



中国生态系统研究网络丛书

长武农业生态系统结构、功能 及调控原理与技术

郝明德 梁银丽 主编

气象出版社

PDG

《中国生态系统研究网络丛书》编辑委员会

主 任： 孙鸿烈

委 员： (以下按姓氏笔画为序)

王明星 孙鸿烈 孙九林

陈宜瑜 沈善敏 陆亚洲

张新时 赵士洞 赵其国

钱迎青 唐登银

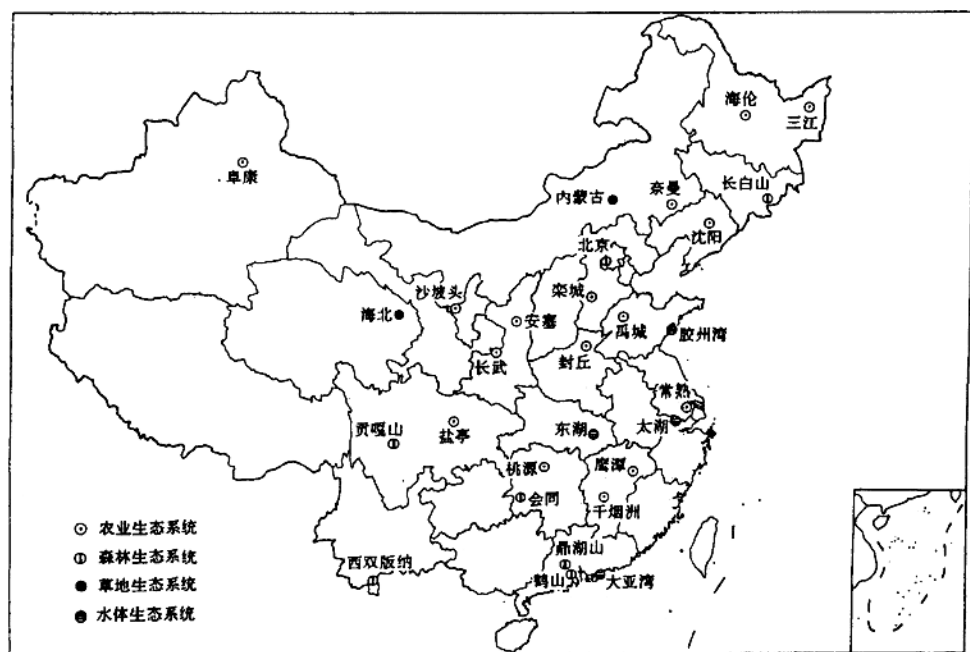
秘 书： 王群力

134106/10

《中国生态系统研究网络丛书》序

中国科学院自 1949 年建院以来,陆续在全国各重要生态区建立了 100 多个以合理利用资源,促进当地农业、林业、牧业和渔业发展,以及观测和研究诸如冰川、冻土、泥石流和滑坡等一些特殊自然现象为目的的定位研究站。在过去几十年中,这些站无论在解决本地区资源、环境和社会经济发展所面临的问题方面,还是在发展生态学方面,都发挥了重大的作用。

自本世纪 80 年代以来,一方面由于地球系统科学的出现与发展,特别是由于国际地圈-生物圈计划(IGBP)的提出与实施;另一方面,由于日益严重的全球性资源、环境问题所造成的压力,使生态学家们提出了以从事长期、大地域尺度生态学监测和研究为目的的国家、区域乃至全球性网络的议题。就是在这种背景下,中国科学院从已有的定位研究站中选出条件较好的农田、森林、草原、湖泊和海洋生态系统定位研究站 29 个(见中国生态系统研究网络生态站分布图),并新建水分、土壤、大气、生物和水域生态系统 5 个学科分中心及 1 个综合研究中心,于 1988 年开始了筹建“中国生态系统研究网络(英文名称为 Chinese Ecosystem Research Network,缩写为 CERN)”的工作。目前,中国科学院所属 21 个研究所的千余名科技人员参与了该网络的建设与研究工作。



中国生态系统研究网络生态站分布图

网络筹建阶段的中心任务,是完成CERN的总体设计。1988~1992年的5年间,在中国科学院、国家计委、财政部和国家科委的领导与支持下,来自我院各有关所的科技人员,详细研究了生态学的最新发展动向,特别着重研究了当代生态学研究网络所提出的种种新的要求;了解了世界上已有的或正在筹建的各个以长期生态学监测和研究为目标的网络的设计和执行情况;特别是分析了“美国长期生态学研究网络(英文名称为U. S. Long-Term Ecological Research Network,缩写为U. S. LTER Network)”的发展过程,注意吸取了它的经验和教训;同时,结合我国的具体情况,经过反复推敲,集思广益,于1992年底完成了网络的设计工作,并开始建设。

与其他网络相比较,CERN的设计有如下特征:在整个网络的目的性方面,强调网络的整体性和总体目标,强调直接服务于解决社会、经济发展与资源、环境方面的问题;在观测方面,强调观测仪器、设备和观测方法和标准化,以便取得可以互比的数据;在数据方面,强调数据格式的统一和数据质量的控制、数据共享和数据的综合与分析;在研究方法上,强调包括社会科学在内的多学科参与的综合研究,强调按统一的目标和方法进行的,有多个站参与的网络研究。

