

国家“九五”科技攻关专题
(96-007-01-01-04)

黄河中游

防护林体系建设与水土保持

主编：唐德瑞

西北大学出版社

国家“九五”科技（攻关）专题

编号：96—007—01—01—04

黄河中游防护林体系建设与水土保持

主 编：唐德瑞

副主编：吴钦孝 王迪海 全志杰

西北大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

黄河中游防护林体系建设与水土保持/唐德瑞编著. —西安: 西北大学出版社, 2000.7

ISBN 7-5604-1476-1

I. 黄… II. 唐 III. ①防护林-造林-黄河中游文集②水土保持-黄河中游文集

IV. S727.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 65192 号

黄河中游防护林体系建设与水土保持

唐德瑞 编著

西北大学出版社出版发行

(西北大学校内 邮编 710069 电话 8302590)

新华书店经销 咸阳报社印刷厂印刷

787 毫米×1092 毫米 1/16 开本 15.5 印张 400 千字

2000 年 7 月第 1 版 2000 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1—1000

ISBN 7-5604-1476-1/S·32 定价: 34.00 元

《黄河中游防护林体系建设与水土保持》编委会

主 编：唐德瑞

副 主 编：吴钦孝 王迪海 全志杰

编委会成员（按姓氏笔画为序）：

王迪海 全志杰 李元科 李根前

何小武 何景峰 张 燕 张美亮

吴钦孝 陈云明 陈亚萍 余其芬

罗伟祥 赵鸿雁 唐德瑞 黄 林

康永祥 董有福 韩 冰

前 言

黄河发源于青藏高原的巴颜喀拉山约古宗列盆地,全长 5464km,流经青海、甘肃、四川、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东共九个省(区),流域面积 $75.24 \times 10^4 \text{ km}^2$; 黄河流域是我国重要的农业、能源和干鲜水果生产基地。本区由于地形、气候、植被及人为活动的影响,水土流失面积达 $24.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 年均侵蚀模数 $5509 \text{ t} / \text{ km}^2$, 为世界水土流失之最,年输入黄河的泥沙达 $16 \times 10^8 \text{ t}$, 占整个黄河输沙量的 90%。黄土高原在不到 100 年内,塬面面积减少了 30%, 侵蚀沟沟头年前进 3~5m, 流失土壤中的氮、磷、钾约 $4000 \times 10^4 \text{ t}$, 导致当地环境恶化,土地干旱贫瘠,燃料、饲料、肥料、木料俱缺,人畜饮水困难,人民群众生活贫困。同时还给下游地区带来巨大的隐患,每年约有 $5 \times 10^8 \text{ t}$ 粗沙淤积于下游河道,使河床日益增高,成为有名的“地上悬河”,严重威胁着下游地区的工农业生产和人民的生命财产安全。

党和政府非常重视黄河流域水土流失问题,并取得了连续四十多年伏秋大汛不决口的奇迹;但由于客观条件和经济基础的制约及人为因素的影响,水土流失极为严峻的局面还没有得到有效地扭转,泥沙和洪涝对水利枢纽工程及中下游地区的危害依然存在,人民生活水平仍处于贫困线以下。为从根本上扭转黄土高原生态环境恶化的状况,缓解森林资源危机,维护生态平衡,充分发挥森林在陆地生态系统中的主体作用,国家计委批复了“黄河中游防护林工程总体规划”,覆盖区内 6 省(自治区)的 177 个县(市、旗、区),面积 $32 \times 10^4 \text{ km}^2$,工程于 1995 年启动实施,到 2010 年结束。这项工程建设完工后,将从根本上保证黄河中下游人民生产、生活安全,使水利设施充分发挥效能,对正在建设的小浪底水利枢纽工程的顺利施工、延长其使用寿命将起到重要作用。

“黄河中游防护林体系水土保持功能持续提高综合配套技术研究”专题,旨在通过科学试验,为黄土高原综合治理提供急需的关键技术和超前模式,尽快为黄河中游防护林体系工程建设起到技术先导作用。5 年来,课题组在国家林业局科技司、陕西省林业厅的指导下,省、市、县有关部门的密切配合和支持下,经科技人员辛勤工作,建立了 3 个水土保持防护林试验示范区,径流场 19 个,小流域量水堰 1 处,设置固定标准地 20 块,获得试验观测原始数据 14 万多个,撰写试验调查报告 40 余篇,现编辑成册,以供政府、大专院校和科研单位参考。

由于作者的业务水平和实践经验有限,不足之处,敬请大家批评指正。

唐德瑞

2000 年 1 月于陕西杨凌

目 录

黄河中游防护林体系水土保持功能持续提高综合配套技术研究报告

..... 唐德瑞 王迪海 吴钦孝 全志杰 赵鸿雁 黄林 陈云明 康永祥 (1)

国内外防护林体系建设及功能研究概况.....唐德瑞 (28)

黄河中游地区防护林体系水土保持功能遥感分区研究

.....全志杰 唐德瑞 王迪海 董有福 余其芬 (37)

黄河中游防护林体系水土保持功能持续提高的综合配套技术研究

I 森林保持水土功能的条件.....吴钦孝 赵鸿雁 刘向东 (50)

黄河中游防护林体系水土保持功能持续提高的综合配套技术研究

II 持续提高水土保持功能的造林配套技术吴钦孝 赵鸿雁 刘向东 (55)

黄河中游防护林体系水土保持功能持续提高的综合配套技术研究

III 持续提高水土保持功能的经营配套技术.....吴钦孝 赵鸿雁 刘向东 (61)

小流域防护林体系对位配置优化模式研究.....王迪海 唐德瑞 (68)

黄土高原丘陵沟壑区抗旱造林综合措施试验..... 王迪海 唐德瑞 张 葳 (78)

植被保持水土的机理..... 赵鸿雁 吴钦孝 陈云明 (82)

植被保持土壤的人工降雨试验研究..... 吴钦孝 赵鸿雁 韩 冰 (93)

