



黄土高原旱地农业

—— 理论、技术、潜力

胡恒觉 张仁陟 黄高宝 等 著

中国农业出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

黄土高原旱地农业

——理论、技术、潜力

胡恒觉 张仁陟 黄高宝等 著

中国农业出版社

**DRYLAND FARMING
FOR LOESS PLATEAU
——Theory Technology Potential**

BY

Hu Hengjue Zhang Renzhi and Huang Gaobao et al.

China Agriculture Press

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原旱地农业:理论、技术、潜力/胡恒觉等著.
北京:中国农业出版社,2002.8

ISBN 7-109-07631-8

I. 黄... II. 胡... III. 黄土高原-旱作农业-研究 IV. F329.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 018706 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:傅玉祥

责任编辑 赵立山

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月北京第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:26

字数:578 千字 印数:1~1 500 册

定价:100.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误,请向出版社发行部调换)

内容简介

本书系黄土高原旱地农业系统研究的综合性专著，集理论与技术为一体，实践性与战略性并重。全书分 10 章：第一章从生态系统的角度简明阐述了黄土高原旱农生态系统的结构、特征、稳态机制及其调控理论与重点；第二章至第四章系统论述了土壤水分有效性及其调控原理与技术，水肥耦合互馈效应及耦合机理；第五章系统论述和介绍了现代集水农业的理论、技术、问题及对策；第六章从盐化土壤的理化特征出发，阐述了土壤次生盐渍化的发生机理及其预防和改良利用；第七章重点介绍了种植制度及蓄水保墒耕作技术；第八章以理论研究为重点，论述了黄土高原主栽作物高产、高效及抗旱栽培技术；第九章与第十章从生态环境重建及可持续发展角度，论述了黄土高原旱地农业发展潜力及对策和方略。

全书具有极强的系统性、可操作性、创新性和战略性，可供科研单位、高等院校、决策部门、产业部门等有关人员参考。

Introduction

This is a comprehensive book about a systematic study on dryland farming in Chinese loess plateau, which integrated with theory and technology, focusing both on practicality and strategy. The book includes 10 chapters: Chapter 1 clarifies the structure, characteristics, stable mechanisms and their regulation theory for the ecosystem of dryland farming. Chapters 2~4 discuss soil water availability and its regulation fundamentals and techniques, as well as water-fertilizer incorporation effects and their mechanisms, respectively. Chapter 5 systematically introduces the theory, techniques, problems and their countermeasures of modern water harvest agriculture. Chapter 6 explains formation, physicochemical properties, amelioration and utilization of secondary saline soils, and prevention of secondary soil salinization. Chapter 7 introduces cropping system and soil moisture preserve techniques. Chapter 8 interprets the high-yield and high-efficiency and drought resistance cultivation practices of several main crops. Chapter 9 is related to the potentials, policies and countermeasures of the development of dryland farming in the Chinese loess plateau, and chapter 10 discusses the severe problems of ecological environment and macro strategies of ecological reconstruction.

The book has the characteristics of systematism, practicality, creativity and strategy, and can be a reference to related personnel involved in research units, colleges, policy-making bodies and industrial departments.

编 写 人 员

胡恒觉	张仁陟	黄高宝	牛俊义
李小刚	张恩和	柴守玺	蔺海明
王立	柴强		

序

形成于 240 万年前的黄土高原，是中华民族 5000 年文明史的发祥地，以占全国陆地面积的 6.5%，耕地面积的 12.7% 养活着占全国 6.2% 的人口，集中分布着我国大部分的贫困地区，旱地农业是该区农业经营的主体。由于自然和社会方面的原因，加之严重的水土流失，黄土高原又是我国生态环境最脆弱的地区之一，不仅严重影响着该区农业的持续发展，而且影响着黄河下游的安全问题。面对 128 人 / km² 的承载压力，以耕耘农业为主要特征而兴起的黄土高原旱作农业的发展与生态环境保护的矛盾变得越来越尖锐，建立在可持续发展基础上的现代生态型旱作农业成为黄土高原农业发展的重大命题。从江总书记提出“再造一个山川秀美的西北地区”，朱总理提出“退耕还林（草）、封山绿化、个体承包、以粮代赈”的生态建设 16 字措施，到党中央国务院明确提出“西部大开发”战略，黄土高原旱作农业的发展进入了一个新的历史阶段。

