

旱地农业节水技术

▶ 马耀光 张保军 罗志成 等编著



化学工业出版社

旱地农业节水技术

马耀光 张保军 罗志成 等编著



化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

旱地农业节水技术/马耀光等编著. --北京: 化学工业出版社, 2003. 11

ISBN 7-5025-4926-9

I. 旱… II. 马… III. 干旱区-农业工程-节约用水-技术 IV. S27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 101150 号

旱地农业节水技术

马耀光 张保军 罗志成 等编著

责任编辑: 麻雪丽

责任校对: 郑捷

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 22 字数 540 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4926-9/S·128

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

中国是一个人口和农业大国,农业作为最重要的基础产业,其农业现代化和生产力水平相对较低,其中主要的制约因素是水资源短缺;尤其是在水资源严重不足和开发利用条件较差的中国北方旱地农业区,有限的降水资源合理利用和调蓄水资源的科学调控就成为旱地农业发展的生命线。因此,实行旱地农业节水技术,科学地利用有限的区域水资源,提高旱地农业区的水分生产率,促进旱地农业的高效发展,是现代旱地农业发展的必由之路。

旱地农业节水技术主要包括工程节水措施、农艺节水措施、管理节水措施和补充灌溉节水措施四个方面。前三种节水措施主要是充分利用区内降水资源提高农田和作物水分生产率,后者主要是区外和调蓄水资源的节水利用。工程节水措施是指通过在田间修筑各种辅助工程设施,如土地平整、坑垄、集水工程、截流或防渗工程等,减少地表径流和增加降水入渗、阻止土壤水分向超根层排泄及降水集蓄利用等节水措施;农艺节水措施是指通过各种耕作栽培方法保墒,提高作物光合效率和水分利用效率的节水措施,如覆盖、培肥、良种选配及化学农业措施等;管理节水措施指通过各种科学经济的农业和农田管理措施优化各种农业生产环节,促进节约用水和水分生产效率的提高;补充灌溉节水措施是在区内降水资源严重不足或无法利用的旱地区进行区外调水或调蓄水资源的节水灌溉利用措施。旱地农业节水技术的应用和发展,已经和必将产生巨大的农业经济效益和生态环境效益。

本书的规划和编写大纲的制订由西北农林科技大学的罗志成、马耀光、张保军共同完成。编撰工作的分工如下:第1章由翟惠萍、罗志成执笔;第2章由马耀光、娄宗科、李援农执笔;第3章由娄宗科、马孝义、马耀光执笔;第4章由丁瑞霞、张保军执笔;第5章由李世清、翟丙年、马耀光执笔;第6章由陈越、张保军执笔;第7章由李援农、马耀光、王文娥、龚道枝、马孝义执笔;第8章由张保军执笔;第9章由王新中、于新智执笔。马耀光、张保军担任主编,负责全书的统编定稿工作。

本书的出版得到了西北农林科技大学及其水利与建筑工程学院、农学院、资源环境学院和西北农林科技大学图书馆的大力支持,编写工作还得到了山仑院士、王立祥教授、蔡焕杰教授、刘俊民教授和魏晓妹教授的关心和帮助,在此,谨致我们崇高的敬意和诚挚的感谢。

由于我们的学识水平所限,书中的缺点和错误在所难免,敬请专家和读者批评指正。

编著者

2003年6月

内 容 提 要

本书系统地介绍了中国旱地农业的发展现状和北方旱地农业区的资源环境特征,旱地农业区的水资源及其利用,旱地农业雨水集蓄利用工程技术,旱地土壤保墒技术,旱地农田水分与养分的相互作用,农业覆盖栽培技术,旱地农业补充灌溉节水技术与灌溉预报,提高旱地农业水分生产率的主要途径,旱地作物种质资源利用的节水栽培等旱地农业节水技术。本着理论联系实际的原则,结合最新的理论应用和技术设计实例,对各种旱地农业节水的新理论、新方法和新技术进行了详尽的论述。