黄土高原人工油松林水文生态功能研究..... 赵鸿雁 吴钦孝 陈云明 (98)

黄土丘陵区油松人工林水分生态效益研究.....陈云明 吴钦孝 赵鸿雁 (105)

黄土丘陵区油松人工林温度效应的研究.....陈云明 吴钦孝 赵鸿雁 (111)

林冠对降雨动能影响机理研究.....赵鸿雁 袁建平 吴钦孝 (117)

水土保持功能持续提高机制及相应对策的研究.....王迪海 唐德瑞 赵鸿雁 (124)

油松枯落物对高含沙股流拦沙效益的初步研究.....何小武 (130)

黄土高原森林枯枝落叶层保持水土有效厚度研究.....吴钦孝 赵鸿雁 刘向东 (136)

陕西黄土高原丘陵沟壑区沙棘人工林水文效应初探张 燕 唐德瑞 (141)

毛乌素沙地中国沙棘生长过程及其与水热条件的关系

.....李根前 唐德瑞 赵一庆 (148)

防护林体系水土保持功能的小流域信息管理系统

.....黄 林 张美亮 全志杰 (154)

基于 RS 和 GIS 支持下盐池县防护林体系固沙功能效益评价

.....全志杰 唐德瑞 康永祥 陈亚萍 王迪海 李元科 (162)

陕西黄土高原刺槐数量化立地质量表的编制及应用

.....唐德瑞 罗伟祥 韩恩贤 赵 辉 (169)

陕西黄土高原沟壑区小叶杨生长规律及丰产栽培技术研究

.....唐德瑞 张 燕 王迪海 何景峰 (178)

黄龙山林区人工油松林生长状况分析.....赵鸿雁 吴钦孝 袁建平 韩 冰 (190)

试论植物气候生产潜力.....唐德瑞 (194)

结合陕西林业生态环境建设浅谈森林的分类经营.....唐德瑞 (204)

水土保持林分类经营遥感研究.....康永祥 全志杰 余其芬 董有福 陈亚萍 (212)

量纲分析法在枯落物拦沙效益计算中的应用.....何小武 (221)

强化生态意识, 加快陕西生态环境建设步伐.....唐德瑞 (226)

林草复合生态系统功能与机理研究现状.....李根前 唐德瑞 (230)

附表 1 黄河中上游森林植物地带划分及主要宜林(包括经济林)宜草种..... (237)

黄河中游防护林体系水土保持功能 持续提高综合配套技术研究报告

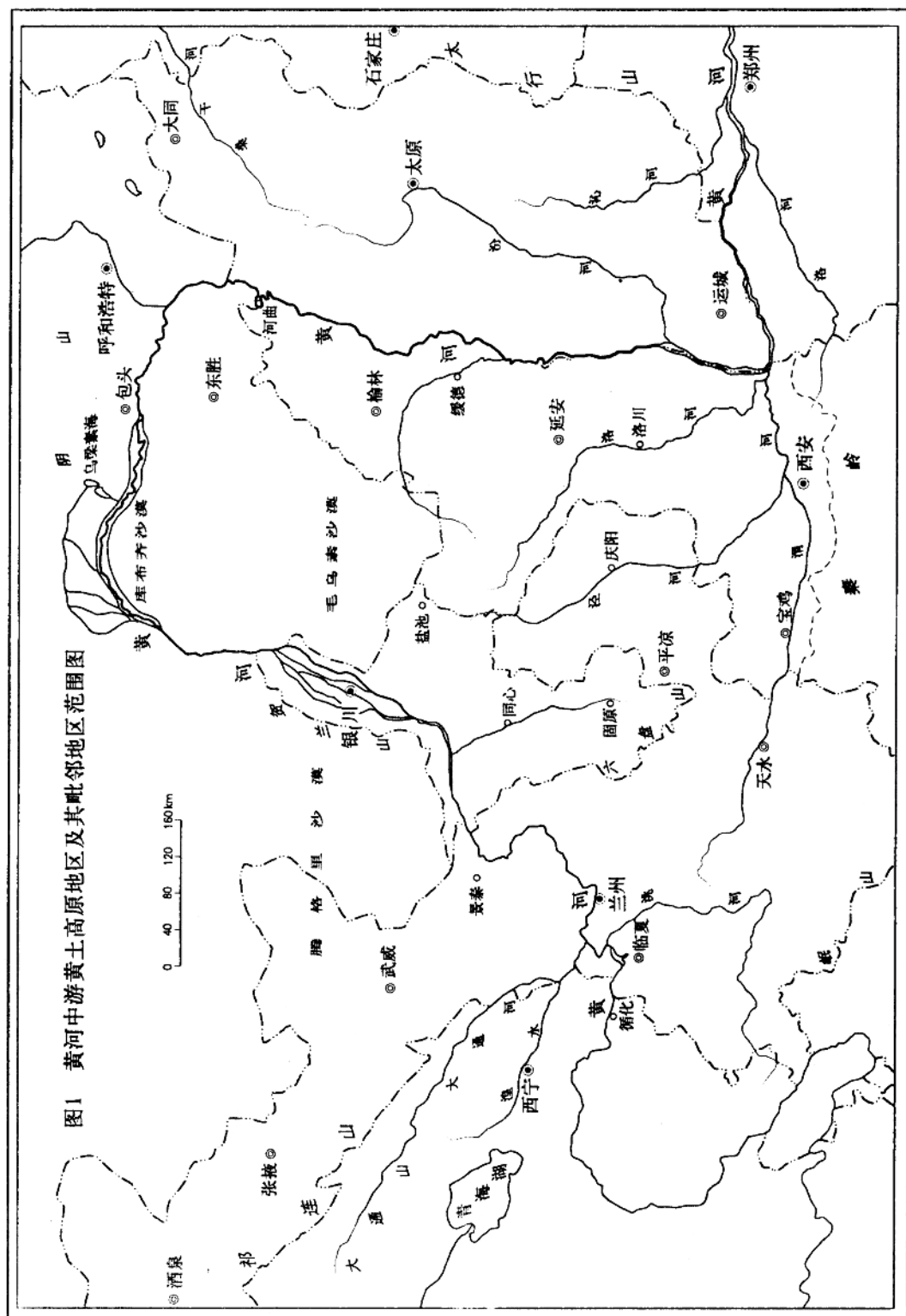
唐德瑞 王迪海 吴钦孝 全志杰
赵鸿雁 黄林 陈云明 康永祥
何景峰 李根前 刘广全 侯琳
(西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100)

