

黄土高原沟壑区生态系统适度生产力 与生态环境协调发展研究^①

郝明德, 党廷辉, 刘冬梅

(中国科学院 水利部 水土保持研究所, 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以黄土高原沟壑区的典型代表地区长武王东沟小流域为研究对象, 分析提高黄土高原沟壑区生态系统生产力途径及对生态环境的影响, 建立保证生态安全 食物安全的生物保护技术体系, 建立黄土高原沟壑区高效 安全和可持续农业生态系统, 为黄土高原地区提供农村生态经济系统发展模式, 解决黄土高原沟壑区经济发展中人口-资源-环境协调发展问题, 为国家对生态环境安全及生态环境建设决策提供科学依据。

关键词: 生态系统; 适度生产力; 生态环境

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7601(2003)01-0094-04

黄土高原沟壑区由于自然及历史原因, 水资源贫乏, 干旱、土壤退化等问题严重, 是我国人口、资源、环境矛盾最集中、治理难度最大的区域之一, 也是世界上水土流失严重地区之一。严重的水土流失引起土地生产力下降, 使该区丰富的土地资源没有得到充分利用, 直接影响区域经济社会的可持续发展。经过以流域为单元的水土保持治理, 部分流域已进入生态系统的良性循环阶段, 但未能从全局上根本扭转生态环境日益恶化的局面。一些地方重开发轻保护、边建设边破坏现象十分严重。由于黄土高原自然环境条件复杂, 整个区域的生态环境依然十分脆弱, 农业持续发展与生态环境恶化的矛盾依然十分严峻。该区历史上人类生存和发展的主要问题是粮食供应紧缺, 解决好粮食生产与生态环境的矛盾是该区社会发展的重要科学问题。

1 国内外研究进展及黄土高原综合治理现状

国外在农业生产与生态环境保护方面积累了丰富经验, 主要以改善生态环境为主, 提高生态系统结构和功能的稳定性及保护生物多样性等。如日本是一个多山多灾的国家, 由过去的灾害防治为主发展到以保护生态环境为主, 减少农用化工品用量, 生产指标以优质为前提, 积极发展环境保护型农业。美国农业生产主要采用等高耕作措施和地面保护措施, 将水土保持生物措施纳入农业耕作体系。德国提倡

有机农业或自然农业, 把环境保护作为改善人民生活的重要措施。其共同特点是主要以改善生态环境为主, 保护优先于利用。在提高生态系统生产力研究上, 中国处于一个较为独特的地位。中国以7%的土地养活了22%的人口, 与土地面积辽阔的美国、加拿大、澳大利亚不能相比, 就是与人口高密度的日本也不能相比。日本森林覆盖率达到68%, 不宜种粮的地方全部种林, 即使适宜种粮的地方也因追求生态效益而造林, 生态效益远高于经济效益。

国外区域水土保持与生态环境建设操作起来要比中国简单得多, 我们面对的是这么一个现实: 自然资源匮乏, 土地生产力低下, 生态环境恶化, 且无强大的工业与科学技术后盾, 加之农民的文化素质低, 经济条件差, 水土流失最严重的地方也是贫困的地方, 农民的环保意识差。国家从“六五”开展的黄土高原综合治理, 针对黄土高原地区严重的水土流失造成的土地退化、土地产出率低、经济发展缓慢等突出的问题进行综合试验研究, 推行以小流域综合治理为单元的区域综合开发治理, 在水土流失治理与生态环境建设方面取得了明显进展, 提高了系统的整体功能和效益。由于黄土高原地区生态系统的复杂性, 人口-资源-环境矛盾突出, 保证粮食基本自给, 提高该区域生态系统生产力和生态系统的稳定性, 需要同时解决人类生存和生态安全问题, 已成为西部大开发和生态环境建设的首要任务。建立具有中国特色的区域水土保持与生态环境建设的模式,

① 收稿日期: 2002-10-31

基金项目: 中国科学院知识创新方向性项目(KZCX2-413); 国家科技攻关项目(2001BA508B18)

作者简介: 郝明德(1957-), 男, 陕西华县人, 研究员, 博士生导师, 从事黄土高原综合治理与土壤肥力研究。

本身就是对人类社会的巨大贡献。

国家对西部生态环境建设的要求是“再造一个山川秀美的西北地区”, 科研任务是“对黄河防洪、水资源利用、生态环境建设有重大影响的关键科技问题, 要重点攻关, 力争取得新的突破, 为治理开发黄河提供有力的科技支撑。”特别是朱基总理提出“退耕还林(草), 封山绿化, 个体承包, 以粮代赈”的战略措施, 为西部区域可持续发展提出了新的思路与途径。响应江泽民总书记 2002 年 3 月 31 日和朱基总理 1998 年 8 月 7 日视察水保所时的指示精神, 把重心放在解决西部大开发和生态环境建设中出现的难点、热点问题上, 为地方经济发展做贡献, 为区域生态环境建设提供科学依据。