黄土高原地区旱作农业的发展，学术界和生产部门在总结传统旱农经验的基础上，进行了卓有成效的探索和激烈的争论，20 世纪 50 年代生物措施与工程措施之争，60 年代水肥之争，70 年代有机与无机之争，80 年代耕地与非耕地之争，90 年代水土保持型农业与径流农业之争，其焦点是如何提高旱作农业用水的有效性，其核心是改善生态、提高农业综合生产力，其效果是目前基本解决了旱作农区人民的温饱问题。那么在基本解决温饱的基础上，如何实现既致富，又保护水土资源，恢复植被，可持续发展的目标，是这一地区 21 世纪面临的重大问题。

以胡恒觉教授为首的学术集体，从 20 世纪 80 年代初期开始，就在黄土高原半干旱丘陵沟壑区的典型代表——定西鹿马岔小流域开展旱农生态系统的综合研究工作，90 年代将研究区域进一步拓展到黄土高原半湿润偏旱残塬沟壑区，十多年来集多学科联合攻关的优势，坚持农、林、草、牧综合发展，生态经济良性循环的指导思想，在旱作农业的理论和实践方面都取得了卓有成效的进展，特别是“以肥调水—提高单产—退耕还林（草）—稳定生态—养畜增收—全面发展”的理论以及“良种 + 梯田 + 补灌 + 地膜 + 化肥”为主的技术体系对指导黄土高原旱作农业的可持续发展具有重大的学术价值和实际应用价值，对旱农学科的发展和旱农人才的培养做出了重要的贡献。

《黄土高原旱地农业——理论、技术、潜力》是这一学术集体在旱作农业研究领域的又一力作，涉及旱农生态、土壤水分、水肥耦合、抗旱生理、旱作栽培、农作制度、次生盐渍化预防、生产潜力、集水农业、生态建设等诸多方面，具有很强的系统性、理论性、可操作性和战略性，是一本有深度和广度的好著作。适逢新世纪新千年伊始之际，我愿把她推荐给有志于黄土高原开发和保护的广大读者，让我们借西部大开发的千载良机，共同作好黄土高原这篇大文章。让“旱、薄、粗、单、低、穷”的黄土高原在新世纪成为历史。再造一个山川秀美、富庶文明的黄土高原。

卢良恕

2001年1月3日

前 言

黄土高原是世界上黄土分布面积最广、厚度最大、黄土地貌发育最典型的地区。黄土疏松，透气、透水性能好，富含多种矿物质，适合各种植物生长。因此，黄土高原成为世界四大农耕文化的发祥地之一。

旱地是黄土高原农业经营的主体。长期以来，对农业系统“索取”大于“给予”的掠夺式经营，使农业发展与生态脆弱的矛盾日趋尖锐。黄土高原旱地农业必然要求新的可持续发展道路。值此新世纪来临之际，国家西部大开发战略初步实施之时，我们集数十年以甘肃黄土高原为典型代表，在旱农地区开展的大量科学研究及生产实践之成果，撰写了《黄土高原旱地农业——理论、技术、潜力》，作为对新世纪的献礼，以期为黄土高原及其类似地区充分发挥资源优势，提高资源利用率，保护和重建生态环境，发展可持续农业，整体推进区域社会、经济、生态三大效益的协调发展提供理论依据和可操作技术。