几年来,通过国内、外专家的多次评议,肯定了上述设计的先进性和可行性,这为CERN的总体目标和各项任务的实现奠定了可靠的基础。

CERN的长期目标是以地面网络式观测、试验为主,结合遥感、地理信息系统和数学模型等现代生态学研究手段,实现对我国各主要类型生态系统 and 环境状况的长期、全面的监测和研究,为改善我国的生存环境,保证自然资源的可持续利用及发展生态学做贡献。它的具体任务是:

1. 按统一的规程对我国主要类型农田、森林、草原、湖泊和海洋生态系统的重要生态学过程和水、土壤、大气、生物等生态系统的组分进行长期监测;
2. 全面、深入地研究我国主要类型生态系统的结构、功能、动态和持续利用的途径和方法;
3. 为各站所在的地区提供自然资源持续利用和改善生存环境的优化经营样板;
4. 为地区和国家关于资源、环境方面的重大决策提供科学依据;
5. 积极参与国际合作研究,为认识并解决全球性重大资源、环境问题做贡献。

为了及时反映该网络所属各生态站、分中心和综合研究中心的研究成果,CERN科学委员会决定从1994年起设立出版基金,资助出版《中国生态系统研究网络丛书》。我们希望该丛书的问世,将对认识我国主要类型生态系统的基本特征和合理经营的途径,对促进我国自然资源的可持续利用和国家、地区社会经济的可持续发展,以及对提高生态学的研究水平发挥积极作用。



1995年4月16日

前 言

黄土高原两大类型区之一的高原沟壑区,位于黄土高原中南部,土地面积约5.3万km²,耕地面积200万hm²,是所在省份被誉之“粮仓”的主要粮食生产基地,是我国农业的发祥地之一,也是我国重要的旱作农业区。诗经《大雅·公刘》记述了周朝先祖公刘周族部落从邠地迁徙至豳地,看到这块土地“即庶即繁”,“葇菜如飴”,于是依山傍水,定居下来,开垦土地,种植五谷,开始农耕生产,这片古老的黄土地,哺育了中华民族,创造了灿烂的农业文化。

然而,长期以来人为不合理的开垦,水土流失严重,导致区域生态环境恶化,造成养分流失,土地退化,旱情日益加剧,农业生产力低下,饥馑之地年有出现。同时,大量泥沙随水俱下,淤高黄河下游河床,威胁下游人民生命财产安全,成为中华民族心腹之患。黄土高原地区水土流失治理与生态农业建设成为一个关系到国民经济持续发展和黄河岁岁安澜的重大问题,倍受人们关注。

1986年,黄土高原综合治理被列为国家科技攻关项目,在黄土高原沟壑区的典型区域——陕西省长武县王东沟小流域设置了试验示范区。长武农业生态站1991年进入中国生态系统研究网络(CERN),着重研究黄土高原沟壑区高效农业生态经济系统的结构、功能、物质能量循环和环境效应。在科学研究示范推广方面,取得显著的成效。特别是在农村产业结构调整 and 高效农业生态经济系统的建立与完善,不同降水年型粮食作物丰产抗旱技术体系;高效开发低等级沟坡土地资源;小流域沟坡防蚀道路网络与高原沟壑区水土保持体系研究等方面取得进展。并在同类地区迅速推广应用,取得了显著的社会效益、经济效益和生态效益。同时也积累了较为丰富的研究资料。研究成果大部分已在有关刊物或国内外学术会议上发表。并得到较高评价。

本书所收集的论文和报告,仅是近期工作的一部分,内容包括农村产业结构与土地优化利用结构,粮食持续发展与水肥资源高效利用,经济林果优质丰产技术,土壤侵蚀与水土保持措施优化配置等技术在黄土高原水土流失治理与生态农业建设方面的应用。由于我们的水平有限,殷切希望得到同行的赐教,谨此致谢!

本书在编写过程中,中国科学院水土保持研究所助理研究员郭胜利、党廷辉为本书翻译并审定了英文摘要,在此表示衷心感谢。

编者

1998年1月

目 录

《中国生态系统研究网络丛书》序

前言

第一部分 农业生态系统综合研究

黄土高原沟壑区农业生态经济系统研究	郝明德(3)
生态学研究动态和发展趋势	梁银丽(15)
黄土高原治理开发与黄河断流的关系	李玉山(21)
长武农业可持续发展的制约因素与对策	宋桂琴 赵爱秋(26)
长武王东沟试验区农业生态经济系统10年演变若干问题的分析	郭明航(31)
农田生态系统中水分养分差异对小麦水分亏缺指标的效应	梁银丽 山仑 康绍忠(40)
旱地农田生态系统能量流、物质流及效益评价研究动态	徐炳成 梁银丽(46)

第二部分 农业生态系统中粮食增产体系

黄土高原沟壑区旱作粮食丰产抗旱技术体系研究	郝明德(57)
限制作物产量进一步提高的首要因子分析	钟良平 景为(64)
有限供水条件下磷营养对小麦生理特性、产量和水分利用的调节	梁银丽(70)
不同降水年型旱塬冬小麦优化施肥模式研究	党廷辉(76)
有机肥对干旱年份小麦生产的调控	梁银丽 丛心海 张俊兴(82)

第三部分 土壤养分和水分研究

石灰性土壤磷素形态与旱地长期定位施肥对其影响	彭琳 党廷辉(89)
长武王东沟流域土壤养分分布特征与培肥途径	党廷辉 李青(120)
锌肥与有机肥配施对春麦养分吸收和转移的影响	郭胜利(126)
有限灌水与冬小麦幼苗早发特征的关系	梁银丽(131)
不同降水年份黑垆土微肥增产效果及对小麦品质的影响	党廷辉(136)
黄土高原坡地利用方式对土壤微生物及养分影响的研究	张成娥(140)