该书可供水资源利用、农业规划与管理及农田水利工程等方面的科技工作者和相关专业的高等学校师生参考使用。

目 录

第 1 章 旱地农业概述	1
1.1 旱地农业及其主要特点	1
1.1.1 旱地农业的概念	1
1.1.2 旱地农业在我国农业中的战略地位和作用	2
1.1.3 我国旱农地区农业生产的特点	5
1.1.4 旱地农业的研究现状及取得的成果	8
1.2 中国旱地农业的类型分区	11
1.2.1 中国干旱半干旱地区的范围和界限	11
1.2.2 中国北方旱地农业类型划分	13
1.2.3 旱农地区不同类型分区的战略发展方向	17
1.3 旱地农业发展的指导思想及开发战略	18
1.3.1 旱地农业规律的探索	18
1.3.2 旱地农业发展的指导思想	18
1.3.3 可持续发展——北方旱农地区的开发战略选择	19
参考文献	20
第 2 章 中国旱地农业区的水资源	21
2.1 水资源的数量与分布	21
2.1.1 旱地区水资源的构成	21
2.1.2 水资源的分布	22
2.1.3 水资源的形成与转化关系	24
2.1.4 北方旱区水资源的概略评价	25
2.1.5 水资源利用现状与开发潜力	27
2.2 旱地农业区降水的时空分布特点与利用条件	30
2.2.1 降水的时空分布特点	30
2.2.2 降水资源的农业利用条件与利用现状	32
2.3 农田水分平衡与作物需水	33
2.3.1 旱地农业区的作物结构	33
2.3.2 农田水分转化规律	33
2.3.3 水分平衡与作物需水	35
2.3.4 节水理论与水分调控	36
2.4 降水生产潜力及估算方法	38
2.4.1 降水生产潜力	39
2.4.2 降水生产潜力的估算方法	40
2.5 节水量与节水潜力	43
2.5.1 节水量及其组成	43

2.5.2 节水潜力的估算·····	44
2.5.3 节水的生产潜力与开发·····	45
参考文献·····	46
第3章 旱地农业集水利用工程技术·····	48
3.1 集水保水工程在旱地农业中的地位·····	48
3.1.1 雨水农业利用的主要途径·····	48
3.1.2 集水保水技术在旱地农业生产中的地位和发展前景·····	49
3.2 雨水集蓄利用工程规划·····	49
3.2.1 基本资料的收集·····	50
3.2.2 需水计划·····	50
3.2.3 集流场规划·····	52
3.2.4 蓄水工程规划·····	53
3.2.5 供水用水规划设计·····	53
3.2.6 工程建设投入产出分析·····	53
3.2.7 工程实施的规划·····	53
3.3 雨水集蓄利用工程设计与施工·····	54
3.3.1 集流工程·····	54
3.3.2 截流输水工程·····	60
3.3.3 蓄水工程·····	63
3.3.4 水窑辅助工程·····	74
3.4 雨水集蓄利用技术·····	74
3.4.1 作物需水规律·····	75
3.4.2 点式灌溉·····	76
3.4.3 抗旱坐水种·····	77
3.4.4 膜上灌·····	78
3.4.5 滴灌·····	78
3.4.6 小管出流灌水技术·····	81
3.4.7 渗灌·····	82
3.4.8 果园穴渗灌·····	83
3.4.9 喷灌·····	84
3.5 集水工程管理·····	86
3.5.1 水质管理·····	86
3.5.2 工程管护·····	88
3.6 农田雨水蓄保工程技术·····	89
3.6.1 隔坡梯田聚水增墒技术·····	89
3.6.2 地膜覆盖·····	90
3.6.3 抗旱丰产沟耕作法·····	93
参考文献·····	94
第4章 旱地农业土壤保墒技术·····	95
4.1 农业蓄水保墒机制·····	95

4.1.1	农田土壤水分状态	95
4.1.2	农业蓄水保墒机制	96
4.1.3	农田蓄水保墒的特点	97
4.2	旱地土壤的蓄水技术	98
4.2.1	翻耕法	99
4.2.2	深松耕	100
4.2.3	水平等高耕作	101
4.2.4	修建梯田	101
4.2.5	等高垄沟耕种法	102
4.2.6	蓄水聚肥改土耕作法	103
4.2.7	川台地垄沟种植法	103
4.2.8	少耕免耕技术	103
4.2.9	轮作及种植结构调整技术	105
4.3	旱地土壤的保水技术	106
4.3.1	耙耢保墒	106
4.3.2	镇压保墒及提墒	107
4.3.3	中耕保墒	109
4.3.4	覆盖保墒	109
4.3.5	保水剂保墒	115
4.3.6	抗蒸腾剂	117
4.3.7	土面保墒增温剂(土壤结构改良剂)	118
4.3.8	钙-赤合剂	119
	参考文献	120
第5章	旱地农田水分、养分的相互作用	121
5.1	以水调肥的效应及机理	121
5.1.1	增加养分有效性	122
5.1.2	促进养分迁移	123
5.1.3	提高养分吸收	123
5.1.4	促进养分向经济产品分配	124
5.1.5	改良产品结构	124
5.1.6	提高肥料效果和产量	125
5.2	以肥调水的效应及机理	126
5.2.1	增加土壤蓄水能力	126
5.2.2	促进根系发育	126
5.2.3	提高作物对土壤水分的吸取、转运、利用能力	129
5.2.4	改善植物的水分状况	131
5.2.5	提高作物蒸腾,减少蒸发	133
5.2.6	增强光合作用,提高光合效率	134
5.2.7	提高作物产量和水分利用效率	136
5.3	水肥的相互作用	139

