

风沙半干旱区旱地 农业综合发展研究

孙占祥 主编

 中国农业出版社

风沙半干旱区旱地农业 综合发展研究

孙占祥 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

风沙半干旱区旱地农业综合发展研究/孙占祥主编.
北京: 中国农业出版社, 2008. 6
ISBN 978-7-109-12626-8

I. 风… II. 孙… III. 旱作农业—研究—中国 IV.
S343.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 055871 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 100125)

责任编辑 姚 红

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 19

字数: 430 千字 印数: 1~2 000 册

定价: 35.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

本书得到“十一五”国家科技支撑计划“东北风沙半干旱区林粮结合技术集成与示范”课题编号（2006BAD29B06）和辽宁省重点科技攻关“旱作节水技术模式研究及集成示范”课题（编号 2007212001）资助。

主 编：孙占祥

副主编：郑家明 马兴全 何 跃

编 委(按姓氏笔画排序)：

于 宁	于希臣	马凤江	马兴全
王 辉	王鹏飞	王聪翔	冯良山
宁志利	刘 洋	刘晓宏	孙文涛
孙占祥	何 跃	张 坤	张 鹏
李 喆	杜桂娟	杨 宁	杨久廷
肖继兵	郑家明	侯志研	赵 辉
惠成章			

序 言

旱地农业 (Dryland Farming) 是指在水分入不敷出地区主要依靠和利用自然降水进行的农业生产, 包括种植业、畜牧业、林果业等, 其中种植业又有旱作 (Rainfed Farming) 和补充灌溉 (Supplementary Irrigation) 两个基本类型。旱地农业的本质是提高降水利用率和水分利用效率, 是我国农业最重要的生产类型之一。

世界干旱半干旱区遍及 50 多个国家和地区, 约占全球陆地面积 (南极洲除外) 的 34.9%。我国沿昆仑山—秦岭—淮河一线以北的半湿润偏旱、半干旱和半干旱偏旱等地区, 农业生产主要依靠和利用自然降水, 是典型的旱地农业区。该区有土地 212 万 km^2 , 耕地 3 400 万 hm^2 , 分别占全国的 22% 和 35%。辽宁省旱地农业区集中分布在该省中西部地区, 主要有半干旱和半湿润偏旱两种类型。该区土地面积约为 3 万 km^2 , 耕地面积约为 68.97 万 hm^2 , 分别占该省的 14.4% 和 20.0%。

旱地农业作为我国和世界的重要农业生产类型, 一直备受关注。1983 年 12 月, 根据胡耀邦总书记的指示精神, 中国农业科学院组织全国十个省级农业科学院和四所农业院校, 成立了“北方旱地农业类型分区及其评价”课题组, 历时两年, 行程 1.9 万 km , 对我国北方 13 个省、22 个专区、36 个县开展了调查研究; 并对北方 1 000 多个县的自然、社会、经济方面的数据进行计算分析。依据综合指标, 对北方旱地农业区进行了划分, 确定了区划。根据这一研究结果, 辽西北地区被划归为“辽宁西北低山丘陵水土流失及风沙半干旱农区”。1986 年国家科技部正式立项, 将北方旱地农业研究列为国家重点科技攻关计划。辽宁省农业科学院作为该项目的主要参加单位, 在“八五”期间承担了“风沙半干旱类型区农牧结合、农林牧综合发展技术体系研究”任务。后来, 还承担了“九五”、“十五”旱地农业科技攻关研究的任务。经过二十多年的攻关研究和技术示范, 一方面促进了以阜新市为代表的风沙半干旱地区农业和农村经济的发展, 取得了显著的经济、生态和社会效益; 另

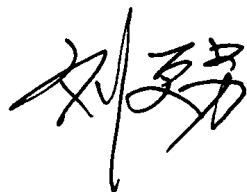
一方面还取得了丰富的旱地农业研究成果。本书就是他们多年辛勤研究和实践的总结。

由孙占祥博士和他的同事们编写的这部《风沙半干旱区旱地农业综合发展研究》，从理论和实践的结合上阐述了当地农业生产的主要问题在于水资源不足，解决问题的关键在于提高降水利用率和水分利用效率；探明了水分运动规律，介绍了水分耦合原理和调控技术；同时还总结了在当地推广且行之有效的种植业高产高效旱作技术、林果业高产高效技术和农牧结合高效技术体系等。本书既有较高的理论水平，又有较大的实用价值，它丰富了我国旱地农业科学，也为我国北方同类地区提供了可借鉴的宝贵经验。

本书的出版，一定会受到学术界和广大农业系统的领导、科技人员和农业工作者的欢迎，并将为推动我国旱地农业学科建设、促进风沙半干旱地区及我国北方旱农地区农村经济快速发展，发挥其更大的作用。