第四部分 其它

地理区位在农村发展中的敛聚与流散作用	宋桂琴(147)
王东沟土地利用优化模型设计	巨仁 宋桂琴 王丽芝(152)
高原沟壑区沟坡土地开发利用研究	李军超(159)
沟坡道路侵蚀与防蚀技术体系	郑世清(163)
长武王东沟小流域土壤侵蚀规律与防蚀技术体系研究	郑世清(171)
黄土高原沟坡短枝红富士苹果早期优质丰产栽培技术研究	王胜琪(180)
沟坡果园优质丰产栽植技术研究	王胜琪(184)
黄花菜研究现状及生产建议	李军超 李文华 高晓华(192)
长武站信息系统建设与数据管理	郭明航(196)
美国凯洛哥生物试验站长期生态研究及其管理	党廷辉(205)

第一部分

农业生态系统综合研究

黄土高原沟壑区农业生态经济系统研究

郝明德

(中国科学院、水利部水土保持研究所 陕西·杨陵 712100)

摘 要

长武王东沟小流域试验示范区代表黄土高原二大类型区的高原沟壑类型区。从“七五”初步建立高效农业生态经济系统到“八五”期间,该系统进一步完善,主要体现在:①农村产业结构优化。由历史上以种植业为主的一元结构发展到“七五”时以种植业、副业为主的二元结构,现已进入种植业、果业、工副业三元结构阶段,农村产业发生结构性变化。②不同降水年型粮食作物丰产抗旱技术体系。采用不同降水年型优化施肥模式及耕作栽培管理技术,在严酷的气候条件下,粮食生产持续发展,“八五”期间连续干旱,粮食单产平均 $3754.5\text{kg}/\text{hm}^2$,处历史较高水平,居黄土高原同类型区上等水平,在降水接近正常的1993年小麦产量 $4944\text{kg}/\text{hm}^2$,玉米单产 $9478.5\text{kg}/\text{hm}^2$,粮食单产达 $6256\text{kg}/\text{hm}^2$,粮食总产 110.7t ,人均产粮 513.4kg ,皆创历史最高水平,说明粮食生产综合丰产抗灾能力在不断提高。③低产沟坡土地资源多元化高效开发配套技术体系,使“七五”初期荒芜弃耕的沟坡土地经修筑沟坡道路、平整土地、建立生态果园、有限水资源利用工程等基础设施建设大大提高了沟坡土地生产力,沟坡土地产值,成百倍增加。④小流域沟坡道路网络勘测设计与施工规范研究,建成小流域沟坡防蚀道路体系。四通八达的沟坡道路网使物质技术投入成为可能,提高了沟坡土地资源的利用程度,有力地促进了农村社会经济的变化。1996年人均收入达到1912元,土壤侵蚀模数稳定在 $800\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以下,林草覆盖率达39.5%,生态环境得到明显改善。

关键词: 高原沟壑区 农业生态经济 王东沟小流域

黄土高原地区水土流失严重,土地生产力低下,人民生活贫困,人口—资源—环境处于非常严峻的境地,在高原沟壑区其问题更为突出,严重制约了区域经济发展。高原沟壑区属黄土高原人口高密度区,土地资源有 $1/3$ 处于塬面,有 $2/3$ 处于沟壑地带。 $1/3$ 的塬地承载着95%的人口、交通及企业、学校等设施,土地不堪重负。而沟坡地带却因交通不便等原因低产荒芜。我们针对本区域发展上存在的共性问题,全面开发沟坡土地资源,利用土地、气候资源优势,发展沟坡生态果园;提高粮食生产综合丰产抗旱能力,稳定粮食生产。建立持续发展的高效农业生态经济系统。

1 长武王东沟试验示范区的自然经济社会基础

长武王东沟试验区所在的长武县历来是粮食生产和林业建设的先进县,是水利部水土保持综合治理试验示范县,其治理水平居黄土高原前列。长武试验区基本特点:一是生产治理基础水平高,试验区建立时土地治理程度已达71%,林木覆盖率达18%;二是人口密度大,1995年为 $258\text{人}/\text{km}^2$,在黄土高原属人口高密度区,人均土地少,综合发展回旋余地有限。

1.1 自然环境

1.1.1 位置

长武王东沟试验区位于陕西省长武县西 12km 陕甘分界处, $107^{\circ}40'30''\sim 107^{\circ}42'30''\text{E}$, $35^{\circ}12'16''\sim 35^{\circ}16'00''\text{N}$ 。所在的长武塬位于黄土高原沟壑区中部, 其西有董志塬, 其东有洛川塬和隰县—吉县塬, 代表面积 5.3 万 km^2 , 是所在省份的粮食主产区。

1.1.2 土地资源

王东沟总土地面积 8.3 km^2 (内含飞地 0.19 km^2), 地貌分为塬面和沟壑两大单元, 分别占土地面积的 35% 和 65%。从生产利用角度可分为塬、梁、沟三大类型, 各约占 1/3, 上、中等农田分布在塬面和梁顶上。

