建立了3种类型区不同降水年型的氮磷水耦合模型8个，均达到极显著或显著水平，说明这些模式均能作为预测预报的依据。在洛阳133.3多hm²水肥耦合模式应用研究取得了令人非常满意的结果。从水肥耦合类型看：半湿润偏旱区在底墒充足的情况下，氮和磷、磷和水的交互作用为李比希协同作用类型，而氮和水表现为协同作用类型；当氮、磷、水同时投入时，表现为顺序加和作用类型，三因素变为米切利希作用限制因素；在一定条件下，各因素间的耦合作用类型可以相互转化；在枯水年，氮、磷表现为LS交互作用类型，而在其余年型，氮、磷、水变为米切利希作用限制因素。半干旱偏旱区正常年景下，其交互效应类型表现为顺序加和型（SA）和李比希协同作用型（LS），表明氮、磷及补充灌溉均为米切利希作用型限制因素或李比希协同作用型限制因素。半干旱区试验条件下，氮、水和磷、水配合其交互耦合作用均表现为协同作用类型，缺水条件下氮、磷配合则为拮抗类型，磷、水及氮、水之间均表现为正的交互效应，属米切利希作用类型。

建立了水肥耦合作用下氮肥损失和磷肥残留数学模型，分别为：

$$N_y = 77.6042 + 91.70004X_1 - 6.0069X_2 - 10.2107X_3 + 7.3877X_1^2 - 3.057X_2^2 + 4.2481X_3^2 - 0.7560X_1X_2 + 2.7144X_1X_3 + 3.0035X_2X_3 \quad (\text{经检验达极显著水平，模型计算理论值与实际值极显著相关，该模型可作为试验条件下氮肥损失的计算依据})$$

$$P_y = 66.0788 - 1.7439X_1 + 43.4900X_2 - 2.0393X_3 - 0.2971X_1^2 - 1.0180X_2^2 + 0.8639X_3^2 - 0.1249X_1X_2 + 0.6257X_1X_3 - 0.0739X_2X_3 \quad (\text{经检验达极显著水平，模型计算理论值与实测值显著相关，该数学模型可用于计算水肥耦合作用下磷肥的残留量})$$

从上述两个数学模型分析发现，提高氮肥施用量和灌水量，可减少磷素的残留量，能够提高作物对当季磷肥的利用；提高水分供应量和磷肥施用量，可明显减少氮素损失，提高氮肥利用率。

此外，在长期定位试验研究和大量数据积累的基础上，还建立了“北方旱农区农业资源数据库和农田水分地理信息系统”和以水肥作物生长模型（CGS）为基础的“水肥咨询服务系统”。

四、建立了以粮食为先导，农牧结合、农林牧综合发展的模式，并做出示范样板

我国北方旱区人—地—粮—环境的矛盾突出，在稳定粮食生产的基础上，实施农牧结合、农林牧综合发展是旱地农业基本模式。“九五”以来，寿阳试验区以县域经济发展为基础，在不同的空间尺度上研究了农业生产条件和农村经济的特点，根据资源、经济、社会、

技术可持续性发展的评价体系,以农业系统水分利用效率、能量产投比、纯收入的优化为目标,研究建立了以秸秆在种植业和畜牧业的高效利用转化为链条,粮食优质高产稳产、草饲畜集约化发展、优质杂粮和旱地甘蓝生产加工的农牧结合模式,即“玉米—畜牧—杂粮(菜)”产业化发展模式。在寿阳建立了集约化肉羊、奶牛和猪的示范样板,优质甘蓝和杂粮示范基地等,每年推广面积 8 万 hm^2 。在“九五”平均降水比常年偏少 100mm 的条件下,全县粮食总产比“八五”增产 30%,畜牧业产值增加 148%,人均收入增加 134%,农村经济进入了快速增长时期,粮食、畜牧和旱地甘蓝等主导产业已初见端倪。

张北试验区根据当地的资源环境条件,确立了“作物突破,草畜跟进”的发展模式,通过“麦薯豆类”的结构优化,实现了粮食稳定自给,人均占有粮食达到 472kg。在此基础上,研究建立了一系列退化土地人工种草和粮草混播种植技术,大力发展草地畜牧业。到 2000 年,张北试验区人工草地面积 900 hm^2 ,其中改良草场 80 hm^2 ,畜牧业产值比“八五”提高了 19.4%,实现了农牧业综合发展。

阜新试验区发挥风沙半干旱区土地资源优势,确定了“三梨两杏一沙棘”开发低产田生产力的经济作物种植结构,提出以建设蓄水保肥果树沟为中心,融穴贮肥水、地膜覆盖为一体的旱地果树抗旱栽培技术,并初步建立了果品生产和果品加工的产业链。阜新试验区经过 5 年的攻关研究,获得直接经济效益 1.82 亿元,其中粮食、林果和畜牧分别获得直接经济效益 0.32 亿元、1.34 亿元和 0.11 亿元,果品生产已成为阜新市的支柱产业。

海原试验区通过压夏扩秋,在初步解决了粮食自给的基础上,积极实施退耕还草和粮草轮作,并建立了以草地改良为主的农牧结构模式。结果显示,随着压夏扩秋的分阶段实施,粮食产量提高 79%,农牧产值增长 1.5 倍。

第四节 “九五”科技攻关的经济、社会和环境效益

在“八五”科技攻关基础上,各试验区和专题研究取得了重大进展与突破,并通过组装集成和工程化、产业化开发,在示范区、扩散区广泛应用,取得了巨大的经济、社会效益和初步的生态效益。

一、粮食产量稳步增长,自给率和商品率提高

“九五”期间试验区平均粮食单产 4 165.5 kg/hm^2 ,比“八五”3 156.0 kg/hm^2 增长 32%,年递增率达 6.4%。粮食总产达到 3.5 亿 kg,比“八五”2.8 亿 kg 增长 25%。人均粮食占有量达到 578kg,远高于全国平均水平。

试验区科技成果示范推广面积达 358.4 万 hm^2 ,累计增产粮食 33.8 亿 kg。

试验区所在地(市、县)粮食全部实现了自给,商品率不断提高。如寿阳县平均每年可提供商品粮 1~2 亿 kg,阜新市每年可提供商品粮 6~8 亿 kg 等。

二、农业总产值持续增长,人均收入水平不断提高

在粮食生产稳步增长的同时,农业结构调整和科技成果的推广应用,试验区“九五”农