本专著共 10 章，约 55 万字。第一章从生态系统的角度简明阐述了黄土高原旱农生态系统的结构、特征、稳态机制及其调控理论与重点；第二章至第四章系统论述了土壤水分有效性及其调控原理与技术，水肥耦合互馈效应及耦合机理；第五章系统论述和介绍了现代集水农业的理论、技术、问题及对策；第六章从盐化土壤的理化特征出发，阐述了土壤次生盐渍化的发生机理及其预防和改良利用；第七章重点介绍了种植制度及蓄水保墒耕作技术；第八章以理论研究为重点，论述了黄土高原主栽作物高产、高效及抗旱栽培技术；第九章与第十章从生态环境重建及可持续发展角度，论述了黄土高原旱地农业发展潜力及对策和方略。

本专著主要有以下特点：①比较系统地研究和论述了黄土高原旱地农业问题，包括旱农生态、土壤水分、水肥耦合、抗旱生理、栽培技术、耕作技术等，是数十年科研成果的综合集成，内容具有系统性；②针对黄土高原旱农生产的具体问题，以理论研究为重点，在此基础上进行宏观归纳和实践验证，在实践上具有可操作性和宏观指导性；③研究提出了一系列新的理论观点和方法，在理论上具有创新性；④从生态环境建设角度系统论述了黄土高原农业持续发展的潜力和开发对策，论述具有战略性。

本专著资料来源主要是作者主持完成的国家科技部、水利部、甘肃省科

技厅等部门先后分别资助的十余项攻关课题和相关博士学位论文，也参考了有关兄弟单位的部分研究成果。书稿主要由我多年来培养的博士及部分在读博士生完成。卢良恕先生在百忙中为本专著写了序。刘巽浩先生对本专著的章节编排及内容提出了宝贵的建设性意见。陈士宾先生审阅了部分章节，并提出了宝贵的修改意见。中国农业出版社及本专著责任编辑给予了大力支持和帮助，为本专著的出版付出了辛勤的劳动。陈垣博士及部分在读研究生在资料收集、整理及文稿校对等方面给予了许多帮助。在书稿付梓出版之际，谨向支持和关怀本专著出版的所有部门和先生表示诚挚的谢意。

参加本专著撰写的有：博士生蔺海明（第一章）、张仁陟博士（第二章至第五章）、博士生李小刚（第六章，并参与了第二章、第三章部分内容的撰写）、张恩和博士（第七章）、柴守玺博士和博士生牛俊义（第八章）、黄高宝博士（第九章至第十章）。王立副教授及博士生柴强参与了第九章、第十章部分内容的撰写。张仁陟博士和黄高宝博士进行了初步统稿，最后由我审订修改。

本专著既可供科研单位、高等院校作为教学、科研参考用书，又可供决策部门、产业部门参考，也可供领导决策及技术人员参考。鉴于著者水平有限，加之研究资料时间跨度大，缺陷及纰漏之处在所难免，敬请广大读者及同仁批评指正。

胡恒觉

2000年12月25日于兰州

PREFACE

The loess plateau, situated in the center part of China, features with the largest distribution and thickness of loess deposit, as well as the most typical landforms of loess in the world. Loess soils, with the properties of porous, good permeability and many minerals, are fit for many crops growth. For this reason, the loess plateau is one of birthplaces for agro-civilization.

Dryland is the main body for agricultural management in the loess plateau. In long history, the contradiction between agricultural development and ecological environment become more and more acute/sharp, because of plunder-like management. Now, It is necessary to seek for a new sustainable developing way for dryland farming of loess plateau. On the crossing of the new century and the beginning of the "Large Scale Development of Western Part of China", we have compiled the "*Dryland Farming for Loess Plateau-Theory, Technology, Potential* ", as an excellent present to the new century. The book is based on a great deal of research results and practices, obtained and carried out for decades in the typical model loess plateau of Gansu. We hope our work could provide some theoretical fundamentals and practical techniques for raising natural resource use efficiency, preserving and reconstructing eco-environment, and developing sustainable agriculture, not only in the similar regions of Chinese loess plateau but also in the other parts of China, so as to give a fresh impetus to the harmonious development of society, economy and ecology.