2 黄土高原农业生产中存在的问题

1) 黄土高原沟壑区依靠 500~600 mm 降水从事农林生产, 历史上是旱作低产区。过去, 农业生产和农业科学研究, 一直以追求粮食高产为目标, 这是当时社会经济发展和生产水平所决定的。为了解决粮食问题, 历史上主要靠扩大粮田增加粮食总量。虽然该区人均土地资源占有量较全国平均水平高, 但总体质量不高, 土地生产力低下, 常常陷入“越穷越垦, 越垦越穷”的恶性循环。随着人口压力的增加与土地资源的日益减少, 依靠扩大耕地面积来增加粮食总量的潜力很小, 现有的耕地资源将承受越来越巨大的压力。20 世纪 70 年代以来, 解决途径主要是增加农用化工品用量, 通过投入大量化肥来提高粮食产量, 弥补耕地资源的不足, 导致农药、化肥使用不合理, 营养元素随水分淋溶下渗在土壤深层累积, 或随径流迁移进入地下水源和河流, 导致肥料利用率下降, 对土壤环境质量带来影响。

2) 该区对土地生产力的调控措施主要是通过轮作、轮牧方式, 提高土地资源利用效率, 发挥土地最大生产潜力。以高产为目标, 在高投入、高生产力的情况下, 黄土高原的旱作农田近年来作物产量大幅度提高, 土壤生态环境发生了变化。根据长期定位试验监测, 高产农田(小麦产量超过 $3\ 750\ \text{kg}/\text{hm}^2$) 作物耗水量增多, 降水入渗深度变浅, 降水年入渗深由 224 cm 减少到 110 cm, 高产农田最大渗深 160 cm, 农田水分垂直渗漏几乎不可能发生。作物耗水层加深, 使 1~3 m 土层相对干燥出现干层, 在人工草地(苜蓿), 情况则更为严重, 1~10 m 通体干燥化。土壤水分得不到有效补给, 从而导致土壤干燥化, 林地、人工草地和农田出现土壤深层干燥化条件下, 当年降水量成为当年植物生长量的水分供体,

“土壤水库”长期入不敷出, 失去调蓄功能, 土壤对年际或季节性干旱的调节能力降低, 降低了农业生态系统抗灾减灾能力, 影响了生产力的稳定性和可持续性。

3) 黄土高原沟壑区是苹果的适生区, 20 年来, 以苹果为主的果业迅速发展, 已成为重要的果业基地。数千万公顷苹果的种植, 不仅增加了黄土高原植被, 改变了生态环境, 给农村经济发展带来活力, 而且成为当地农民收入的主要来源。在干旱条件下, 随着苹果种植面积的扩大, 水资源不足已明显地制约着苹果的产量和品质, 使该区的苹果产业持续发展面临严峻的挑战。面对这种形势, 急需采取相关的应对关键技术, 对促进该区果业持续发展、巩固农民增收有着重要的战略意义。

3 以王东沟小流域为单元的综合治理后形成的新问题

20 世纪 70 年代以来, 开始在王东沟小流域开展水土保持治理, 主要措施是填平塬面胡同、修道路、平整土地、缓坡修梯田、28 以下的梁坡或塬坡修窄捻、方田林网化、沟谷种树造林, 水土流失得到明显控制。20 世纪 80 年代以来开展以流域为单元的大规模综合治理, 在原有基础上完善水土保持工程、生物措施, 工程措施主要是完善塬边、塬畔水平梯田和地边埂、建立村庄道路防护体系、沟坡道路防蚀工程, 生物措施是完善塬边和坡地防护林网、造林种草、调整种植结构、营造经济林和提高作物产量等, 综合治理结果是农、林、牧用地比例由 1985 年的 55.42:3 调整为 1990 年的 45.49:6, 粮食总产量较“六五”增长 51.6%, 土壤侵蚀模数下降到 $1\ 050\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。“八五”和“九五”期间流域综合治理以生物和农业措施为主, 全流域植被覆盖度进一步扩大, 其中塬坡、梁坡、沟坡乔灌、草地盖度都在 70% 以上。经过 15 a 科技攻关, 王东沟小流域试验示范区初步建成了农业生态经济系统, 为区域水土流失治理与生态环境建设、生产建设提供了技术与理论依据。农村产业结构由历史上以种植业为主的一元结构, 改变为种植业、果业、工副业三元结构; 形成旱地农业增产技术体系, 最佳施肥量与良种相结合, 辅之以相应耕作措施, 在连续干旱的气候条件下, 粮食生产 15 a 平均产量 $4\ 170\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 居同类地区较高水平; 建立农田防护林、沟坡经济林、沟谷水土保持林体系, 林草覆盖率达 45%, 其中农田防护林占 5%, 经济林占 15%, 水土保持林占 20%, 草类占 5%, 林草配比合理, 在沟坡地带重点发展以苹果为