塬面位于北部, 海拔高度 1215~1226m, 现已建成方田林网, 塬边长漫坡、梁顶已修成宽条田, 梁坡已修成梯田, 现代沟谷中没有农田。

长武属粘黑垆土地带, 母质是深厚的中壤质马兰黄土。中壤质黑垆土是国内优良的旱作土壤。深厚土层和良好物理性质给植物生长提供了有利条件, 全剖面土质均匀疏松, 孔隙率占 50% 左右, 通透性好。深厚土壤犹如土壤水库、养分库, 可长期供作物吸收利用, 即使表层沃土流失后, 仍能维持一定的生产力。

1.1.3 土壤侵蚀特征

长武县是黄河中游 100 个水土流失重点县之一。溯源侵蚀、坡面侵蚀与重力侵蚀并存, 具有高原沟壑区水土流失典型特征。在高原沟壑区重力侵蚀被视为泥沙主要来源, 其中泻溜侵蚀和崩滑(滑坡)侵蚀是两个主要类型。经过长期治理, 侵蚀模数大大下降。

1.1.4 气象水文条件

试验区所在地属暖温带半湿润大陆性季风气候。年日照时数 2226.5h, 日照百分率 51%, 年总辐射量 4837 J/cm^2 。年平均气温 9.1 $^{\circ}\text{C}$ 。塬面 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 活动积温 3688 $^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 3029 $^{\circ}\text{C}$, 多年平均无霜期 171 天, 热量供作物一年一熟有余。复种指数随降水年份而异, 特大干旱的 1995 和 1996 年无法复种, 一般年份复种指数达 115%。

90 年代进入历史上少有的干旱时段, 降水量皆少于多年平均值, 1995 年降水量严重减少仅占常年降水 46.6%, 是自民国 18 年以来成灾最严重的干旱, 给农业生产及人民生活造成了极大危害。

长武塬面呈“岛状”, 四周割切, 地下水埋深在 60m 以上。王东沟道内有 8 处泉水, 海拔高度约为 1130m, 与塬面相差 90m, 日涌水量 468.6 m^3 , 全年涌流量为 17.1 万 m^3 , 用小高抽提水解决人畜饮水, 年利用量 1.8 万 m^3 , 约 90% 的泉水流出境外未被利用。

1.2 经济结构

1.2.1 传统农业区

本区是我国重要旱作农业区, 也是我国最早的农业开发区, 周朝先祖公刘曾在此开垦土地, 种植五谷。诗经《豳风·七月》详尽叙述了当时农民的一年农事活动。民国年间, 这里仍是陕、甘两省最大的粮食集散地之一。数千年农耕历史形成了以农为本的传统农业区。土地承包责任制实行之前种植业主要是粮食, 种植业占总收入的 75%~80%, 林牧业不足 10%, 副业占 10%~15%。实行责任制后, 产值结构的最大变化是副业比例增长。土地景观以低产农田、荒山荒坡和沟道防护林为主要成分。土地资源处于低度开发阶段。在土地利用上存在着土地利

用率低,土地经营单一,物质循环强度低,处于低投入低产出阶段。

1.2.2 种植业是农村经济基础

粮食在本区占首要地位,一遇歉收年,粮食不足,即引起农村经济萎缩,进而影响社会稳定。

1.2.3 果业已具规模

“七五”期间建立的果园相继进入盛果期,所带来的农村经济变化是巨大的,随着经济实力增加,农业基础设施也发生变化,农民自发购买小型农机具,平整土地,兴建果库,购买摩托车,用于生产交通。

1.2.4 副业型养殖业

以农副产品为主要饲料来源的农区畜牧业,其发展受粮食生产的制约,规模难以扩大。农区养殖业转化农副产品,物化剩余劳动,兼有提供动力之功能,是农业生态系统循环的一个环节,与现时农业发展相适应。通过提高耕牛母畜率和肥猪出栏率,调整畜群结构等方法,使其经济功能不断加强发展。

1.2.5 水保型林业

本区林木主要分布在现代沟谷或 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 的陡坡地上,这些部位是水土流失的主要发生地。营建林业目的是防止水土流失,并提供少量用材。

1.2.6 乡村工副业有所发展

本区历史上农产品基本自给,很少作为商品,农民也没有出售农产品的习惯,副业是农民现金收入的重要来源。副业中很多是满足群众生产生活基本需要的个体技术加工服务,如编织、小农具加工修理、磨面、粉草、碾打及三匠劳务等30多种项目,面虽宽但不成规模,而经营范围相对稳定,受市场波动影响较小,是农户收入的一个重要来源。

1.3 社会基础

长武王东沟试验示范区含王东、丈六两个行政村,下辖11个村民小组,分居7个自然村。95%村民居住在靠近沟壑边缘的塬面,村办企业也集中于塬面,居住在沟坡的村民意欲搬迁塬面,以摆脱贫困、闭塞处境,塬面土地压力日益加重。

经济生产体制自1982年以来,实行土地承包责任制,对于作物种类及种植面积,政府分别提出指令性或指导性意见,由村组贯彻执行。林业方面,沟谷中的片林由村集体经营,荒沟荒坡分片到户经营;大部分果园由村统一规划,招标承包,一定规模的村办企业招标承包经营,养殖业、工副业及劳务等由各户自行经营。

2 农村产业结构优化发展模式

长武王东沟试验区科技攻关的最大变化是农业产业结构发生了显著变化。根据农业系统内各业的功能,对该系统进行了结构性调控。首先进行农业生产基础设施建设,进而调整产业结构,完善生产技术服务体系,对农民进行长期技术培训,加强技术信息传递等基础性工作。