1 项目来源与意义

黄河中游是中华民族的摇篮, 古文明的发祥地, 哺育了炎黄子孙, 创造了灿烂的东方文化。但长期以来, 人们在改造自然的过程中, 违背了经济规律和自然规律, 对森林资源的过度开发和破坏以及不合理的农牧方式, 导致生态环境日益恶化; 特别是近年来, 黄河断流严重, 旱情不断加剧, 这条母亲河已演变成为中华民族的心腹大患。

黄河中游除北部为腾格里及毛乌素沙漠外, 大部居于黄土高原以内, 总面积为 $58 \times 10^4 \text{ km}^2$, 严重水土流失面积 $43 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其范围为秦岭以北, 阴山以南, 太行山以西, 青藏高原东缘以东, 辖陕、甘、晋、蒙、宁、青、豫 7 省(自治区)的大部分或一部分。考虑到黄河中游水系整治的完整性和区域经济发展的协同性, 我国科学家提出了黄土高原地区的概念, 这是以地学上黄土高原为主体并包括毗邻的有关地区的一个区域范围, 这一范围约在东经 $100^\circ 54' \sim 114^\circ 33'$, 北纬 $33^\circ 43' \sim 41^\circ 16'$, 总面积为 $62.80 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占国土总面积($960.2716 \times 10^4 \text{ km}^2$)的 6.54% (图 1)。行政区划上涉及 7 省(自治区)41 个地区(市、盟、州)287 个县(旗、市、区), 总人口 8100×10^4 (1985 年)。由于几千年来, 人口的增长和迁徙, 政治军事形势变化, 战乱影响, 朝代兴衰带来的城廓废弃与兴建, 农牧线北进南移引起的樵采乱牧及垦殖兴废, 以及近 30 年来, 土地开发利用不合理, 滥砍乱牧、毁林开荒, 使大片森林和草原遭到毁灭性破坏, 致使森林消失, 草原退化, 加之黄土易被侵蚀以及降雨集中并多暴雨等特点, 使黄土高原地区自然条件日益恶劣, 气候干旱, 雨量稀少, 水土流失加剧, 形成支离破碎、千沟万壑的黄土地貌景观, 生态环境变得愈来愈脆弱。使黄土高原地区成为世界水土流失重灾区之冠。黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀模数一般达 $1 \times 10^4 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$, 甚至超过 $3 \times 10^4 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$ 。年平均向三门峡以下倾泻泥沙达 $16 \times 10^8 \text{ t}$, 最多竟超过 $30 \times 10^8 \text{ t}$ 。径流中多年平均含沙量为 37.6 kg/m^3 , 最高可达 590 kg/m^3 。

黄河下游河床以每年 10cm 的速度淤积抬高, “悬河”越来越悬, 目前已高出两岸农田 3~10m, 最高处达 15m 以上, 致使河道泄洪能力不断下降, 溢、决、改道的危险与日俱增, 严重威胁下游百座城镇, 近 $666.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 土地、 1×10^8 人口的生命财产安全。同时, 对小浪底等大型水利枢纽工程防洪、减淤、发电、灌溉等功能构成巨大威胁。令人忧心不安的是, 经常闹“水患”的黄河下游频繁出现“水荒”, 断流次数增多, 断



流时间和河段越来越长。1973~1981年的9年间,黄河下游发生断流7次,时间最长为20天,1997年黄河断流竟从2月份开始,持续时间长达217天,给下游城乡人民生活 and 国民经济造成重大损失和困难。

为了从根本上扭转黄土高原生态环境恶化的现状,缓解森林资源危机,维护生态平衡,充分发挥森林在陆地生态系统中的主体作用,贯彻中央关于在小浪底水利枢纽工程以上流域的水土流失地区进行生物治理的指示精神,国家计委于1995年批复了《黄河中游防护林工程总体规划》,包括山西、陕西、甘肃、宁夏、内蒙古、河南6省(自治区)的177个县(市、旗、区),总面积 $3200 \times 10^4 \text{hm}^2$,区内含有黄河干流及其主要一级支流26条。规划用15年时间,通过造、封、飞播,营造 $315 \times 10^4 \text{hm}^2$ 的多功能防护林;该工程建设完成后,将从根本上保证黄河中下游人民生产、生活安全,使水利设施充分发挥效能,对正在建设的小浪底水利枢纽工程的顺利施工、延长其使用寿命将起到重要作用。

“黄河中游防护林体系水土保持功能持续提高综合配套技术研究”编号为96-007-01-01-04,是“九五”国家科技攻关专题,由陕西省林业科学院主持,西北林学院、中国科学院水利部水土保持研究所和安塞县林业局共同承担。该专题旨在通过科学试验,探索出黄河中游控制水土流失,恢复生态平衡,建立良性循环的大农业生态系统的有效途径,为黄土高原综合治理,振兴区域经济,脱贫致富提供急需的关键技术和超前模式,提出一套完整且系统的优质高效持久的防护林体系建设技术和方法,形成一系列提高防护林体系水土保持功能的技术措施,尽快为黄河中游防护林体系工程建设起到技术先导作用,为工程建设实施提供整体配套技术。

2 技术路线和方法

在广泛收集和整理国内外防护林建设研究动态的基础上,根据本专题的攻关目标、研究内容和主要技术经济指标,专题研究采用了以下技术路线和方法。

(1) 黄河中游防护林体系水土保持功能持续稳定技术研究采用由小及大的技术路线。即生物材料的选择→材料的优化组合→水土保持防护林体系营建。以植物为线索,在个体→种群→群落→系统四个层次上研究水土保持林发生发展过程及持续提高综合配套技术措施。

