

Studies On Arid Agricultural Ecosystems

干旱农业生态

系统研究

李锋瑞 编著



陕西科学技术出版社

兰州大学干旱农业生态国家重点实验室开放基金
国家教委回国留学人员科研启动基金

联合资助

干旱农业生态系统研究

Studies on Arid Agricultural Ecosystems

李锋瑞 编著

Li Fengrui

陕西科学技术出版社

(陕) 新登字第 002 号

干旱农业生态系统研究

李锋瑞 编著

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街 131 号)

新华书店经销 西北大学印刷厂印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 9.25 印张 4 插页 230 千字

1998 年 4 月第 1 版 1998 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1—5 00

ISBN 7-5369-2736-3/S·308

定价: 30.00 元

内 容 提 要

这是一部有关半干旱地区旱地农业生态系统研究的专著。全书分为上篇(旱地作物系统综合试验研究)和下篇(旱地集水农业的理论与方法)。上篇共由6章组成,主要基于田间试验资料,对旱地作物与水分关系从不同层次和方面进行了较为系统的分析研究,阐明了作物农田水分动态分异规律、农田耗水及土壤水分亏缺规律、作物各生育期降水供需平衡与错位特征;定量评价了几种主要旱地作物的降水生态适宜性以及主要轮作复种模式的综合生态经济效益。下篇由4章组成,是在上篇研究的基础上,结合作者近年来对旱地集水农业理论与方法的研究成果,在理论与实践的结合上,深入分析了我国半干旱地区旱农发展的历史、现状及存在的问题和难点,阐明了降水不足、供需错位、水分亏缺等自然生态条件是制约旱农生产潜力的“瓶颈”因素,提出了开发旱地农业生产潜力的集水农业系统思路和技术路线。另外,还对集水农业的水文学原理及集水农业工程技术体系的基本内涵作了一定的探讨。

本书资料翔实,内容丰富,可供农业、气象、水文、地学、农业生态、农业经济管理和社会科学等工作参考。

Brief Introduction

This is an academic book associated with the research of dryland agricultural ecosystems in semi-arid areas of Northwestern China. The book is made up of two parts.

The first part of this book consists of Chapters 1—6. In Chapters 1, 2 and 3, the relationships of dryland crops and water environment are discussed by focusing on studies of the temporal and spatial variational characteristics of soil moisture in croplands, the laws of water consumption and soil moisture deficits, and the equilibrium characterization of precipitation supply and demands at different phenostages of crops based on the data of field observations. In Chapter 4, the ecological suitability of natural precipitation for crops growth is defined and evaluated by developing a mathematical model. In Chapter 5, the agronomic yield, precipitation production efficiency and water use efficiency are calculated and compared for varying crops studied, and at the same time the correlations between crop yield, water consumption and water use efficiency are analysed. In Chapter 6, an overall evaluation of the ecological and economic benefits for some crop rotational systems studied is carried out using method of the Analytical Hierarchy Process (AHP).

The second part of this book consists of Chapters 7—10. In Chapter 7, a new pattern of Runoff Storing and Supplemental Irrigation Agriculture (RSSIA) which is adaptable to semi-arid areas, particularly in semi-arid mountainous areas in China is put forth in context of a systematic analysis of the agricultural environmental conditions, the historical and current status and problems involved in the development of traditionally dryland agriculture. In Chapter 8, from an angle of hydrology the relations among rainfall, runoff and runoff collection efficiency pertaining to layout and planning issues of RSSIA are discussed in detail. In Chapter 9, the several methods of rainfall—runoff models are reviewed and the practical aspects of using the methods are stressed with the discussions of some actual applications of these models. Chapter 10 presents a detailed discussion on engineering technology system to be based upon by RSSIA. Although the system is simple, a number of different techniques

is involved, including the collection and storage of rainwater runoff from treated or untreated catchment areas; an efficient use of the stored rainwater for crop's supplemental irrigation by means of a water—saving irrigation system; and the selection of highly effective agricultural production modes in order to get higher yield from irrigated fields than that of traditionally dryland fields.

The book can be used as a reference for people who are engaged in research work in the following fields of study such as agriculture, agricultural resources management, meteorology, hydrology, geography, agricultural ecology, agricultural eco-economics, agricultural economic management, rural social ecology, and other social sciences.