长武试验区农村产业结构优化发展模式是以粮果为产业发展方向,系统内粮食种植业达到区域潜势产量水平,果品业成为人均纯收入的支柱之一,养殖业仍为动力—副业型,林业为系统提供生态经济双重效益,进行优化调控该系统农村产业结构。这个系统使土地资源得到充分保护,保护长久不衰生产力和农业持续发展。

2.1 土地人口容量

长武王东沟在试验区建立后已解决温饱问题;假如农业生产在一个较长时期内维持中等投入,按人均400kg/a粮食计,则最大人口容量为2159人。按90年代的人口自然增长率2.2%计,“八五”末期人口达到饱和,人口增长势必导致粮食用地面积扩大及经济收益下降。若人均所需粮食按300kg/a计,则人口容量为2878人,到2008年将达到饱和。

2.2 人地关系

试验区土地开垦指数达52.3%,已无后备土地资源。1986年人口为1976人,人口密度238人/km²,人均耕地0.153hm²,到1995年,人口密度达258人/km²,人均耕地已不足0.11hm²。耕地总量减少是大趋势,但从村庄、道路、乡村企业及果园等方面严格管理,合理利用,加上复垦利用旧庄基、改造老梯田等措施,总耕地在2005年前可保持1995年的总面积不变,但人均耕地将下降至0.1hm²,在现有生产力水平下,一遇自然灾害、尤其是严重的旱灾,粮食单产减少1/3甚至2/3,使粮食自给缺乏保证。

2.3 农业产业结构调整措施

(1)把发展农业从仅仅依靠现有耕地转变到开发利用全部国土资源,开发沟坡资源,改善农业生产基本条件。沟坡的梯田和塆地按照试验区的土地规划,即经过改造建生态果园。

(2)实现粮食生产大幅度增长。自试验区建立以来我们根据旱作产量潜力和水肥效应试验结果,引导农民增加化肥投入,优化施肥,引入良种组合,优选播期和种植密度,实现了粮食大幅度增产。改造低产田,为扩大经济作物提供土地资源。实现耕地的高产值。

(3)农业向商品性转型。农业向商品性转型是农民增加收入的必要条件,也是农民致富的新门路。如今农产品通过交换所取得的产值占到总产值(收入)的75%。投向商品生产的资金占全部生产投资的60%~80%。由于农业结构发生变化,农民看到果品的销路好价钱高;所以土地、劳力、资金、技术等要素向果业倾斜;参与工副业的人数日益增多,行业技艺不断翻新。

(4)培训农民提高劳动力素质。经常通过指导、咨询、参观、培训,向农民普及科技知识,训练操作技能。试验区聘请烤烟技术员和果树专家,对农民进行长期培训。目前农民对烤烟栽培和烘烤已经熟练,果树管理进入本县先进行列,试验区成为陕甘两省近邻地区农业技术的辐射源。

(5)农村产业结构发生变化。表1是长武王东沟试验区10年产业(纯)收入结构情况。试验区原是典型的以农为本的农业区,土地承包制以前种植业(主要是粮食种植业)占总收入75%~80%,林牧业不足10%,在建立试验示范区的1986年在纯收入中种植业与副业二者合计达91.3%,其中种植业占50.1%,副业占41.2%,而果、林、牧三业之和不足10%。到1995年其系统总收入增加了6.7倍,粮食种植业增加了2.5倍,果业增加了132倍,工副业增加了6倍,畜牧业、林业变化甚微。种植业纯收入占总纯收入比重由1986年的50.1%下降到1994年的35.4%,1995年的18.3%(1995年属农业重灾年)。工副业由41.2%下降到1995年的37.2%,果业纯收入由原来的2%上升到39.4%,三者之和为94.9%,即试验区农业生态系统经历了历史上长期的粮食种植业一元结构,“七五”期间处于种植业、副业二元结构阶段,现已进入种植业、果业、工副业三元经济结构阶段。

在目前三元产业结构中,粮食种植业的地位须重新界定,即粮食生产达到区域潜力产量,

力保人均0.08hm²旱作粮田,畜牧业仍处在以农副产品为饲料来源的境地,农区畜牧业不能形成自身地位。林业仍处于提供生态效益为主兼顾经济效益的地位。

表1 长武王东沟试验区农业产业纯收入与结构

类 型 \ 年 份	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
种植业	收入	209537	200076	469840	600114	627782	489400	459500	984600	923700
	%	50.1	46.3	57.5	60.6	62.1	43.9	29.95	44.8	35.4
果 业	收入	8360	38000	24053	38165	67653	207000	544700	490900	898200
	%	2.0	8.8	3.0	3.9	6.7	18.6	34.9	22.3	34.4
林 业	收入	16300	27800	10800	34311	32230	7700	33100	38200	7000
	%	3.9	6.4	1.3	3.5	3.2	0.1	2.1	1.7	0.2
牧 业	收入	115637	13616	37107	38190	17277	51508	58670	42300	102609
	%	2.8	3.2	4.5	6.9	1.7	4.6	3.8	1.9	3.9
工副业	收入	172500	152410	274697	250180	266565	360400	463400	641000	680900
	%	41.2	36.3	33.6	26.2	26.4	32.3	29.7	29.2	26.1
合 计	收入	418260	431902	816479	990960	1011502	1116000	159370	2197000	2612400
	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