(2) 黄河中游防护林体系水土保持功能综合配套技术研究采用由大及小的技术路线。即黄河中游地区功能分区→各区水土保持功能的特征诊断→小流域治理的措施。以水分为载体,在微径流小区→径流场→集水区→小流域四个层次上研究水土保持林功能的动态变化过程和调控机制。

(3) 定位试验与调查研究相结合,专题研究与综合研究相结合,应用基础研究与应用开发研究相结合,建立了以流域为单元的科技试验示范基地2个;试验示范基地建设与辐射推广相结合,推动黄河中游地区防护林体系建设技术的发展。

(4) 科学研究与行政领导相结合,组织黄河中游有关部门多学科协作攻关,充分调动多方面力量,解决技术关键问题;同时,研究任务与人才培养紧密结合,为优秀青年科技人才的成长创造良好条件。充分利用国家及部省级重点实验室设备仪器,广泛掌握科技动态与文献资料,不搞低水平重复。以试验示范为基础建立监测和信息管理网络。

(5) 采用野外调查、定位试验和室内分析测定相结合,以防护林学为主与其它学科协同攻关,以林业生态工程建设为基础,加强新技术、新方法的应用,提高研究水平,加速了防护林体系建设的进程,缩短构建周期。边试验、边推广,在推广中不断完善深化研究成果,促进其尽快转化为生产力,尽早发挥林业生态工程的经济、生态和社会效益。

3 试验示范区概况与建设

经专家多次论证和考查,决定将本专题试验示范区选设在陕西省安塞县高玉沟流域和永寿县马莲滩流域。

3.1 安塞县高玉沟示范区

安塞县地处陕北黄土高原丘陵沟壑区,位于东经 $108^{\circ} 51' 44''$ 至 $109^{\circ} 26' 18''$, 北纬 $36^{\circ} 30' 45''$ 至 $37^{\circ} 19' 31''$ 之间。北与靖边县毗邻,东与子长县、延安市相连,南与甘泉县接壤,西与志丹县相依。东西宽约 36km,南北长 92km,总土地面积 2950.44km^2 ,是黄河中游水土流失重点县之一。

高玉沟流域位于安塞县东南部,距县城约 8km,行政区划上属延河湾乡。高玉沟主沟道全长约 12.5km,属典型的黄土丘陵沟壑区,平均海拔 1350m,相对高差 100~200m,属暖温带半干旱大陆性季风气候,主要气象灾害为干旱、冰雹、暴雨、霜冻、大风等,以干旱发生比较频繁,危害比较严重。年平均气温 8.8°C ,极端最高温度 36.8°C ,极端最低温度 -23.6°C ,年均降水量 505.3mm,多集中在 7~9 月。土壤为黄绵土、黄壤土和黑垆土,另外,有少量红粘土、石质土和潮土。植被区划为暖温带半干旱森林草原地带,主要栽培树种有刺槐、杨树、侧柏、油松、苹果、山楂、枣树和桃树等。试验示范区所在的高家岭行政村辖 7 个自然村,总土地面积 567.33hm^2 ,有农户 117 户,530 人,劳动力 210 人,其中男劳 130 人,女劳 80 人。耕地面积 139.33hm^2 ,经济林 134.67hm^2 ,人均 0.254hm^2 (3.81 亩)。主要农作物为谷类、黄豆、荞麦、洋芋等。试验示范区主要由阳安沟小流域、背沟小流域和马庄沟小流域组成,总面积 88.35hm^2 。

3.2 永寿县马莲滩示范区

永寿县地处渭北黄土高原的中部偏西,位于东经 $107^{\circ} 55' \sim 108^{\circ} 20'$,北纬 $34^{\circ} 29' \sim 34^{\circ} 59'$ 之间。境内海拔 527.1~1505.3m 之间,相对高差 933.2m,有 9 条大沟和 893 条小沟。永寿县属暖温带大陆性季风气候,年平均气温 10.8°C ,年均最低气温 6.6°C ,年均最高气温 15.9°C ,最热月 7 月平均气温 23.7°C ,最冷月 1 月平均气温 -2.9°C 。年较差 26.6°C ,月较差 9.3°C ,极端最低气温 -18°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 3476.3°C 。早霜始于 10 月下旬,晚霜终于 3 月下旬,无霜期 217 天。年平均降雨量 601.1mm,年湿润指数 0.64;裸地蒸发量 807.4mm,年平均日照时数 2166.2h,日照百分率 49%。常年多西北风,最大风力 17m/s ,冬春干旱,夏秋多雨,且集中在 7、8、9 三个月,占全年雨量 52% 左右。永寿县的主要土壤有黄壤土、黑垆土,分别占土地总面积的 43.6%、35.7%,褐土仅占 0.64%,也有少量红粘土、潮土、淤土、石渣土等。

马莲滩试验示范区,地处永寿县中部,中心位置距永寿县城 14km,气候条件和自然特点,可以用永寿县来代替。试区总面积 2626.95hm^2 ,集中分布在渡马乡境内,涉及 15 个自然村。总人口 5527 人,人口密度每平方公里约 210 人。男女劳力 2435 个,现有耕地 1727.40hm^2 ,人均耕地 0.44hm^2 。地貌结构由梁峁、山梁坡、沟坡、沟底、塬面 5 部分组成。梁峁海拔 1300m 左右,沟 900m,相对高差 50~150m。沟宽 300~1000m,有千米以上小支沟 7 条,百米以上的支毛沟 35 条,有水面 1.33hm^2 的水库 1 座。沟坡上