· 序 言 ·

中国的干旱、半干旱区面积是相当广阔的。其中温带半干旱区涉及北方十余个省区，面积为 220 多万平方千米，约占全国国土面积的 22%。从农业生产特征来看，半干旱区除了有限规模的灌溉农业外，主要是依赖于自然降水的雨养农业，即人们通常所说的旱地农业。

在自然生态条件下，半干旱区旱地农业生产带有浓厚的“顺应天时”的色彩，或者说是强烈地“受制于天”。这突出表现在：旱地农业的生产潜力，很大程度上是由天然降水的丰欠及其时空分布状况决定的。风调雨顺的年份，旱地农业生产水平较高；在干旱年份或者在降水季节分配失衡而供需严重错位的年份，旱地农业生产水平较低，甚至有可能导致完全绝收。这正是“十年九旱，小旱小灾，大旱大灾”，靠天吃饭农业的状况。

旱地农业生产之所以风险性大，难以摆脱“受制于天”的被动局面，原因是多方面的，其中最主要的原因有以下两方面：

第一，同半干旱地区气候资源系统的影响特征相关联。半干旱地区的气候资源系统对旱农生产的影响具有两大显著特征：一是年降水量小，降水年际间变率大，即使在正常

降水年份,降水量也不足,在干旱年份,降水亏缺量就更大。二是降水多变,季节分配极不均衡。在北方地区,一年中降水主要发生在7~9这几个月,而农作物(如小麦)主要生育期的春夏季节,一般降水稀少,存在着一个持续时间较长的干旱期,降水量、农田土壤供水量与作物需水量之间耦合度低,处于失衡与错位状态。这正是导致旱地农业生态系统功能紊乱、产量受损的最根本原因。

第二,同传统旱作农业技术体系的功能特征相关联。传统的旱作农业技术体系以“蓄水保墒”为核心内容,其中的一切农艺技术措施,都是为着尽可能多地接纳天然降水,使之存储于土壤之中,并转化为农田土壤有效储水,以满足农作物生长发育对水分的需求。如果只要求从低产到接近中产的发展水平,这一技术路线可以说是有效的(尽管不同年份间有较大波动),但根据这一技术的实际应用情况不难发现,对半干旱地区来说,要进一步提高作物产量,实现“高产高效”,仅仅依靠这一现行的旱农模式,已经很难继续大幅度提高生产水平,因而迫切需要寻求新的技术突破口。

如何改变目前半干旱地区旱地农业土地产出低、波动大、投入效益差的落后面貌,这是摆在农业科技人员和农业生产经营者的面前的一个重大课题。经过多年的探索与实践,人们已形成一种共识:要充分发掘旱地农业存在的巨大自然生产潜力,必须从“水”字上着手进行改革,不仅要充分重视水的保持,而且要做到水的高效利用。换言之,在兴水制旱的战略和技术路线上,要寻求一个既能有效保持水土,又能有效克服水分亏缺和提高土地生产力的新的结合点。这就是问题的关键所在。

以雨水集流、节水补灌为核心的集水农业技术,是我国北方缺水地区广大农业科技人员和广大群众,经过多年探

体内容包括：旱地作物农田水分动态分异规律；农田耗水及土壤水分亏缺规律；作物各生育期降水供需平衡与错位特征等。另外，还采用数学建模的方法，对几种主要旱地作物生长的降水生态适宜性及主要轮作复种模式的综合生态经济效益，进行了定量的评价分析。

下篇共由 4 章组成，是在上篇研究的基础上，进一步深入分析了我国半干旱地区旱农发展的历史、现状及存在的问题和难点，阐述了降水不足、供需错位、水分亏缺等自然生态条件是制约半干旱地区旱农生产潜力的“瓶颈”因素，并结合甘肃等省区近年来发展集雨灌溉的实践，提出了旱地集水农业发展的系统思路及其技术体系框架，同时，对我国半干旱地区集水农业发展的前景及集水农业战略的实施的对策等问题，从理论与实践相结合的角度，进行了深入的探讨。

本书所涉及的研究课题，是在兰州大学干旱农业生态国家重点实验室开放基金和国家教委出国留学人员科研启动基金的联合资助下完成的。书中的部分研究内容还得到由甘肃省科委重点资助、兰州大学干旱农业生态国家重点实验室主任赵松岭教授主持实施的“集水农业的理论与实践”项目的支持。

在本书出版之际，谨向给予我全力支持及热心指导的各有关方面和个人致以诚挚的谢意！特别是，我的导师赵松岭教授不幸于去年因病溘然逝世，使我失去了一位良师，谨以此书作为一个学生对师长无私教诲的回报，敬献给他的在天之灵，以表达我沉痛的悼念之情！