5.3.1 在低肥力土壤上	140
5.3.2 在中肥力土壤上	141
5.3.3 在高肥力土壤上	141
5.4 水肥相互作用模型	141
5.5 结束语	143
参考文献	144
第 6 章 覆盖栽培技术	150
6.1 覆盖栽培技术在旱地农业区的应用与发展	150
6.2 秸秆覆盖栽培技术	150
6.2.1 秸秆覆盖及其方法	150
6.2.2 秸秆覆盖对土壤含水量的影响	151
6.2.3 秸秆覆盖对土壤温度的调控作用	152
6.2.4 秸秆覆盖对土壤温度剖面的影响	153
6.2.5 秸秆覆盖对土壤的培肥作用	153
6.2.6 秸秆覆盖的节水增产作用	154
6.3 塑料薄膜覆盖技术	156
6.3.1 地膜覆盖栽培的原理	156
6.3.2 地膜覆盖栽培的生物学效应	159
6.3.3 地膜覆盖栽培的增产效果	160
6.3.4 地膜覆盖栽培的方法	160
6.4 砂石覆盖栽培技术	166
6.4.1 砂石覆盖的作用	166
6.4.2 砂田的种类和建设	167
6.5 化学保水技术	168
6.5.1 保水剂	168
6.5.2 保水剂的应用效果	169
6.5.3 保水剂的使用方法	170
6.5.4 抗蒸腾剂	170
6.5.5 抗蒸腾剂的应用效果	171
6.5.6 土表化学覆盖剂	172
参考文献	172
第 7 章 旱地农业补充节水灌溉技术	174
7.1 旱地农业节水的主要特点和增产机理	174
7.1.1 旱作物对农田水分的基本要求	174
7.1.2 旱作物生长对地面灌溉节水技术的基本要求	176
7.2 地面节水灌溉技术	176
7.2.1 地面灌水方法简介	177
7.2.2 评估地面灌溉节水技术的主要指标	177
7.2.3 畦灌技术及其改进	180
7.2.4 沟灌技术	190

7.2.5	涌流灌溉	195
7.2.6	节水型沟灌技术	196
7.2.7	果园地面灌溉	197
7.2.8	地膜覆盖灌水技术	200
7.3	管道输水灌溉技术	203
7.3.1	管道输水灌溉系统的类型与组成	204
7.3.2	系统规划与布置	205
7.3.3	管网规划布置	212
7.3.4	田间灌水系统布置	215
7.4	喷灌技术	217
7.4.1	喷灌的特点	217
7.4.2	喷灌系统的组成和分类	217
7.4.3	喷灌的发展概况和应重视的几个问题	218
7.4.4	规划设计基本资料	220
7.4.5	喷灌工程规划设计	227
7.5	微灌技术	233
7.5.1	灌水定额与灌水周期	233
7.5.2	微灌系统设计	235
7.5.3	设计灌溉制度	237
7.5.4	系统工作制度的确定	238
7.5.5	系统流量计算	239
7.5.6	管道水力计算	240
7.5.7	支、毛管设计	243
7.5.8	保护地蔬菜滴灌系统设计	249
7.5.9	设计实例	250
7.6	渠道防渗工程技术	259
7.6.1	概述	259
7.6.2	渠道防渗工程设计和施工的基本规定	262
7.6.3	防渗渠道的设计	264
7.6.4	土料防渗	272
7.6.5	砌石防渗	272
7.6.6	膜料防渗工程设计	272
7.6.7	沥青混凝土防渗体的结构设计	278
7.7	土壤墒情监测与灌水预报技术	281
7.7.1	土壤墒情监测技术	281
7.7.2	灌溉预报技术	285
	参考文献	288
第 8 章	旱地农业提高土壤水分生产率的途径	289
8.1	旱地农田土壤水分动态	289
8.1.1	裸地土壤水分动态	289

8.1.2 非裸地土壤水分动态	292
8.2 旱地农田土壤水分平衡	298
8.2.1 主要农作物耗水规律	299
8.2.2 土壤水分利用率提高的主要限制因子	299
8.3 旱地耕作改制与农林牧综合发展	301
8.3.1 旱农区农业结构分析	301
8.3.2 旱农区农业结构调整的基本原则和技术途径	305
8.4 耐旱高产良种的选用及品种搭配	308
8.4.1 选用与当地自然和生产条件相适应的品种	308
8.4.2 注意提纯复壮当地品种	309
8.4.3 制定适应的种植制度	309
8.4.4 注意开发和利用水资源	309
8.4.5 合理配置作物品种	309
8.4.6 提高作物播种质量	309
8.4.7 及时管理、适时收获	309
参考文献	309
第9章 作物品种资源节水途径与技术	311
9.1 作物进化与品种资源	311
9.1.1 作物及其品种在生态环境中产生、适应、演变、进化	311
9.1.2 节水耐旱是作物进化中形成的重要适应性	312
9.1.3 作物抗旱的基本机理与类型	312
9.1.4 依靠作物品种资源进行节水栽培的重要意义	313
9.2 耐旱作物品种资源与节水栽培途径	314
9.2.1 小麦	314
9.2.2 谷子与糜子	320
9.2.3 甘薯与马铃薯	323
9.2.4 高粱	327
9.2.5 荞麦	328
9.2.6 大豆与杂豆	331
参考文献	337