主的果业, 占农民收入的1/3以上, 成为农民收入的主要来源; 进行不同类型区土地利用模式的优化配置, 提出了以小流域为单元的区域综合开发治理模式, 土壤侵蚀模数连续 10 a 稳定在 $800 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以下, 提高了系统的整体功能和效益, 取得了明显的生态与经济效益。但以小流域为单元的综合治理, 改变了流域下垫面状况, 在高投入、高生产力的情况下, 生态环境发生了变化:

(1) 以流域为单元的综合治理, 改变了流域下垫面状况, 引起水循环的变化。区域生态系统水分循环是大气—土壤—作物模式, 不参与地下水循环。植被增加和果树面积扩大增强了水分小循环而削弱水分大循环。多年生林草植被的蒸散量大于年降水量, 其亏缺部分依靠吸取土壤深层水分来补充, 其结果是在 $1 \sim 10 \text{ m}$ 深度形成下伏土壤干层, 干燥程度随树龄草龄增长而加强。多年累计土壤水分亏缺量可达 $1\ 000 \sim 1\ 500 \text{ mm}$ 。亏缺水量一方面限制了植物的进一步生长, 成为小老树, 另一方面阻止了水分下渗对地下水的补给, 减少了地下径流。扩大人工林草植被在减少地表径流的同时, 因蒸发蒸腾量增加, 促进土壤干燥化, 从而阻断地下水补给, 减少总径流量。尽管目前黄土高原治理对减少河川径流的绝对量还不大, 但随着水土保持治理工作的大规模开展, 对河川径流量的影响将达到一个不能忽视的程度。

(2) 在以高产为目标, 在高投入、高生产力的情况下, 提高黄土高原生态系统生产力水平, 即提高作物与果业产量。长期连续的肥料高投入或不平衡使用, 营养元素随水分淋溶下渗在土壤深层累积, 或随径流迁移进入地下水源和河流, 带来肥料资源浪费和对土壤环境质量带来影响。受降水年型影响, 肥料利用率波动性大。氮肥利用率为 $6.4\% \sim 61\%$, 磷肥利用率为 $3.7\% \sim 19.8\%$, 氮磷不平衡、过量施用氮肥会导致 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 深层累积。在氮肥单独施用的条件下, 氮肥用量超过 $55 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 时, 则开始出现硝态氮累积, 且氮肥用量越大, $\text{NO}_3^- \text{N}$ 累积越多, 土壤剖面中存在 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 最大累积量达到施用量的 42.3% , 最大累积在土壤深层 $100 \sim 180 \text{ cm}$ 区间, 合理配施磷肥则可有效减少 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 累积量。在氮磷配合施用的条件下, 低氮水平土壤剖面均未出现 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 的累积, 而高氮水平 ($135 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 以上) 则出现 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 的明显累积, 累积峰出现在土层 140 cm 左右。对施肥量与土壤剖面 $0 \sim 400 \text{ cm}$ $\text{NO}_3^- \text{N}$ 总含量进行偏相关分析, $\text{NO}_3^- \text{N}$ 累积量与氮肥用量呈极显著正相关 ($r = 0.785^{**}$, $n = 17$), 而与磷肥用量呈显著负相关 ($r = -0.575^*$, $n = 17$)。氮磷配

施是提高氮肥利用效率, 降低 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 残留与积累的重要措施。但磷肥施用则被土壤大量固定形成富营养层, 难于被植物利用, 带来肥料资源浪费和潜在的生态环境问题。在小流域尺度上, 水土保持治理度、植被覆盖度和生产力水平的日益提高, 对农业产业结构和粮食生产潜力与水分养分供需平衡产生深刻影响。为了保障我国的食物安全, 即保证食物总量和食物的质量持续供给, 必须确保通过改善土壤质量以提高作物单产和品质, 通过改善土壤质量提高土壤肥力, 保障食物安全供应和保护生态环境。