我还要深深感谢我国著名旱地农业专家、中国工程院院士、原中国科学院水土保持研究所所长山仑研究员。他在百忙之中，抽出时间对书稿的部分章节进行了审阅，提出了

宝贵的、很有价值的修改意见，并欣然为本书撰写了序言。陕西科学技术出版社热忱支持本书的出版，不少同志付出了辛勤的劳动，这也是令作者甚为感激的。

由于作者学识水平所限，书中难免会有疏漏之处，衷心希望广大读者及有关专家、同仁批评指正。

作 者

1997年9月

· 前 言 ·

中国既是一个拥有近 13 亿人口的农业大国，又是一个发展中国家。同当今世界上其他许多国家相比，中国面临着更加严峻的人口膨胀、粮食紧缺、资源（尤其是水土资源）短缺和环境致损（破坏和污染等）四大跨世纪的挑战或危机。也就是说，中国目前面临着四大社会生存难题，即“人口—粮食—生存”、“人口—水—生存”、“人口—土地—生存”和“人口—环境—生存”。在这四大难题中，前三个难题无一不与农业息息相关。这些难题的最终解决，将在很大程度上取决于我国的农业及农村经济今后是否会步入良性的稳定、持续、快速和健康发展的道路。

中国的农业在国民经济各行业中是最薄弱的部门之一，被一些专家称之为“弱质”产业。在即将到来的 21 世纪中，中国经济发展面临的一项重要而艰巨的任务，就是如何使农业由弱质产业成长为高效、优质产业，大幅度提高农业综合生产水平，切实增强农产品有效供给能力，使农业经济在整体上有一个长足的发展。要全面提高农业整体增长水平，仅仅依靠扩大灌溉面积，单纯发展灌溉农业，显然是不够的，因为我国这方面的开发潜力毕竟有限。农业要获得整体性大发展，从全面开发利用我国农业资源潜力来看，重

要的是应在千方百计发展节水灌溉农业的同时,把目光更多地投向面积广大、潜力巨大的北方半干旱地区,把发展这一地区旱地农业当作一篇大文章来作。从农业发展战略的抉择讲,就是必须坚定不移地走灌溉农业与旱地农业齐抓并举的发展道路。

我国北方半干旱地区旱地农业,是完全依赖于自然降水从事农业生产的雨养农业,它带有浓厚的“顺应天时”的色彩,强烈地受制于自然降水条件。这突出表现在:旱地农业生态系统的生产潜力,很大程度上是由自然降水的丰欠及其时空分布状况决定的。风调雨顺的年份,旱地农业生产水平较高;而干旱年份或者降水季节分配失衡而导致作物水分供求严重错位的年份,旱地农业生产则受损减产,甚至有可能完全绝收。因此,半干旱地区旱地农业生态系统是一种典型的粗放经营、农业化程度较低、功能相当脆弱、可持续发展的基础又很薄弱的农业生态经济系统类型。对于这一特殊的农业生态经济系统类型,如何在更大程度上依靠现代科学技术和管理科学手段,通过积极、稳妥地发展农业产业化经营,充分发掘其巨大的自然生产潜力,大幅度提高生产水平,使旱地农业尽快迈上可持续发展的道路,实现从粗放型经济增长向集约型经济增长的转变,这是向农业及相关领域的科技人员提出的一项紧迫的研究课题。

近几年来,作者一直致力于甘肃黄土高原半干旱地区旱地农业生态系统的研究,本书所论,正是近几年来对甘肃黄土高原半干旱地区旱地农业生态系统系列化研究成果的总结与集成。

全书分为上篇和下篇。

上篇共由6章组成,主要基于田间试验资料,对旱地作物与水分关系从不同层次和方面作了系统的分析研究。具

索和试验研究，提出的一种解决旱地农田水分亏缺的新思路。它的主要内涵是：通过在田间修建微、小型雨水集流灌溉工程系统（包括雨水集流面、储水设施和节灌设施等），把对农业无法利用的那部分降水，聚集和储存起来，根据农作物生育期的水分亏缺特征及需、耗水规律，在采用现代先进的节水灌溉技术的前提下，实行季节性有限补充灌溉，以切实增加对农田有效水量的供给，改善农田水分生态适宜性，最大限度和均衡地满足农作物各生育期对水分的需求，实现农业增产稳产的目的。

雨水集流技术既是一种汇聚径流技术，也是一种农业抗旱技术。近年来，这一技术已在甘肃、陕西、宁夏、山西、河南及内蒙古等省区得到了一定规模的应用，所取得的成效充分证实，以集雨节灌技术为基础，结合梯田建设、地膜覆盖、科学施肥等技术的集水农业工程技术体系，是对时空分布不均衡的天然降水进行更有效的人工调控利用、解决雨养旱田灌溉水资源缺乏难题的有效途径，同时也是传统旱农由以广种薄收为特征的粗放型经营向以科技、资金、物资和管理集约投入为特征的效益型经营转变的技术保证，因而是半干旱地区旱地农业持续发展中的一个可供选择的战略方向。