旱地农业研究任重而道远，我相信，只要我们坚持不懈地进行探索研究，扎扎实实节水御旱，以水调肥、以肥调水，旱地也可以变成粮仓，变成畜产品、果产品生产基地。

中国农业科学院院士



2008年5月

前 言

旱地农业研究是世界上所有缺水国家和地区关注的热点。围绕旱作和节水农业技术研究已经取得了许多成果，为缺水国家和地区的社会和经济发展提供了科技支撑。旱地农业是辽宁省农业生产的主要方式之一，近二十年来，辽宁省农业科学院和有关单位合作，以辽宁省西北部阜新市为基地，针对风沙半干旱地区旱地农业的持续综合发展开展了多方位的科学研究，取得了一些科研成果，为我国旱地农业科学提供了新的资料，在一定程度上促进了风沙半干旱区农业和农村经济的发展。

辽宁省农业科学院对风沙半干旱区农业开展系统研究起始于1986年。此前，从1983年12月开始，辽宁省农业科学院参加了由中国农业科学院牵头的“北方旱地农业类型分区及其评价”课题研究，参与了北方旱地农业区划工作。1986年国家科技部正式立项，将北方旱地农业研究列为国家重点科技攻关计划，辽宁省农业科学院作为该项目的单位参加单位，承担了“风沙半干旱类型区农牧结合、农林牧综合发展技术体系研究”任务，并建立了辽宁省农业科学院阜新旱农实验区。之后，以实验区为依托，陆续承担了“九五”、“十五”期间旱地农业科技攻关和“十一五”国家科技支撑计划研究任务。

辽宁省农业科学院围绕风沙半干旱区农业研究大致可以分为三个阶段：第一阶段从1986年初至1992年底，其间的主要研究任务是提高粮食生产能力，解决农民温饱问题；第二阶段从1993年初至2000年底，主要研究任务是稳定粮食生产能力，解决农业产业结构优化问题；第三阶段从2001年初至2005年底，主要研究任务是推进主导产业发展，解决产业化问题。至第一阶段末（1992年），实验区所在地的阜新市粮食总产量达到12.5亿kg，不但满足了粮食自给，而且提供了部分商品粮；第二阶段末（2000年），阜新市的农业产业结构初步明晰，形成了以粮食生产为基础，以畜牧业和林果业为经济支柱产业的区域农业发展框架；第三阶段末（2005年），阜新市除了粮食和畜牧业两个主导产业稳步发展之外，以仁用杏为主导、以优质梨为补充的特色林果产业也得到长足进步，基本上实现了产业化。

全面总结、综合分析风沙半干旱区旱地农业研究的成果，为了促进区域农业持续综合发展，我们组织辽宁省农业科学院长期从事旱地农业研究的有

关科技人员，共同撰写了《风沙半干旱区旱地农业综合发展研究》这部专著。本书针对风沙半干旱地区旱地农业的实际状况，在借鉴前人研究成果和实践经验的基础上，注重对自身研究成果和技术的归纳与提炼。考虑到攻关研究的系统性和区域农业发展的整体性，全书分别从旱地农业研究概况、研究进展、基础理论和种植业、畜牧业、林果业高产高效技术体系、旱地农业发展战略等方面进行叙述，以利于读者系统地了解风沙半干旱地区旱地农业研究的历程和现状。

本书共分8章，其中第一章、第二章由孙占祥、马兴全执笔，第三章由冯良山、杨久廷等执笔，第四章由刘洋、孙文涛等执笔，第五章由侯志研、于希臣等执笔，第六章由惠成章、何跃等执笔，第七章由郑家明、赵辉等执笔，第八章由杜桂娟、张坤等执笔。全书在孙占祥主持编辑下，由孙占祥、郑家明统稿完成。

本书的编写和出版，是辽宁省农业科学院长期从事旱地农业研究与开发的所有科技工作者的集体成果。在编写过程中得到了社会各界的大力支持：中国农业科学院刘更另院士为本书撰写了序言；沈阳农业大学董钻教授对本书进行了全面系统的修改；辽宁省阜新市农业综合开发办公室给予了全力支持。在本书即将出版之际，对上述人士一并表示谢忱！