第1章 旱地农业概述

旱地农业的发展历史悠久，与人类的文明一样源远流长。中国是世界旱地农业（简称“旱农”）形成和发展的中心之一，从西安半坡遗址出土的农业文化遗存看，我国的旱地农业至今已有 7000 多年的历史。中国的传统旱地农业成就辉煌，所积累的以耕、耙、耨为中心，大量施用农家肥料，保持水土，种植绿肥，轮作倒茬，选用耐旱作物和抗旱品种，用地养地结合的传统旱农经验，在世界上产生了很大的影响。18 世纪瑞典生物学家林耐、19 世纪英国生物学家达尔文、德国农业化学家李比希都把中国的古代农业科学成就作为他们学说的依据，美国著名农学家、诺贝尔奖获得者诺曼·布劳格说：“这是世界已知的最惊人的成果之一”，R. 布洛包姆评价说：“中国农业给其他地区农民有效利用有机质提供了很好的经验。”

新中国成立后，特别是改革开放以来，我国的旱地农业有了长足的发展。我国广大的农业科技工作者通过长期的不懈努力，把传统经验与现代科学技术结合起来，取得了多项重大研究成果，并加以推广应用，取得了显著的经济效益、社会效益和生态效益。从建国开始到“六五”规划期间，开展了北方地区旱农区划和分类等多项基础性的研究工作，在此基础上，“七五”至“九五”规划期间，国家又将旱农研究列入国家重点科技攻关项目，同时，随着西部大开发战略的实施，国家加大了对这一地区的投入力度，给予了北方旱区更多的有利政策，使得旱区农业有了较大发展。

1.1 旱地农业及其主要特点

1.1.1 旱地农业的概念

干旱问题是一个世界性问题，世界干旱半干旱地区总面积约占地球陆地总面积的 34.9%，遍及 50 多个国家和地区，全球 $1.4 \times 10^9 \text{ hm}^2$ 的耕地面积中，有灌溉条件的耕地仅占 15.8%，其余都是靠自然降水从事农业生产。随着人口增加，粮食和水资源的短缺以及干旱趋势的加剧，旱地农业愈来愈受到各国的关注和重视。

旱地农业（dryfarming）是指在降水量偏少、有水分胁迫而无充分灌溉条件的半干旱和半湿润偏旱地区，主要依靠天然降水从事农业生产的雨养农业（rainfed farming）。国际上通用的旱农定义是指在有限降水（典型的是在年降水量少于 500mm）的地区，不采用灌溉而种植作物的农业，或者“旱农是指在有限降水的半干旱气候或地区从事无灌溉的作物生产”。考虑到我国旱农地区的自然资源及农业生产的特点，我国的农业科研、管理及生产工作者根据国内外旱地农业生产的发展，提出了中国旱地农业的概念与通用的旱农概念的区别：第一，地区范围由半干旱地区扩大到半湿润偏旱地区。半湿润偏旱区是我国主要的农业生产地区之一，夏季多雨，冬春干旱，虽然年降水量可达 600mm 左右，但多集中在 6~9 月，且年蒸发量很大，需要应用旱农措施保蓄降水，以提高降水利用效率来获得较好的作物产量。第二，主要依靠天然降水，但在特殊干旱条件下也要应用补墒措施（如耕作、倒茬、覆盖等）来接纳天然降水或种植耐旱作物或避旱作物，播种时座水点种等补墒措施，生产实践中效果较好。第三，在经营农作物生产的同时，因地适时种草、种树，发展畜牧业和保护性林业，以形成综合的、完整的旱农生态经济体系，增加其抵抗外部灾害的能力，以达到完善的旱农

生态经济体系。

1.1.2 旱地农业在我国农业中的战略地位和作用

我国的旱农地区范围很大,约占国土陆地面积的 56%,耕地面积约 $5.05 \times 10^7 \text{hm}^2$,占全国总耕地面积的 55.4%,灌溉面积仅占全国的 15.8%。主要分布在沿昆仑山-秦岭-淮河一线以北的广大地区,包括 17 个省、自治区、直辖市的 966 个县。