缓下陡，下部呈一明显陡崖，即为侵蚀沟沿线，坡度多达 40° 左右，在沟坡治理中被视为难利用地。沟壑呈 V—U 型发育，在水力作用下重力侵蚀相当活跃，致使沟头延伸，沟岸扩张，崩塌、陷穴时有发生，使梁塬不断缩小，形成了沟壑纵横、支离破碎的地貌景观。

3.3 宜川县铁龙湾林场松峪沟试验区

水土保持功能的部分研究在宜川县铁龙湾林场的松峪沟试验区进行。试验区地处黄龙山林区东侧，地理位置为北纬 $35^{\circ}39'$ ，东经 $110^{\circ}06'$ 。地貌属梁状丘陵，海拔 $860\sim 1200\text{m}$ ，坡度 $20\sim 25^{\circ}$ ，主沟自西向东全长 2.6km ，宽 1.7km ，流域面积为 2.94km^2 。据宜川县气象资料，年平均气温 9.7°C ，年平均降雨量 584.0mm （试验区 591.1mm ），降雨日数 94 天，降雨分配不均，多集中在雨季的 7~9 月，约占年降水量的 60%，冬季仅占 2%。主要土壤为灰褐色森林土，一般有 $2\sim 3\text{cm}$ 枯落物层，有机质含量丰富，结构疏松，土壤容重为 2.63。土壤机械组成中细颗粒泥沙（ $<0.01\text{mm}$ ）所占比例为 35.0%，其中 $<0.001\text{mm}$ 粒径的细颗粒为 14.4%。地带性植被为暖温带落叶阔叶林，以松栎混交林为顶级群落。由于地处林区边缘，原始森林景观已不存在，落叶阔叶林中辽东栎（*Quercus liaotungensis*）、白桦（*Betula platyphylla*）林仅有零星分布。天然油松（*Pinus tabulaeformis*）林也只在附近有少量保存。目前该地主要植被类型有天然山杨（*Populus davidiana*）林、人工油松林，主要分布在阴坡和半阴坡；阳坡主要有狼牙刺（*Sophora viciifolia*）、山桃（*Prunus davidiana*）等灌丛。此外还有铁杆蒿（*Artemisia sacrorum*）、白羊草（*Bothriochloa ischemum*）等草本群丛。

五年来，在国家林业局科技司的指导下，在陕西省林业厅和安塞县人民政府的关怀和支持下，经科技人员的努力工作，按合同计划完成了各项任务。①初步建立了 2 个水土保持防护林试验示范区（安塞县高玉沟流域和永寿县马莲滩流域）；②营造水土保持试验示范林 50.3hm^2 ，成活率达 88% 以上；③新建径流场 19 个，小流域量水堰 1 处；④设置固定标准地 20 块，修建宣传碑牌 2 座，高标准平整土地 10hm^2 ，举办经济林栽培技术讲座 4 次，新修水井一口，使全村户户用上了自来水；⑤布设有关试验 23 个，同时进行野外补充调查 4 项。总共获得试验观测原始数据 14×10^4 多个，撰写试验调查报告 35 篇，出版了《黄河中游防护林建设与水土保持》一书约 35×10^4 字。⑥在高玉沟流域共营造试验示范林 14hm^2 ，超额完成合同规定任务。在试验示范区初步形成了多林种、多树种、多层次、异龄化的林分结构，使乔、灌、草、带、片、网有机结合，且与农地镶嵌配置的水土保持防护林体系。农林牧生产结构得到合理调整，优化了农村生态经济结构，已初步形成了以防护林为主体，农、林、牧、副各业有机结合，全面发展的多功能、高效益的水土保持防护林体系雏形。

4 研究结果

4.1 水土保持防护林体系营造和持续稳定技术研究

4.1.1 多种植物材料的引种和选择

在安塞县高家峁试区，引种植火炬树、元宝枫、白榆、桑、李子、红枣、银杏、苹果、美国黄松、侧柏、园柏、杜松、白蜡、仁用杏、油松、紫穗槐、鲁梅克斯牧草等 27 个树种或品种。并对现有树种主要水分生理参数进行了测定，采用 PV 技术测定了黄土高原丘陵沟壑区 8 种针叶树的主要水分生理参数（ π_0 = 植物细胞总体渗透压，单位

为 Pa; πp = 细胞质壁分离时的总体渗透压, 单位为 Pa; V_0 = 总自由水含量, 单位为 ml; V_p = 膨压为零时自由水含量, 单位为 ml; P_{vat} = 细胞质壁分离前的平均膨压, 单位为 Pa; RWD = 共质体水损失率, 单位为 %; ϵ = 细胞弹性模数)。其八种针叶树抗旱性能排序为: 侧柏 > 油松 > 杜松 > 圆柏 > 云杉 > 柳杉 > 雪松 > 水杉 (表 1)。

4.1.2 水保林混交模式筛选

4.1.2.1 依据森林培育学、生态学和水土保持学原理, 综合分析各混交方式的生物学稳定性、生产力和水土保持功能。采用反坡梯田、大鱼鳞坑、燕翅型、水平阶等高标准整地, 乔、灌、草结合, 复式混交造林模式, 营造了刺槐 × 侧柏 × 柠条 × 紫花苜蓿、元宝枫 × 油松 × 紫穗槐 × 紫花苜蓿、沙棘 × 油松、油松 × 云杉、云杉 × 沙棘、刺槐 × 侧柏、侧柏 × 沙棘、白榆 × 刺槐、沙棘 × 刺槐、沙棘 × 山杏、沙棘 × 杨树等混交林。各种混交类型生长良好, 均优于对照纯林, 且以沙棘为主要伴生种的混交类型最好。可以在黄河中游丘陵沟壑区推广的混交模式有:

4.1.2.1.1 集流节水高效灌木经济林模式 黄河中游丘陵沟壑区地形破碎, 沟壑纵横, 25° 以上坡地约占耕地总面积的 25%~50%以上, 土壤侵蚀严重, 所产泥沙占总泥沙量的 50%~70%。陡坡立地条件差, 土壤干旱, 大面积种植果树, 不仅成活难、生长差、产量低、品质差, 而且容易死亡。采用集流节水措施增强蓄水保墒能力, 为灌木经济树种创造良好的生长条件, 营造耐旱的灌木经济林, 可将生态与经济效益有机地结合起来, 增强林业自我发展的潜力, 使退耕还林还草得以顺利实施。