3 不同降水年型粮食综合丰产抗旱技术体系

一个区域粮食单产的提高不是无限的,而是受本区域诸多因素制约的,如气候资源等作物品种栽培技术水平,物质能量投入水平等。众所周知,“六五”是我国农业生产发展历史上最快的时期,联产责任制、风调雨顺,加之以前农业科研技术储备,粮食产量达到2478kg/hm²。“七五”是长武试验区粮食生产成倍增加时期,粮食产量已逼近潜势产量,粮食单产、总产及人均产粮增长势头居黄土高原11个试验区之冠。“八五”期间人均粮田降至0.08hm²,人均耕地0.12hm²,5年间连续干旱且遇到二个特大干旱年,1995年的旱情是自民国18年以来成灾最严重的干旱,5年平均降水量占常年的74.5%,导致二料夏粮和三料秋粮绝收,在如此严峻的条件下,长武试验区“八五”期间仍取得粮食产量3754.5kg/hm²的较好收成,处于历史较高水平。

表2是试验区粮食生产情况。70年代以前,由于粮食单产低,人均粮食靠扩大粮田来保证,70年代虽然单产提高,但粮田减少,人均粮食并无明显增长,80年代,粮食单产大幅度提高是

表2 长武王东沟试验区粮食生产情况

年 份 \ 类 型	粮食单产 (kg/hm ²)	粮食总产 (t/a)	人均粮食 (kg/人)	人均粮田 (hm ² /人)	粮田占耕地 (%)
1949~1950	852.0	227.8	371.5	0.44	89.5
1951~1955	958.5	258.1	382.1	0.40	88.6
1956~1960	1036.5	267.9	353.8	0.34	96.6
1961~1965	904.5	287.2	297.7	0.30	91.8
1966~1970	964.5	299.4	274.5	0.27	92.2
1971~1975	1468.5	331.7	347.3	0.24	97.5
1976~1980	1438.5	395.1	309.1	0.21	95.2
1981~1985	2478.0	678.9	389.0	0.16	81.7
1986~1990	3999.0	864.0	449.5	0.12	81.9
1991~1995	3754.5	654.7	315.3	0.08	70.9

人均粮食占有量大幅度增长的主要原因。90年代以来,虽然出现严峻的气候条件,降水减少25%，“八五”粮食单产仅比“七五”减少6.9%，粮食生产仍保持持续发展的势头。在常态降水的1993年粮食产量达6256.5kg/hm²，小麦产量4944kg/hm²，处世界旱作罕见记录。在特大干旱的1995年，小麦生育期的降水达318.1mm，6月2日受到冰雹袭击，落粒率为7.8%，仅雹灾就减产10%左右，仍取得相当于70年代以前正常年景产量水平。说明长武试验区粮食生产已发展到了综合丰产抗旱的新阶段。

3.1 作物品种优化结构

粮食作物良种化程度是衡量粮食生产水平的重要指标之一。本区主要粮食作物冬小麦和春玉米品种皆经历几次更新。随之一次品种更新，产量上一个台阶。目前小麦以长武131，玉米以丹玉13为主栽品种。作物品种由传统农业的早薄型发展到早肥型、早肥高产型阶段。长武131属早肥高产类型，其示范推广对试验区小麦大幅度增产发挥了主要作用，1987年长武131占麦田面积的2.3%；1989年占70.4%；1993年占84%，成为主栽品种。良种化程度保证了粮食生产的持续发展。

表3 小麦品种演替与产量水平(kg/hm²)

品 种	五枝麦	钱交麦	702	7211—4	长武131
试验年限	1963~1966	1965~1970	1973~1985	1978~1991	1984~1995
平均产量	1506	3111	3583.5	3820.5	4425

3.2 粮食生产的持续性依赖于肥料的持续供给

不同施肥水平下粮食生产的持续性：不同施肥水平下粮食产量随降水年型而变化，其表现在常态年、丰水年连续单施磷肥无效益，连续单施氮素化肥在常态年、丰水年有增产作用，可取得一定效益，干旱年份无效益。连续单施有机肥(7.5t/hm²)干旱年、常态年、丰水年均有增产作用。氮磷化肥配合施用条件下，平均增产1倍左右，坚持氮磷化肥施用是粮食增产的常规措施。粮食生产的持续性发展，则依赖于氮磷养分平衡及持续性供给。1982年以来特别是十年攻关以来，氮磷化肥投入量增大，满足了粮食作物对养分需求，粮食产量大幅度增长。粮食作物养分投入绝对量在长武试验区相对稳定，粮食作物施肥水平及施用技术已被农民接受，肥料投入仍有较好效益。粮食作物施有机肥量占有机肥总量相对稳定，在82.4%~95.4%之间，施用化肥N、P₂O₅量占总量比例却不断下降，氮量由94.2%下降到41.8%，P₂O₅施用量由80%左右下降到40%左右。