我国是世界 13 个贫水国之一,北方旱区水资源更为缺乏,大部分地区年降水量为 300~500mm,水资源总量不足全国的 20%;耕地平均水量约 $5580 \text{m}^3/\text{hm}^2$ 。自然降水年际间变率大,季节分布不匀,旱灾频繁。严重的水资源短缺已成为制约农业和农村经济发展的“瓶颈”,地下水的过量开采,造成严重的“三水”(大气水、地表水、地下水)循环障碍。同时,旱农地区地形复杂,沟壑纵横,土地贫瘠,风蚀、水蚀和沙化严重,生态系统脆弱,农业生产不稳定,社会经济发展滞后等问题突出。如果盲目强求走发展昂贵的灌溉农业之“水路”则得不偿失,是行不通的。“水路不通走旱路”,必须发展旱地农业,加强旱作农业技术及节水技术的研究推广,抓好综合治理,改善生态环境,农林牧综合发展,促进旱地农业向可持续发展的高产、优质、高效农业方向发展,这是振兴旱区农业和实现我国农业可持续发展的必然途径。

我国北方旱区地域辽阔,其中的干旱区、半干旱偏旱区、半干旱区、半湿润偏旱区是旱地农业的主体区域,在我国农业生产中占有极其重要的战略地位。1995 年的统计数字表明,我国旱区总人口(不包括半湿润区)占全国人口总量的 21.5%,土地面积 $4.98 \times 10^6 \text{km}^2$,占我国国土陆地面积的 51.8%;耕地面积 $3.65 \times 10^7 \text{hm}^2$,占全国耕地面积的 38.4%。1995 年,粮食播种面积占全国的 30.2%,生产的粮食占全国的 27.5%,大牲畜生产量占全国的 27.4%,肉类产量占全国总产量的 17.1%。表 1-1 的资料充分展示出,北方旱农地区是我国农业生产建设的极为重要的组成部分。

表 1-1 我国北方旱区农业基本状况

范围	总人口 /万人	土地面积 / $\times 10^4 \text{km}^2$	耕地面积/ $\times 10^4 \text{hm}^2$				播种面积 / $\times 10^4 \text{hm}^2$	粮作面积 / $\times 10^4 \text{hm}^2$	牲畜头数 / $\times 10^4$ 头	产肉量 / $\times 10^4 \text{t}$	粮食总产 量/ $\times 10^4 \text{t}$
			其 中								
			总耕地	灌溉 面积	旱作 面积	旱作农田 占总耕地 /%					
全国	118468	960.0	9490.8	4935.2	4555.6	48.0	14988	11006	15861.7	5260.0	46662.0
干旱区	2508.5	283.6	364.1	280.3	77.8	21.4	368.3	238.1	268.7	40.8	1049.0
半干旱偏旱区	646.6	26.0	179.4	29.3	150.1	83.7	165.3	131.6	265.2	23.4	193.8
半干旱区	9299.9	121.8	1576.3	468.7	1107.6	70.3	1790.5	1399.6	1703.4	303.4	5114.1
半湿润偏旱区	13002.4	66.2	1528.2	591.4	936.8	61.3	1980.4	1561.4	2109.0	532.6	6584.0
北方旱区	25457	497.6	3648.0	1375.7	2272.3	62.3	4304.5	3330.7	4346.3	900.2	12840.9
小计											

据统计,1990 年北方旱农区的主要农产品产量同 1978 年相比,粮食总产由 $7.28 \times 10^7 \text{t}$ 增加到 $2.15 \times 10^8 \text{t}$,增长了 194.75%;棉花总产从 $4.89 \times 10^5 \text{t}$ 上升到 $2.91 \times 10^6 \text{t}$,增长了 4.94 倍;其他经济作物,如水果、麻类、烟草等都是成几倍或十几倍的增长。肉类产量由 $2.5 \times 10^6 \text{t}$ 增加到 $1.68 \times 10^7 \text{t}$,增长了 5.73 倍。1995 年,北方旱农区的粮、棉、油和猪、

牛、羊肉等主要农产品的产量，分别占全国的 46.0%、60.9%、46.7%和 39.4%。说明北方旱地农业发展潜力大、发展速度快，在全国农业中占有重要地位。所以，全面提高北方旱地农业的生产发展速度，走节水农业之路，农林牧综合发展，彻底改变贫困落后面貌，对我国农业和整个国民经济的持续发展具有重要的战略意义和举足轻重的作用。

改革开放以来，北方旱区广大干部和群众在党的路线、方针指引下，旱地农业进入了快速发展的重要时期。同时，北方旱区又是国家经济建设战略西移和国家重点支持的脱贫攻坚重点区域，北方旱地农业治理和发展列入国家重点科技攻关项目，广大科技人员深入旱地农业第一线，把传统旱农经验与现代科学技术相结合，示范推广了一批科技成果，逐步形成了具有我国特色的旱地农业发展模式，大大促进了北方旱区农业和农村经济的发展。北方旱区不仅是我国粮、棉、油、豆的重要产地，也是林果业和畜牧业的重要基地，而且名特优农产品资源丰富，驰名中外，出口创汇优势明显。