但是，也应指出，集水农业工程技术体系本身还不够完备，仍需要在实践中继续对它进行研究与探索。一方面，需要在不同生态类型区、不同类型土地（特别是丘陵山地）进行大面积示范研究。另一方面，需要就其在区域水平衡和水土保持工作中的作用、技术上的可靠性、经济上的可行性作出全面评估，以期为大规模、规范化推行这一技术作好充分准备。

本书是著者近十年来对甘肃陇东黄土高原半干旱地区

旱地农业生态系统的不同层次、方面系列化研究成果的总结与集成,其中重点探讨了旱地农田水分动态分异规律、农田耗水及土壤水分亏缺规律以及半干旱区几种主要旱地作物各生育期降水供需平衡及错位特征等,具体分析了导致旱地农业生态系统功能受损、生产力低下的根本原因,并进一步提出了“集水高效农业”这一旱地农业发展新模式,阐明了因地制宜科学地采用这一模式,对大幅度提高半干旱地区旱地农业生产水平的可能性和可行性。

从总体上看,这是一部实践基础较深厚、有一定的理论创见、学术水平较高的著作,对我国半干旱地区旱地农业的研究和实践,具有重要的参考价值。

山 仑

1997年9月

目 录

上篇 旱地作物系统综合试验研究

第 1 章 试验区概况及研究方法	(3)
1.1 试验区概况	(3)
1.2 试验设计及研究方法	(5)
1.2.1 试验材料	(5)
1.2.2 试验处理	(6)
1.2.3 田间栽培管理	(7)
1.2.4 试验观测	(8)
第 2 章 旱地作物与水分关系研究	(9)
2.1 农田土壤水分动态变异特征	(9)
2.1.1 轮作作物农田土壤水分时空分异特征	(10)
2.1.2 复种作物农田土壤水分时空分异特征	(19)
2.2 作物农田耗水及土壤水分亏缺规律	(22)
2.2.1 作物田间耗水量的计算	(22)
2.2.2 主要作物的农田耗水及水分亏缺特征 ...	(24)
2.2.3 主要轮作复种模式的农田耗水特征	(33)
第 3 章 作物各生育期降水供需平衡与错位特征	(37)

3.1	分析方法	(38)
3.1.1	降水分布的稳定性指数的计算	(38)
3.1.2	降水亏缺量及降水亏缺指数的计算	(39)
3.1.3	作物需水量的计算	(39)
3.2	冬小麦各生育期降水供需平衡与错位特征	(41)
3.2.1	降水供给的稳定性程度	(41)
3.2.2	降水供需错位及亏缺特征	(42)
3.2.3	降水亏缺的发生频率	(46)
3.3	玉米各生育期降水供需平衡与错位特征	(47)
3.3.1	降水供给的稳定性程度	(47)
3.3.2	降水供需错位及亏缺特征	(48)
3.3.3	降水亏缺的发生频率	(51)
3.4	谷子各生育期降水供需平衡与错位特征	(53)
3.4.1	降水供给的稳定性程度	(53)
3.4.2	降水供需错位及亏缺特征	(54)
3.4.3	降水亏缺的发生频率	(54)
3.5	主要研究结论	(58)
第4章	作物生长的降水生态适宜性及其评价	(60)
4.1	有关作物降水生态适宜性问题研究概述	(61)
4.2	作物降水生态适宜性评价模型的构建	(64)
4.3	模型的实际应用	(65)
4.3.1	权重系数的确定	(66)
4.3.2	作物降水生态适宜性指数的计算	(67)
4.3.3	冬小麦降水生态适宜性指数与产量的相关分析	(71)
4.4	有限补灌条件下作物农田水分生态适宜性的评价	(72)

第5章 作物农田生产力及水分利用率	(74)
5.1 主要作物的农田生产力及水分利用效率	(74)
5.2 主要轮作复种模式的农田生产力及水分利用效率	(78)
5.3 作物产量、耗水量和水分利用效率的关系	(83)
5.3.1 研究概述	(83)
5.3.2 实证分析	(85)
第6章 轮作复种系统的生态经济效益评价	(89)
6.1 水土保持效能评价	(89)
6.1.1 综合评价分析	(90)
6.1.2 聚类分析与选优	(94)
6.2 经济效益评价	(95)
6.2.1 主要作物的农田货币生产力及经济效益特征	(96)
6.2.2 主要轮作复种模式的农田货币生产力及经济效益特征	(102)
6.3 综合生态经济效益评价	(105)
6.3.1 综合评价分析	(106)
6.3.2 聚类分析与选优	(111)

下篇 旱地集水农业的理论与方法

第7章 旱地农业发展模式转型：从水保型农业走向集水高效农业	(117)
7.1 传统旱作农业的历史功绩及其局限性	(117)
7.2 集水农业：旱地农业可持续发展的必由之路	(123)