3.3 粮食作物丰产抗灾技术体系研究

3.3.1 不同降水年型与粮食生产关系

以小麦生长年降水(前年7月~6月底)、玉米生育期降水增减在10%以内为常态年，增减超过10%为干旱年、丰水年划分降水年型。冬小麦常态年占36.8%，干旱年占29.9%，丰水年占34.2%，春玉米常态年占23.7%，干旱年占39.5%，丰水年占36.8%。70年代以前，不论干旱年、常态年、丰水年长武试验区小麦产量皆在1500kg/hm²以下，平均882kg/hm²。自1949年以来，最高产量出现的年份中，在特大丰水年的1989年降水量增加34.5%，小麦产量为4701kg/

hm²,比所在长武县增长52.5%;一般丰水年的1991年,降水增加14.2%,小麦产量为3885kg/hm²;在常态年型的1993年,小麦产量创历史最高水平,产量4944kg/hm²;特大干旱年的1992年产量达1536kg/hm²。在自民国18年大旱以来灾情最重的1995年,小麦产量达894kg/hm²,与70年代的常态年产量水平相当。不同降水年型的最高产量皆出现在建立试验区后的年份(表3),说明物质技术投入及栽培技术水平的提高,试验区经多年培肥,土地生产力的提高,粮食丰产能力的提高及抗灾能力的增强。玉米产量上也表现与小麦相似的现象,即在常态年(1993年)产量最高达9478.5kg/hm²,特大干旱的1994年仍获得4260kg/hm²,处80年代以前丰水年及常态年产量的水平。1995年玉米生育期降水200.9mm,占常年降水的47.2%,大面积秋田几近绝收,试验区玉米取得产量达2610kg/hm²的收成。在常态降水年份大丰收,特大干旱年份与80年代以前正常年份产量持平,这充分说明长武试验区粮食综合丰产能力和综合抗灾能力的增强,粮食生产处于持续发展阶段。

表4 小麦最高产量出现年份与降水关系

类 型 类 别	特大丰水年 (1989年)	丰水年 (1991年)	常态年 (1993年)	干旱年 (1987年)	特大干旱年 (1992年)	成重灾旱年 (1995年)
降水量(mm)	784.3	665.2	616.8	480.5	362.2	318.1
比多年平均增减(%)	34.5	14.2	5.8	-17.6	-37.9	-45.4
试验区产量(kg/hm ²)	4701	3885	4944	1870.5	1536	894
长武县产量(kg/hm ²)	3082.5	2865	3022.5	1500	969	649.5
试验区比长武县增减(%)	52.5	35.6	63.6	24.7	58.5	37.6

3.3.2 根据降水年型确定粮食生产对策及措施

(1)不同降水年型粮食作物综合丰产管理技术。调整作物布局,干旱年份压缩小麦种植面积,扩大大秋和经济作物面积。休闲期抓好蓄水保墒措施,如早耕、深耕、麦草覆盖及雨后耙磨;适时播种,常态年播种期在9月15~22日为宜,干旱年份推迟2~3日,丰水年份提前2~3日;在干旱年和丰水年减少播种量。以15~16万基本苗/亩^①为宜,保持合理的群体密度。

(2)不同降水年型粮食作物优化施肥技术。丰水年份在保证磷肥用量前提下,增大氮肥量;常态年份NP化肥皆取最佳量施用;干旱年份注意满足磷肥投入。丰水年NP比为2.3:1,常态年NP比为1.3:1,干旱年NP比为1:1,才能充分发挥氮磷化肥效应。

4 低产沟坡土地资源全方位高效开发技术体系

黄土高原沟壑区塬面土地平坦,生产条件优越,集约化程度高,农田生产力接近潜势水平。占总面积65%的沟坡土地资源,因水土流失严重,土壤贫瘠、交通不便等原因大面积荒芜或广种薄收。对低产荒芜的沟坡土地资源实施高效开发,其具体内容是五项子工程在沟坡地带综合实施。沟坡防蚀道路工程由为了利用沟坡土地而修筑沟坡道路,发展到建成沟坡道路网络,每个沟坡单元都通机动车,并与生物工程防蚀措施同步进行,形成沟坡道路防蚀技术体系;有限水资源利用工程由解决人畜饮水发展到利用有限泉水、地表径流水,利用原有提水设备、利用自然落差,铺设塑料管道及长距离输水穴灌沟坡果园。沟坡土地集约化经营工程由平整土地发

① 1亩=666.6m²,下同。

展到集约经营沟坡土地,沟坡地带成为物质、能量、技术投入重心;沟坡生态果园建设工程由在沟坡建果园发展成沟坡经济林果带,不仅保护了土地资源,又成为支柱产业;低产林分双效益改造工程由植树造林发展成低产林分改造,生态、经济效益同步增长。五项子工程的综合实施,沟坡土地景观发生了显著变化,昔日荒山坡成为农村经济发展的热点。

4.1 沟坡防蚀道路工程

黄土高原沟壑区坡土地资源丰富,但长期以来没有得到充分利用。其主要原因是没有解决好沟坡交通问题,致使沟坡道路屡修屡毁,开挖面及堆积物还会成为新的泥沙源。试验区成功地解决了沟坡道路侵蚀问题,建立了沟坡道路防蚀技术体系。

试验区9个沟坡单元都可通行机动车,构成四通八达的沟坡道路网,促进了劳动力与沟坡土地紧密结合,提高了沟坡土地的利用程度。目前,长武试验区道路总长度37.8km,道路密度达4.6km/km²,其中沟坡道路密度为4.0km/km²,居黄土高原之冠。沟坡道路质量和密度显示着沟坡经济开发的程度。

4.2 有限水资源利用工程

高原沟壑区沟底有数量不等的泉水涌出,人畜饮水全靠提取这些泉水,除了人畜饮用外,尚有部分节余未被利用。王东沟底有大小泉眼8处,日涌水量468.6m³,年涌水量17.1万m³。泉水流量稳定。试验区有抽水站7个。泉水与水泵配套的只有3个。单泵抽水能力6m³/h,全天共可抽水上塬180m³。这三个抽水站除供居民和砖厂日用水30m³外,尚有150m³水可用于灌溉。试验区1992年利用人畜饮水工程的原抽水设备,铺设地下塑料管道5000余m,利用自然落差输水(7t/h)灌溉杜家坪、泡桐山及沿途250余亩沟坡果园,仅灌水一项年增加效益在10~15万元之间,经济效益显著。