There are altogether 10 chapters in the book with about 550 thousand words. Chapter 1 clarifies the structure, characteristics, stable mechanisms and their regulation theory for the ecosystem of dryland farming. Chapters 2~4 discuss soil water availability and its regulation fundamentals and techniques, as well as water - fertility incorporation effects and their mechanisms, respectively. Chapter 5 systematically introduces the theory, techniques, problems and their countermeasures of modern water-harvesting agriculture. Chapter 6 explains formation, physicochemi-

cal properties, amelioration and utilization of secondary saline soils, prevention of secondary soil salinization. Chapter 7 introduces cropping system and soil moisture preserve techniques. Chapter 8 interprets the high-yield and high-efficiency and drought resistance cultivation practices of several main crops. Chapter 9 is related to the potentials, policies and countermeasures of the development of dryland farming in the Chinese loess plateau, and chapter 10 discusses the severe problems of ecological environment and macro strategies of ecological reconstruction.

This book may be imbued with the following characteristics: (1) By collecting decades research results, including dryland farming ecology, soil moisture, water-fertility incorporation, drought resistance physiology, cropping and tillage techniques etc. many aspects of dryland farming in the loess plateau explained in a systematic way. (2) In the light of concrete problems of dryland agricultural production, through theoretical researches and practical verification, some principles and measures of manipulation and guidance are presented. (3) Some viewpoints and methods could be innovated of dryland farming development. (4) In term of eco-environment construction, potentials and policies of sustainable dryland farming in the loess plateau are analyzed. This takes strategic role in promoting the whole loess plateau development.

The research data in this book are from several projects, which were funded by Ministry of Science and Technology, Ministry of Water Resources, and Gansu Bureau of Science and Technology, respectively, and theses for doctoral degree and some research data of other departments. Several doctors and PH. D. students, who all are supervised by me, write the book. Mr. Lu Liangshu was invited to write an introduction article for this book in his busyness. Mr. Liu Xunhao made valuable and constructive suggestions for the content and the arrangement of chapters and sections. Mr. Cheng Shibing went over some chapters and gave comments for amendments. China Agriculture Press and the executive editor gave a great support and put in a lot of hard work to this book's publication. Meanwhile, Dr. Cheng Yuan, as well as some other PH. D. students, gave their help in our writing. On the occasion of the completion of manuscripts, appreciation is expressed to all who have given us help and support during researching, writing and publishing the book.

Authors of this book are PH. D. student Lin Haiming (chapter 1), Dr. Zhang Renzhi (chapter 2~5), PH. D. student Li Xiaogang (chapter 6, and have a hand in some contents of chapter 2 and chapter 3), Dr. Zhang Enhe (chapter 7), Dr. Cai Shouxi and PH. D. student Niu Junyi (chapter 8), Dr. Huang Gaobao (chapter 9~10) . Associate professor Wang Li and PH. D. student Chai Qiang participated in some contents of chapter 9 and chapter 10. Dr. Zhang Renzhi and Dr. Huang Gaobao conducted a primary review. I finished final going over all of manuscripts.

The book aims at presenting a reference to researchers, students, technical personnel, related administrators and leaders. There may be some drawbacks because of knowledge limit and large time span of research work. All criticisms and comments from readers and scholars are appreciated.

Dr. Hu Hengjue
Lanzhou, Gansu
December 25, 2000

目 录

序 前 言

第一章 旱地农业生态系统及其调控	1
第一节 旱地农业生态系统的组成	1
一、旱地农业生态系统的结构	1
二、旱地农业生态系统的特征	7
三、旱地农业生态系统的稳态机制	10
第二节 旱地农业生态系统的调节与控制	12
一、旱地农业环境系统调控	13
二、旱地农业生态结构系统调控	17
三、旱农地区资源利用系统调控	19
四、农业投入产出效益系统调控	20
五、旱地农业的社会间接调控	24
第二章 土壤水分及其有效性	26
第一节 自然及土壤概况	26
一、自然概况	26
二、土壤概况	30
第二节 土壤的持水性能	33
一、土壤水分常数	33
二、土壤持水特征	35
三、土壤的持水能力与抗旱能力	40
第三节 土壤水分的时空变异特征	42
一、田间土壤水分空间分布特征	42
二、土壤水分时间变异特征	47
第四节 土壤水分的有效性	49
一、土壤水分有效性的一般概念	49
二、土壤有效水的不等效性	50
三、土壤水分的生物有效性	51
四、土壤水分利用系数和能量状态的剖面分布	55
五、土壤基质有效水和田间有效水	55