采用的主要树种有山杏、山桃、桑树 (果桑)。牧草有草木犀、紫花苜蓿、红豆草等。在坡面沿等高线方向水平开挖宽 1 m 的水平沟 (又称集流拦泥植树沟), 沟深 30~50 cm, 将表土置于沟的上坡, 用心土在外沿筑高 30~50 cm、硬顶宽 40 cm 的埂, 然后将上坡表土回填沟内。水平沟一般长 20 m, 水平方向上两个水平沟间留 1 m 宽的原土带, 以防止水土流失, 提高蓄水保墒能力。上下两带水平沟的间距为 5 m, 其间的 4 m 坡面种草。

山桃、山杏可于秋末土壤结冻前在水平沟内直播, 每穴 2~3 粒种子, 株距 2~2 m。也可植苗造林: 桑树用 2 年生嫁接苗, 在沟内挖深 60 cm, 长、宽各为 40 cm 的栽植坑, 株距 1~2 m, 植苗造林。山桃、山杏发芽出土后要培土。苗高 30 cm 时保留 1 株健壮苗, 摘除其余植株, 或移栽于空穴处。桑树植后应在离地面 7~10 cm 处剪掉苗干, 留 2~3 个芽生长。当年春季不采叶。第二年春蚕用叶后, 可在枝条基部留 2 cm 长剪伐, 即夏剪, 以后年年夏剪, 每株保持 4~6 条。

黄河中游地区的吴旗、志丹、安塞等县从 50 年代就开始栽植山桃、山杏, 吴旗的杏林已占全县有林地面积 30% 以上, 每亩杏树的综合收可达 3000 多元。灌木经济林及其相关产业已成为该县的主导产业。桑树, 不仅是养蚕的主要饲料, 发展丝绸的基础, 同时它的根、果、叶、枝均可入药, 并可制成饮料。

4.1.2.1.2 针阔混交水土保持林模式 黄土丘陵沟壑区年平均气温 $8\sim 10^\circ\text{C}$, 年降水量 400~500 mm 的地区, 可营建刺槐和油松针阔混交水土保持林。刺槐适应性强, 分布广, 栽培面积大。仅陕西省黄土丘陵沟壑区就有 $80 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 且大部分已近成熟、衰退, 急需更替。但刺槐具有根瘤菌, 土壤改良作用大。油松是黄土高原的优良乡土树种, 材质好, 用途广, 但自身的改良土壤能力差, 且火险性高, 又易发生病虫害危害。将油松与刺槐混交, 充分利用种间关系, 用油松更替刺槐, 刺槐促进油松生长, 既可有效地保持水土, 又能改善生态环境。

一般采用反梯田、水平阶或鱼鳞坑整地。油松以 2~3 年生苗为宜,地径 0.5cm 以上、高度 30cm 以上;刺槐用 1 年生苗,地径 0.8cm 以上、根长不小于 25cm、根幅不小于 20cm。以宽带状或块状混交为宜,混交林比例 5:5。如 5 行油松与 5 行刺槐交替栽植。初植密度为每公顷 3000~4500 株左右。造林以 3~4 月份为宜。刺槐截干栽植。油松与刺槐可以同时栽植,也可以在郁闭度 0.3 以下的稀疏刺槐林内栽植油松。

油松栽植当年只能割除穴周杂草,进行浅锄(深度不超过 10cm);第 2 年要锄草扩穴。刺槐栽植当年待新芽发出、长到 10cm 高时要保留一个健壮芽,使之长成主干,将其余芽子摘除。并要松土锄草,每年进行 3 次,连续管理 3 年。

该模式利用刺槐枯枝落叶及根瘤菌的改良土壤功能,提高土壤肥力,促进目的树种油松的生长,从而形成稳定的水土保持防护林,同时也能有效地控制病虫滋生,降低火险。

4.1.2.1.3 集流节水饲料林模式 在黄河中游黄土丘陵沟壑区的梁峁顶、山坡、沟岔、河谷阶地等不同立地类型上均可推广饲料林。在年平均气温 5~10℃,年均降水量 300~500mm,沙壤土至壤土条件下,植被稀疏,饲料奇缺。乔木生长因水热条件限制不能大量造林,宜发展灌木饲料林。

发展商品性的畜牧业是提高黄河中游地区经济效益的途径之一,然而由于自然条件恶劣,气候干旱,加之过度放牧,天然草场破坏严重,产草量低,每公顷草地载畜量仅 0.4 个羊单位。不解决饲料问题,林牧矛盾将会日益突出,造林成果也难以巩固,生态环境也会日趋恶化。因此,营造灌木饲料林,不仅可以缓解林牧矛盾,尽快恢复植被,也为发展畜牧业创造有利条件。

适宜这一地区营造灌木饲料林的树种主要有柠条、沙棘、刺槐等。柠条可用鱼鳞坑整地,沙棘、刺槐可用水平带整地或鱼鳞坑整地。柠条采用直播法,春秋两季均可播种,以雨季直播效果好,覆土 2~3cm,每亩播种量 1.5~2.0kg,株行距 1.0×1.5m 或 1.5×2.0m;沙棘用 1 年生苗春季栽植,株行距 1.0×1.0m 或 1.0×1.5m。柠条播种后 3 年内,应全面封禁林地。3~4 年第一次平茬,以后每隔 2 年平茬 1 次,沙棘第 3 年可放牧。刺槐可行灌木经营,从第 2 年起每年可平茬 2 次,第 1 次在 6 月下旬或 7 月上旬,第 2 次在秋后进行。