(1) 旱农地区是我国粮、棉、油、豆的重要产区

我国旱农地区光热资源丰富，一般实行一年一熟和两年三熟农作制，惟有降水资源偏少，是农业生产的重要限制因素。多年来，通过传统旱农经验和现代科学技术的结合，采取以提高自然降水利用效率为中心的旱地农业综合技术措施，粮、棉、油、豆产量有了较大增长，见表 1-2。根据 1996 年《中国农业年鉴》资料，我国旱农地区的粮、棉、油、豆的产量与全国产量相比，粮食总量占全国粮食产量的 46.0%，其中小麦和玉米总产量占全国产量的 69.61%和 80.75%，总产量增长率比全国平均水平高 1.61 和 10.70 个百分点。经过十几年的科技攻关，粮食单产由 1985 年的 $2863.5\text{kg}/\text{hm}^2$ 增加到 1995 年的 $3683.0\text{kg}/\text{hm}^2$ ，单产提高幅度超过全国水平 ($225.9\text{kg}/\text{hm}^2$)，说明旱农地区的粮食作物总产量增长的原因是由于单产大幅度提高。1995 年棉花面积较 10 年前减少 $4.24 \times 10^5\text{hm}^2$ ，但总产量增长 11.79%，全国棉花产量的 61%出自这里，其中冀、鲁、豫三省是我国主要棉区，新疆为优质棉生产基地，这四省区的棉花生产在全国占有举足轻重的作用。北方旱区的油料平均单产由 1985 年的 $1340.2\text{kg}/\text{hm}^2$ ，增加到 1995 年的 $1939.03\text{kg}/\text{hm}^2$ ，增长 44.68%，比全国油料单产高 $222.03\text{kg}/\text{hm}^2$ ，全国大豆产量的 72%出自旱农地区，辽宁、吉林、黑龙江三省和冀、鲁、豫分别是我国大豆和夏大豆的主产区。现在，我国的广大的旱农地区不仅是全国粮、棉、油、豆的重要产区，同时也是我国农产品加工原料和纺织工业原料的主要生产基地。

(2) 旱农地区是我国“名、特、优”农产品的重要商品基地

表 1-2 北方旱区与全国主要农作物总产量比较

年份	地区	主要农作物总产量/ $\times 10^4\text{t}$					
		粮食	小麦	玉米	棉花	油料	大豆
1985	全国	37910.80	8580.50	6382.60	414.67	1578.40	1050.00
	北方旱区	15453.80	5892.90	4857.80	260.00	821.98	762.40
1995	全国	46662.00	10221.54	11198.94	476.75	2203.36	1350.42
	较 1985 年增	23.08	19.13	75.46	14.97	39.59	28.61
	长/%						
	北方旱区	21453.44	7115.31	9043.06	290.65	1029.10	980.07
	较 1985 年增	38.82	20.74	86.16	11.79	25.20	28.55
	长/%						

我国旱农地区地域辽阔,地貌条件复杂多样,加上特殊的气候条件,生物资源十分丰富,其中很多地道的农副产品及经济作物是其他地区无法比拟的。如宁夏滩羊裘皮,内蒙古、青海的山羊绒纺织品,新疆的细毛羊及毛纺织业,其产量、品质居世界之首;东三省的“三宝”人参、鹿茸、貂皮久负盛名,西藏的红花,青海的“冬虫夏草”,新疆的雪莲,宁夏的枸杞等名贵中药材畅销世界 60 多个国家和地区。另外,新疆优质的长绒棉是棉纺精品的优质原料,新疆哈密瓜、葡萄干、香梨,兰州白兰瓜,河南孟津梨和贵妃杏,内蒙古草原的发菜,陕西的石榴、秦椒、猕猴桃都是其独特自然条件的产物。据 1996 年《中国农业年鉴》资料显示,1995 年全国农产品出口总值 122.62 亿美元,其中旱农地区的 16 个省、市、自治区为 46.3 亿美元,占全国的 37.76%,其重要位置可见一斑。北方旱区与全国主要农作物总产量比较见表 1-2。

(3) 北方旱农地区是我国林果业及畜牧业的重要生产基地

旱农地区是我国最大的木材及果业商业基地。其林业总产值 150.67 亿元,占全国林业产值的 27.8%,年产木材占全国木材生产总量的 57%。其中的半干旱偏旱、半干旱和半湿润偏旱区,尤其是黄土高原的旱农区,其气候、温度条件适宜,是苹果、梨、葡萄以及枣、桃、杏的最佳产区,年产量占全国产量的 90%以上,而且品质优良,是果品及其加工产品的主要基地,产品在全国市场占主导地位。