4 开展农业生态系统适度生产力与生态环境协调发展研究

黄土高原农业生态系统适度生产力及其生态环境效应, 是当前实施西部大开发和生态环境建设中急需回答的问题。目前人们多从人口最大承载力、畜群最大承载力角度考虑, 多从生态移民、控制畜群规模角度进行, 以减轻对生态环境的压力, 但较少从土地生物量超载角度探讨农业生态系统适度生产力的问题, 较少注意到农业生产与生态环境协调发展的问題。所以, 实施西部大开发和生态环境建设应从可持续发展的角度, 研究实现有限资源的持续利用技术, 即持续发展战略要求同步实现双重目标, 即在提高土地生产力的同时, 确保生态环境良性发展。

1) 由单纯以追求高产为目标的农业生产, 应调整为适度产量目标。如以小麦生产为主的黄土高原沟壑区产量控制在 $3\ 750 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 左右, 减少肥料用量特别是氮肥用量, 以减缓土壤下伏干层的形成, 避免土壤深层富营养层形成, 使之与生态环境相协调。由于黄土高原沟壑区生态系统本身的复杂性, 人口—资源—环境矛盾突出, 人口密度达 $250 \sim 300 \text{ 人}/\text{km}^2$, 人均粮田 0.08 km^2 , 该区域长期面对的现实是需要保证粮食基本自给, 同时解决人类生存和社会发展对生态系统产生的重要影响。

2) 开展不同土地生产力对土壤生态环境影响程度研究。揭示土地生产力与土壤水分、养分变化的关系, 农业生产对水分、养分供需平衡产生的影响, 开展不同降水年型农业生态系统适度生产力的综合研究, 研究在农业生产中不同阶段生产力的演变过程及人类活动对生态环境影响程度, 合理有效地利用自然资源, 建立不同降水年型粮食作物丰产抗灾技术体系, 作到粮食基本自给。

3) 实施水土流失治理与生态环境建设措施必须结合农民致富需求。通过建设塬面高产农田、沟坡生态果园、沟谷水土保持防护林等措施, 建成塬面农

田防护林体系、沟坡经济林体系、沟谷水土保持林体系, 保持高原沟壑区小流域生态环境安全, 实现了农业生态系统的高效与相对稳定性, 改善农村的生态环境。

4) 在黄土高原沟壑区从农业生态系统角度, 以生态安全为目标, 维持黄土高原沟壑区生态系统适度生产力并持续发展, 建立高效、安全的生态经济系统, 保证食物总量和质量安全和生态环境安全是我们迫切需要解决的问题。

参 考 文 献:

- [1] 傅伯杰, 陈利顶. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响[J]. 地理学报, 1999, (3): 241- 246.
- [2] 李玉山, 苏陕民. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991.

- [3] 李玉山. 旱作高产田产量波动性和土壤干燥化[J]. 土壤学报, 2001, (8): 353- 356.
- [4] 李玉山, 孙俊杰. 中美小流域治理和农业的对比研究[J]. 水土保持通报, 1993, (1): 11- 15.
- [5] 宋桂琴. 黄土高原土地资源研究的理论与实践[M]. 北京: 水利水电出版社, 1996.
- [6] 郝明德, 梁银丽. 长武农业生态系统结构功能及调控原理与技术[M]. 北京: 气象出版社, 1998.
- [7] 傅伯杰, Donald A Davidison. 土地资源评价信息系统[J]. 水土保持学报, 1989, (1): 1- 9.
- [8] 陈宜瑜. 中国全球变化的研究方向[J]. 地球科学进展, 1999, (4): 319- 323.
- [9] 刘晓宏, 田梅霞, 郝明德. 黄土高原长期轮作施肥土壤剖面硝态氮的分布与积累[J]. 土壤肥料, 2001, (1): 9- 12.
- [10] 樊军, 郝明德, 党廷辉. 长期施肥对黄土高原土壤剖面养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, (3): 249- 254.

Research on appropriate productivity and harmonious development of eco-environment

HAO Ming-de¹, DANG Ting-hui¹, LIU Dong-mei²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water

Resources, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi, 712100;

2. College of Agriculture, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi, 712100, China)

Abstract: Using Wangdonggou watershed which is a typical area in the gully region of Loess Plateau as a research base, this paper analyzes the ways to improve eco-system productivity and their effect on eco-environment, establishes highly effective, safe, and sustainable agricultural eco-system, and forms the biological system with eco-safety and food safety. It may improve the harmonious development of people, resources, and environment in the gully region of Loess Plateau, and provide the model of agricultural, ecological and economic development and the scientific measures for the state government.

Key words: eco-system; appropriate productivity; eco-environment