4.1.2.1.4 集流节水经济林模式 经济林建园处应选在阳坡、半阳坡或开阔的地段。年平均气温 6~10℃,冬季不低于-25℃,年均降水量 400~500mm,干果类经济林对空气的湿度适应性强,能耐干燥的空气,但对土壤的水分则较敏感,过干、过湿均不利于生长。以土层深厚、有机质多、排水良好的砾质壤土、沙壤土较为适宜,pH 值为 6.2~8.0。

黄河中游黄土丘陵区光照充足,热量资源丰富,昼夜温差大,有利于经济林的生长发育,糖分积累,提高果品质量。在栽培过程中应注意树种选择搭配,整形修剪,调整树势,提高产量。

经济林主要树种有枣、核桃、花椒、山楂、枸杞、苹果、梨、仁用杏、桃、葡萄等。一般采用大坑穴整地,深翻熟化穴土,穴长宽深各 1 m,并提前整地,经过雨、冬季有利于土壤熟化,苗木成活生长。多数经济林春秋均可栽植,春栽宜晚,秋栽宜早。黄土丘陵区以春季为好。密度一般 825 株/hm²,中等 1650~3300 株/hm²,高等 3450~4800 株/hm²。

经济林幼树期间的土壤管理主要是扩大树盘,蓄水保墒,在行间间作豆类或薯类作物;萌芽前追施速效肥,花期叶面喷施 0.3% 尿素 2~3 次,坐果后追施 1~2 次复合肥料,整形修剪以培育良好树势,调节生长与结果的关系,修剪后层次分明,达到冠内外均能受

光,主体结果,增加产量。

4.1.2.1.5 侧柏沙棘防护林模式 侧柏、沙棘都是黄河中游的主要造林树种。侧柏抗寒耐旱,适应性强,能耐 -35°C 的低温,在年均降水量 $200\sim 1600\text{mm}$,年平均气温 $5\sim 17^{\circ}\text{C}$ 的干冷及暖湿气候条件下均能良好生长。有分布广、寿命长、材质好、用途广、耐瘠薄、耐盐碱等特点。沙棘的适应能力更强,它抗寒、抗风沙,并耐干旱和高温,在 -50°C 的严寒地区业可安全越冬,夏季在地面 60°C 的高温下也不致枯死,能在各种土壤上生长,即使在PH值达到9.5的重碱土或含盐量达1.1%的盐碱地上都能生存。

侧柏造林的立地条件差,幼林生长慢,长势弱,而沙棘为非豆科的固氮树种,根生根瘤菌能增加土壤中的氮素,改良土壤,提高肥力。营造侧柏、沙棘混交林后,不论在何种立地条件下,混交林中的侧柏生长量都大于纯林,表现出很好的种间互助关系。这对于促进侧柏幼林生长,增强防护功能,改变生态景观和生态环境都具有非常重要的作用。

一般采用封闭式带状整地,沿等高线开挖 $0.8\sim 1.2\text{m}$ 的水平带(阶),长度一般为 20m (根据地形可长可短)。在水平方向的左右两带间保留 1m 宽的植被带,以利蓄水保墒,防止水土流失,陡坡上采用鱼鳞坑整地。

侧柏用2年生容器苗,如裸根苗必须保持苗根湿润,蘸浆造林;沙棘用1年生苗。可采用行间混交、带状混交或块状混交。混交比例,侧柏与沙棘为 $5:5$ 或 $6:4$ 。侧柏和沙棘的株行距均为 $1.5\times 2.0\text{m}$,每 $3330\text{株}/\text{hm}^2$,或侧柏 $1.5\times 4.0\text{m}$,沙棘 $2.0\times 3.0\text{m}$ 。一般春季造林,侧柏和沙棘可同时栽植,亦可在已栽植数年的侧柏林内外栽植沙棘,或在沙棘林内栽侧柏。

造林后当年要对混交林进行松土除草,扩带扩穴;侧柏幼树不宜修枝,待 $8\sim 10$ 年后开始修枝,并只修去树干基部 $30\sim 40\text{cm}$ 的侧枝。沙棘栽植后第3年可开始平茬以作薪柴用。侧柏沙棘混交林具有显著的生态、经济和社会效益。据永寿县马莲滩流域调查,侧柏与沙棘混交林中的侧柏较纯林中的侧柏,树高增加了 59.0% ,胸径增加了 151.0% ,单株材积增加了 897.8% 。与纯林相比较,混交林中侧柏叶的氮、磷含量分别提高了 41.8% 和 4.0% ,叶绿素含量提高了 33.7% 。侧柏、沙棘混交林的土壤侵蚀量要比纯林减少 95% 。

4.1.2.2 采用油松、侧柏和刺槐为供试树种,配以SA型保水剂,9103菌根菌和不同整地方式(水平阶、鱼鳞坑和大坑穴)等进行抗旱造林研究。结果表明:综合措施造林的成活率、苗木生根数量都明显高于对照。油松、刺槐和侧柏采取综合措施造林后,平均造林成活率分别高于对照 20% 、 21% 和 16% ;平均生根数量分别比对照高 225% 、 156% 和 100% 。在美国黄松造林试验中,针对黄河中游黄土高原丘陵沟壑区土层深厚,蓄存天然降水能力差,容易下渗和蒸发的特点,首次采用了小坑穴($50\times 50\times 50\text{cm}$)双覆膜造林技术(即在小坑穴底层和表层覆膜盖土),在2000年春季严重干旱(1999年10月~2000年5月降雨量仅 27.5mm)条件下,造林平均成活率达 68% 以上,比对照黄泥巴蘸浆和单覆膜造林,提高了 $25\%\sim 40\%$ 。

4.1.2.3 提高整地质量,改善土壤水分状况。整地可以增强蓄水保墒能力,调节土壤温度,促进有机质分解,对减少地表径流,防止土壤侵蚀都具有重要作用。据在延安脑畔山进行的不同整地试验(表2~5)表明,其蓄水拦沙效益均比荒山荒坡明显。