第三章 水肥耦合互馈效应及其调控	58
第一节 旱地冬/春小麦对土壤水分的利用特征	58
一、冬/春小麦耗水深度	58
二、冬/春小麦对土壤水分的利用能力	64
第二节 施肥与水分利用效率	69
一、水分利用效率(WUE)的定义及其分析	70
二、冬/春小麦水分利用效率	71
三、产量、蒸散量和水分利用效率之间的关系	72
四、施肥对水分利用效率的影响	75
第三节 水分条件与水分利用效率	78
一、降水和土壤水分状况对水分利用效率的影响	78
二、覆盖对水分利用效率的影响	80
第四节 水肥耦合的产量效应	80
一、水肥耦合的产量效应	81
二、水肥耦合效应的模拟及其分析	84
三、水肥因子的边际替代效应	91
四、土壤肥力对产量的影响及其调控	93
第四章 水肥耦合互馈作用机理	99
第一节 水肥耦合提高了水分和养分的空间及生物有效性	99
一、促进了作物根系生长,扩大了觅取水分和养分的有效空间	99
二、增强了根系活力,提高了对水分和养分的吸收利用能力	101
三、提高了水分的生物有效性	103
四、缓解了养分胁迫,提高了养分的生物有效性	104
第二节 施肥促进了作物冠层发育,提高了蒸腾效率	105
一、施肥既有利于根系生长,又促进了作物冠部发育	106
二、施肥提高了腾/发比及蒸腾效率	108
第三节 提高了作物自身的抗旱机能	113
一、施肥增强了作物自身的保水能力,从而有利于抵御干旱	114
二、施肥增强了作物清除生物自由基的能力	117
第五章 集水农业技术体系	120
第一节 集水农业发展的历史沿革	120
第二节 发展现代集水农业的可行性	122
一、集水农业的内涵	122
二、发展现代集水农业的必要性	123
三、发展现代集水农业的可行性	126

第三节 集水农业的适宜范围及其发展规模	139
一、黄土高原地区干旱特征	139
二、发展现代集水农业的区域划分	140
三、发展现代集水农业的适宜规模	142
第四节 现代集水农业技术体系	143
一、雨水收集技术	143
二、雨水蓄集技术	147
三、雨水利用方式	148
第五节 现代集水农业的问题及对策	158
一、对现代集水农业的认识问题	158
二、发展现代集水农业应遵循的基本原则	160
三、发展现代集水农业的对策	161
第六章 土壤次生盐渍化防治	163
第一节 盐化土壤的化学性质及其发生机理	163
一、灌区及工程概况	163
二、土壤的理化性质	164
三、次生盐渍化的发生机理	167
第二节 盐化土壤的水分物理性质	168
一、吸湿性	168
二、凋萎湿度	172
三、盐分对土壤水分能量状态的影响	175
四、讨论	178
第三节 盐化土壤的结构性质	179
一、容重	179
二、团聚体特征	179
三、阿特伯格极限	185
四、渗透性能	188
五、施用秸秆对盐化土壤结构性能的影响	190
六、结论	193
第四节 土壤次生盐渍化的防治	194
一、水盐平衡理论	194
二、节水灌溉和盐化土壤的灌溉管理	195
三、排水洗盐	196
四、井渠结合、排灌结合	196
五、覆盖农业	197
六、秸秆还田和施肥	197
七、耕作制度	198