4.3 沟坡土地资源集约化经营工程

长武试验区已完成沟坡土地平整工作,农民对沟坡土地的利用已发展到时间与空间上的高度集约化。①从时间空间上充分利用沟坡土地资源。在梯田栽植果树,在梯田地埂栽植桃树向空间发展,梯田根栽植一行葡萄,使葡萄藤条沿崖壁上爬,以利用空间,果园周围用花椒树护园。②充分利用有限水资源,进行节水灌溉。雨季时,不仅不让承包地的水土流失,而且争相把路面径流水和坡面径流分段拦蓄引入承包地。③沟坡土地已由附带经营变成产业经营重心的投资重心。由于试验区挂果园大部分在沟坡地带,所以技术、资金、物质等投入重心转移到沟坡果园,1988年肥料投入量仅占总氮磷养分量的2.4%,到1995年则占总量的1/3,其中化肥氮的投入占化肥总N量的47.4%,磷化肥投入占化肥总P₂O₅量的48.5%,几乎一半。④技术投入增加。经过数年对农民的技术培训,农民技术员自己能独立工作,并向周围进行有偿技术服务,每年的冬剪、夏管仅传授技术收入数千元,起到了技术辐射的作用。

水、肥、土、人力、技术等资源技术密切结合,使低等级沟坡土地产生了巨大的经济效益和生态效益。

4.4 沟坡生态果园优质高产建设工程

黄土高原沟壑区地形条件复杂,沟坡不同部位气候条件差异悬殊,表现为沟底温度最低,沟坡最高,塬面次之。该地区塬面和沟坡温度日较差都特别显著,年均日较差为9.8~11.6℃,

生育期日较差都超过 8°C ,日较差 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$ 有利于碳水化合物积累,黄土高原沟壑区有发展优质苹果得天独厚的气候因素。

据此研究,在王东沟流域的9个沟坡单元发展 118.4hm^2 沟坡生态果园,已成为农业发展的主导产业。

4.5 低产林分双效益改造工程

王东沟小流域的林业主要包括沟坡大面积片林和塬面防护林网两部分,已形成整体的农田防护林体系。

4.5.1 刺槐低产林分的更新改造

沟坡片林主要分布在沟坡地带,树种以刺槐为主,刺槐林占沟坡片林面积的 89.6% ,具有较高的生态效益,但经济效益甚低,改造的方法有:

(1)皆伐萌蘖更新。皆伐萌蘖就是将林地上的刺槐全部伐倒,清理迹地后立即封闭,用其萌蘖苗更新原刺槐林,主要应用于林相残败的疏林,以春季新叶长出前进行为佳。其技术关键为保持好采伐迹地,及时除蘖定株。

(2)抚育间伐。提高林分透光度,清除掉病弱木,使林分保持较高的生长量,皆伐当年,实生苗林分树高增长 7% ,胸径增长 13% ,3年后高生长相差 10% ;径生长相差 15% ,萌蘖苗林分3年生的树高与6年生实生苗相当。

4.5.2 农田林网防护效益及更新

防护林网作为农田生态系统的屏障,据测定双行杨树在同等管理条件下能使小麦增产 $14\%\sim 22\%$,但农田防护林网的胁地现象很严重。我们采用挖壕沟深栽大龄树,用新疆杨更新胁地较严重的大官杨品种,解决了林网的胁地影响,使农田林网的防护与用材效益都得到兼顾。

5 高原沟壑区水土保持措施体系及效益研究

5.1 塬区水土保持措施

高原沟壑区的塬面宽阔平坦,侵蚀微弱,但塬边周围沟道密布,其中大部分沟头与农田集流槽和村庄及村庄道路直接相连。从王东沟流域的沟道分布特征来看,沟道发育和沟头延伸与农田集流槽及村庄道路场院等硬地面集水冲刷有着密切的关系。特别是村庄道路等硬地面集水径流的下切侵蚀作用,导致塬面沟头迅速延伸。据长武县区划资料统计,沟头延伸年平均 6m ,使塬面更加支离破碎。滑坡的形成也与村庄道路硬地面产流有关。村庄、道路、院落等硬地面其面积占总土地面积的 7.5% ,但其侵蚀量占总侵蚀量的 $1/3$ 以上,由此可见,非农田硬地面产流是黄土塬区一个十分严重的水土流失现象,是塬区水土保持的重点。我们采用的方法是:

(1)推行庭院种植业,在庭院开辟菜园和种植果树,配合挖渗井,拦蓄院落和房顶产流。

(2)全面整修村庄道路,路面起拱,路旁挖排水沟并植树,排水沟与涝池群相连接,组成排蓄体系。

(3)以村庄为单元,以道路网为控制系统,根据硬地面集流面积和地势,设计足够容量的涝池群。与村庄道路的排水沟相连接以调节蓄水量。并通过排水沟引入近村农田。

(4)全面平整塬地,实现以道路为骨架的方田林网化。塬边缓坡地修成水平埝地,沟头低洼地和胡同全部填堵并平整,塬边缓坡临近沟头的陡坡部位,修筑沟边埂并栽植草灌进行沟头防