另外,我国五大牧区集中于此。草场面积广阔,可利用草场约 $1.7 \times 10^8 \text{ hm}^2$,占全国可利用草场面积的 75%,具有较强的发展草食畜牧业优势。1995 年,其畜牧业总产值占全国的 45.81%,75%以上的牛肉、羊肉及 33.34%的猪肉产自北方旱农地区,81.86%和 93.3%的羊毛、羊绒产自北方旱区,这里的畜牧业对于提高国内人民生活水平将发挥越来越强的作用,在国内市场及出口创汇方面都具有极其重要的地位。

(4) 旱农地区是我国经济建设战略西移的重点

我国广阔的旱农地区地处大陆性季风气候区,干旱少雨,水资源亏缺严重,大部分地区年降水量为 300~500mm,且 60%~70%都集中在 6~9 月,旱灾频繁,春旱尤其严重。另外,水涝、风沙、盐碱和水土流失危害严重;土壤瘠薄,植被稀疏,生态环境脆弱。严酷的自然条件致使北方旱区农、林、牧业生产力低下,产量和效益低而不稳,整个农村的经济水平远低于全国平均水平。

我国的旱农地区大部分经济发展滞后,人均收入低。20 世纪 80 年代,人均年收入低于 150 元和 200 元的特困和贫困县各为 60 和 114 个,占全国同类县的 55.05%和 46.15%。20 世纪 90 年代中期,人均年收入低于 500 元的县为 102 个,占全国同类县的 86.44%。因此,这一地区被国家列为脱贫攻坚的重点地区。

随着国家经济建设战略重点的西移,挖掘北方旱区农业生产的巨大潜力,大力发展节水农业技术,改变其贫困落后的面貌,加强这一地区经济建设的综合发展和生态环境的综合治理,促进农林牧综合发展,已成为国家建设宏伟目标的重大步骤,并列为国家战略发展的重点。

从 20 世纪 80 年代开始,广大的科技工作者就在这一地区展开了探索旱农发展途径的研究工作,特别是改革开放以来,中共中央始终高度重视旱地农业问题,在“六五”规划的基础上,国家把北方旱地农业区域治理与综合发展研究列入“七五”、“八五”、“九五”规划重点科技攻关技术,通过很多科研部门跨地区、多学科研究,取得了一系列重大科技成果,经过在各类县区广泛推广应用,取得了很好的经济、社会效益和明显的生态效益。根据“十五”规划,“积极发展节水农业,加强节水技术和旱作技术研究推广”,“发展高产、优质、

高效农业和节水农业”将是这一地区农业的发展方向。

1.1.3 我国旱农地区农业生产的特点

我国的旱农地区是世界上旱地面积最集中的地区之一，农业生产条件复杂，具有以下多重特点。

(1) 土地与光热资源较为丰富，发展潜力巨大

土地资源是农业的基础条件。北方旱农地区人口密度小，平均 52 人/km²；耕地面积大，人均耕地、林地、草地高于长江以南及东南沿海地区，耕地面积大约 3.65×10⁷hm²。此外，北方旱区具有丰富的宜农荒地，有待治理改良和开发利用，其中可开垦为耕地的一二等宜农荒地 9.76×10⁶hm²，分别占全国同类地面积的 27.6%和 87.8%；面对我国人口增加、耕地不断减少的严峻局面，对这些后备土地资源加以充分合理利用非常重要。本区的土壤类型多样，主要土类及散处于各处的隐域性土壤类型有：黑钙土、栗钙土、黑垆土、垆土、黄绵土、黑土、褐土、灰钙土、潮土、风沙土、盐渍土等，为农业生产奠定了良好的基础条件。

旱农区光资源充足，总体来说，太阳辐射强，日照足。这一地区太阳总辐射量 4600～6300MJ/m²，作物生长期内≥0℃和≥10℃的太阳总辐射量为 3800～5000MJ/m²，年光合有效辐射 2200～2800MJ/m²，其中，≥0℃和≥10℃的光合有效辐射分别为 1600～2250MJ/m²和 1290～2110MJ/m²。太阳辐射总量、光合有效辐射量明显高于长江下游、西南、华南等地区；年日照时数为 2600～3000h，也明显高于长江下游、华南和西南地区。这种光资源优势促进了农作物光合作用的进行和积累，对提高农作物的产量和品质十分有利。正是这一原因，北方旱区才出现了许多品质优良的农产品，如棉花、玉米、谷子、甜菜、向日葵及瓜果类产量和品质在国内均属上乘。

我国旱区的大部分区域位于中温带、暖温带，四季分明。地处暖温带的豫、鲁、冀、京、津等省、市及晋中南部、陕西关中和辽宁南部等地，≥10℃有效积温 3400～4800℃，日数 171～218 天，大田作物可两年三熟或复种情况下一年两熟；其他中温带地区≥10℃有效积温也达 1600～3400℃，≥10℃天数 100～170 天，可基本满足一年一熟的需要。随着气温的回升，形成的太平洋副高压沿大陆由南向北推移，降水逐渐增多，3～5 月降水占全年降水总量的 10%～20%，6～8 月则占到 60%～75%。同时气温的回升也使高山冰雪消融，绿洲农业区的农业生产进入繁忙阶段。一些喜温作物在旱区大部分地区均可种植。同时，气温日差较大，优于南方和其他同纬度地区。这种雨热同季、气温日差较大的特点有利于粮、果、瓜等光合物质的积累和品质的提高。如果凭借这种光资源优势，实现光热、水资源的同步利用，则农业生产潜力十分巨大。旱农区的光、热资源资料见表 1-3。