表 2 不同整地方式蓄水保土效益比较

整地方法	产流次数	径 流 量		冲 刷 量	
		m ³ /km ²	相当于荒坡/ %	t/km ²	相当于荒坡(%)
水平沟	1	1000	1.7	10.4	0.6
水平阶	5	15000	24.9	212.8	13.1
鱼鳞坑	7	5000	8.3	88.7	5.5
荒 坡	20	60250	100.0	1623.6	100.0

表 3 不同整地方式蓄水保土效能比较

整地方法	初渗量 (mm)	自身贮水量 (mm)	水保面积占总面积的比例 (%)	贮存降水量(mm)
鱼鳞坑	15	100	10	12
水平沟	15	100	15	17
反坡梯田	15	150	40~70	24~46
荒 坡	0	0	0	1

表 4 不同整地方式对土壤含水量 (%)的影响

土壤深度		10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
整地方式						
鱼鳞坑 (100×50×50cm)		12.1	12.9	13.3	13.7	14.4
水平阶(120×50cm)		16.4	17.2	17.9	18.3	18.9
小坑穴(50×50×50cm)		8.3	10.2	11.1	11.6	12.3

表 5 高玉沟流域不同整地方式土壤含水量 (%)随季节的变化

土壤深度		10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
整地方式						
鱼鳞坑	春	14.1	16.6	16.4	17.1	17.7
	雨	16.4	17.2	17.9	18.3	18.9
	秋	13.7	14.3	15.1	16.4	17.2
水平阶	春	10.8	11.4	11.8	12.2	13.1
	雨	12.1	12.9	13.3	13.7	14.4
	秋	11.6	10.7	11.3	12.1	13.4
小坑穴	春	6.1	9.4	10.1	10.7	11.1
	雨	8.3	10.2	11.1	11.6	12.3
	秋	7.1	9.1	10.9	11.4	11.6

4.1.3 小流域水土保持防护林体系优化模式研究

水土保持林体系在小流域的配置主要是指林种或树种的水平配置和立体配置。所谓“水平配置”是指水土保持林体系内各个林种在流域范围内的平面布局 and 合理规划。根据各林种的经营目的、树种的生物学特性和立地条件，确定适当的林种、树种、及混交模式；依据防止水土流失和改善生产条件，以及立体经济开发的需要和土地质量、植物种生物学、生态学特性等，对刺槐、油松、侧柏、元宝枫、仁用杏、火炬树等树种根据小流域微景观结构，在阳安沟布设了沟坡水土保持林、沟坡水保薪炭林、沟头

防护林、梁峁顶防护林、沟底防冲挂淤林、梯田埂林、沟道河床固岸林等。并随机地进行了块状混交。通过小流域水土保持林体系立体配置试验,探索出黄河中游地区小流域防护林体系合理布局的优化配置模式(表6)。即,在安塞县高玉沟流域,林种的科学配置参数为:荒坡水土保持林 27.4%、固坡林 18.8%、沟头防护林 15.0%、梁峁顶防护林 13.8%、沟底防冲林 12.6%、梯田埂林 6.2%、沟槽固岸林 6.2%。

表 6 黄土丘陵沟壑区小流域防护林体系水平配置优化模式

	合计	梁峁顶 防护林	荒坡 水保林	梯田 地埂林	沟头 防护林	沟边 固岸林	沟底 防护林	固坡 林
比例(%)	100.0	13.8	27.4	6.2	15.0	6.2	12.6	18.8

小流域水土保持防护林体系的优化模式最终要达到流域内人工生态经济系统的持续、稳定和高效发展。根据黄河中游地区微景观结构、立地条件和水土流失规律,结合因害设防、因地制宜、适地适树(品种、类型)、因需种植的原则,在安塞县丘陵沟壑区的优化配置模式为:一田两带,实施四大工程。即,在丘陵顶部,坡度比较平缓的地方,实施农田水利工程,修建基本农田和窖灌农业,有条件的地方可以抽水进行滴灌和喷灌。在山坡中部实施经济林果工程,采用集流节水技术,发展山桃、山杏、苹果、仁用杏等经济林。在沟坡和沟底,实施水土保持工程,发展刺槐、油松、柳树、沙棘等水土保持防护林。在全流域实施封山育林,调整畜禽结构,围绕村庄房舍大力推广舍饲养殖。

4.1.4 黄河中游防护林体系林种、树种优化配置

黄河中游防护林体系建设以保持水土为主要目的。本区面积广阔,地貌类型复杂多样,气候差异悬殊;不仅造林树种不同,而且在防护林林种的配置方面也各异(表7)。主要的有:

4.1.4.1 梁峁顶部防护林 拦蓄自然降水,减少径流对下部农田、草场的冲刷。

(1)梁顶防护林:

①宽梁梁边林带:宽梁的顶部地形平坦,为农业生产基地,防护林只能配置在梁的两侧边缘部位,可栽 2~3 行经济效益较高的经济林木,并与工程措施相配合防止径流沿梁边下泄。

②窄梁全面防护林:窄梁形如山脊,难于被农业利用,可全面造林。

(2)峁顶防护林:

①峁边林带:峁顶多被开垦为农地,防护林可沿峁边线配置 5 行以上灌木林带,以防止峁顶水土流失。

②峁顶全面防护林:未耕种的峁顶可全面造林。

4.1.4.2 斜坡坡面防护林 这里的斜坡坡面指梁坡、峁坡及塬坡,坡面由于坡度及土地利用情况复杂,坡面防护林的配置也是多种多样。

(1)全坡面防护林 对于农业没有利用的坡面应全面造林(或种草),此种坡面防护林要与梁、峁顶部防护林连成一片。全面造林的坡面不仅对斜坡坡面本身起到固定作用,而且对梁峁顶部、塬面及斜坡以下的沟坡侵蚀起到缓冲作用。

(2)镶嵌式防护林 斜坡坡度较缓或坡面较完整的地方已被开垦种植,而地形破碎或坡度较陡处为荒坡,可将农业未利用的荒坡(不论其面积大小)进行造林种草,形成林地或