表 1-3 旱农区的光、热资源资料

类型	站 名	年 平 均				平均气温 /℃	无霜期 /d	积温/℃	
		光合有效辐射 /MJ·m ⁻² ·a ⁻¹	总辐射 /MJ·m ⁻² ·a ⁻¹	日 照				≥0℃	≥10℃
				时数/h	/%				
半干 旱偏 旱区	会宁	2629.0	5842.2	2539.6	58	6.3	135	2887.0	2122.0
	同心	2811.3	6247.3	3039.2	69	8.2	125	3714.0	3137.0
	盐池	2690.8	5979.5	2857.9	65	7.5		3514.0	3016.0
	四子王旗	2745.6	6101.3	3061.9	69	5.2		2678.0	2135.0

续表

类型	站 名	年 平 均				平均气温 /℃	无霜期 /d	积温/℃	
		光合有效辐射 /MJ·m ⁻² ·a ⁻¹	总辐射 /MJ·m ⁻² ·a ⁻¹	日 照				≥0℃	≥10℃
				时数/h	/%				
半干 旱区	固原	5475.2	5475.2	2499.8	56	6.8	120	2951.0	2330.0
	榆林	6009.6	6009.6	2914.6	65	8.1	144	3750.9	3168.0
	右玉	5932.5	5932.5	2911.0	65	3.5	98	2743.2	2265.6
	集宁	5895.8	5895.8	2918.0	65				
	锡林浩特	5676.7	5676.7	2878.0	64	1.4	107	2716.0	2209.0
	张家口	5750.6	5750.6	2865.3	65	7.5	142	3679.0	3262.0
	林西	5685.3	5685.3	2954.2	67	4.1	122	2976.1	2512.5
	建平	5489.9	5489.9	2911.0	67	7.8	140	3862.3	3422.5
	通榆	5231.5	5231.5	2937.4	66	5.1	135	3422.3	3014.4
	海拉尔	5354.5	5354.5	2862.3	65	-2.2	95	2376.4	1952.6
半湿 润偏 旱区	庆阳	2400.9	5335.5	2428.3	55	8.3	157	3399.0	2736.0
	延安	2326.0	5168.9	2439.4	54	9.3	167	3925.0	3238.2
	太原	2510.0	5577.7	2640.3	60	9.3	161	3974.2	3426.3
	承德	2544.1	5653.5	2785.7	63	8.8	148	4016.3	3605.0
	阜新	2312.9	5139.8	2880.8	66	7.4	147	3735.1	3354.7

(2) 降水资源严重短缺，且降水变率大，强度大，取用难度大

旱农地区降水量少，大部分地区降水量在 300~500mm。半湿润旱区，包括河北、天津、北京、山东西部、安徽北部、河南西部以及辽宁、吉林、黑龙江的西部、山西、陕西大部，年降水量平均为 400~600mm；而最干旱的内蒙古、新疆、青海、宁夏、甘肃等省、自治区，绝大部分地区干旱少雨，年降水量少于 250mm；新疆塔里木盆地和青海柴达木盆地降水平均在 50mm 左右，是我国降水量最少的地区。受降水的影响，我国旱农地区的地表和地下水资源也十分有限，其中地表水资源量平均为 $4.51 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，地下水资源量为 $2.55 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，扣除两者的重复水量 $1.70 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，多年平均水资源量为 $5.16 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，占全国水资源总量的 19%，但同时，北方旱区耕地占全国耕地的 38.4%，单位耕地水资源占有量为 $5580 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，是南方湿润区的 1/18，远低于全国水平。

旱农地区水资源有以下特点：降水稀少，但蒸发强烈，蓄水保墒艰难，作物水分亏缺量较大，半干旱地区春小麦生长期水分亏缺可达 180.8~225.9mm，北方旱区农田土壤全年蒸散量和水分盈亏量见表 1-4；降水年变率和季节变率大，降水主要集中于夏季，正常年份 6~9 月的降水量占全年降水量的 70%~80%，春旱严重；此外，降水强度大，阵发性暴雨造成洪涝危害，尤其是西北地区，雨季集中于 7~8 月，且多以暴雨形式出现（见表 1-5）；旱农区除少部分川地和低原外，多为丘陵沟壑区，提水灌溉成本太高，大部分地区地下水埋藏深，常达一二百米，难以打井提水灌溉。