尽管我们努力想把二十年来全院上下共同取得的成果做全面系统的汇总，但毕竟水平有限，书中疏漏甚至错误之处依然难免，敬请广大读者及同仁不吝赐教。

本书编委会

2008年5月

目 录

序言

前言

第一章 绪论	1
第一节 旱地农业区域分布概况	1
第二节 旱地农业在农业生产中的地位	5
第三节 旱地农业研究进展概况	6
第二章 旱地农业综合研究进展	24
第一节 旱地农业攻关研究的任务和指标	24
第二节 不同时期旱地农业攻关研究进展	27
第三章 风沙半干旱区旱地农田土壤水资源及其变化规律研究	34
第一节 风沙半干旱区降水时空分布规律	34
第二节 农田水分平衡概念及水分盈亏特征	37
第三节 土壤水分变化规律	39
第四节 水分径流监测与径流侵蚀变化规律	48
第四章 风沙半干旱区水肥高效利用技术及其机理研究	67
第一节 水分高效利用技术及其机理研究	67
第二节 肥料高效施用技术及其机理研究	107
第三节 玉米连作与长期施肥效应研究	131
第四节 旱作农田水肥耦合效应	139
第五章 种植业旱作节水高产栽培技术	155
第一节 玉米节水高产栽培技术	155
第二节 大豆节水高产栽培技术	164
第三节 花生节水高产栽培技术	170
第四节 小豆节水高产栽培技术	177
第五节 绿豆节水高产栽培技术	182
第六节 谷子节水高产栽培技术	185

第七节	糜子节水高产栽培技术	190
第八节	高粱节水高产栽培技术	192
第六章	林果业高产高效技术	197
第一节	优良品种选择	197
第二节	仁用杏的苗木繁育技术	198
第三节	丰产果园的建立技术	200
第四节	仁用杏的土肥水管理技术	203
第五节	仁用杏整形修剪技术	206
第六节	仁用杏的病虫害防治技术	211
第七节	仁用杏的采收和加工技术	215
第七章	农牧结合高效技术体系研究	221
第一节	农牧结合概况	221
第二节	农牧结合建立的背景与发展对策	225
第三节	农牧结合高产高效技术	228
第四节	主要饲草作物的引种、栽培和加工技术	246
第八章	旱地农业发展模式与战略措施	276
第一节	旱地农业发展模式	276
第二节	旱地农业发展战略措施	285

第一章 绪 论

第一节 旱地农业区域分布概况

旱地农业 (dryland farming) 是指在土壤水分入不敷出地区主要依靠和利用自然降水进行的农业生产, 包括种植业、畜牧业、林果业等, 其中种植业又有旱作 (rainfed farming) 和补充灌溉 (supplementary irrigation) 两个基本类型。旱地农业的本质是提高降水利用效率和水分利用率, 是我国最重要的农业生产方式之一。

一、世界旱地农业分布概况

世界干旱半干旱地区遍及 50 多个国家和地区, 约占全球陆地面积 (南极洲除外) 的 34.9%, 共计 4 570 万 km^2 。其中干旱地区为 3 140 万 km^2 , 半干旱地区为 1 430 万 km^2 , 分别占全球陆地面积的 24.0% 和 10.9%。1991 年联合国环境规划署所属的全球环境监测系统 (GEMS) 和全球资源信息库 (GRID) 对世界各大洲干旱地区分布进行了更为精确的统计分析, 认为世界极端干旱至干燥及半湿润区面积有 61.50 亿 hm^2 , 占世界陆地面积的 41%。其中极端干旱区占 16%, 干旱区占 26%, 半干旱区占 37%, 半湿润区占 21%。就耕地而言, 全球 14.3 亿 hm^2 中, 有灌溉条件的仅占 15.8%, 其余都是靠自然降水开展农业生产的旱地农业。这些地区年降水量低于 550mm, 主要分布在亚欧大陆的阿拉伯半岛、中东内陆盆地、伊朗中部和南部、蒙古、独联体各国、中国的中西部和北部、印度的部分地区、非洲的北部、澳大利亚的中部和西部、北美洲的内陆高原、美国的西部大平原和南美洲的西部沿海地带。国际上依据干燥度和降水量指标将旱地农业区划分为四种主要类型。

(一) 热带季节干旱类型

属热带沙漠气候, 这类地区气候的主要特征是炎热、干燥、气温高, 气温日较差特别大, 昼热夜凉。降水常年不足 100~200mm, 且变率很大, 有时甚至连续多年无雨, 一年的降水往往集中在几次暴雨中。旱季经常延长半年以上, 农作物生长季一般仅有 12~24 周。大致分布于南北回归线至南、北纬 30°之间的大陆内部或西岸, 一般多进行游牧。

(二) 热带半干旱类型

属热带草原气候, 全年温度平稳, 无明显低温, 气候特征是干季、雨季交替明显, 雨季草木旺盛, 干季草原呈一片枯黄景象。年降水量 500~750mm 以上。这类地区多分布

在热带干旱气候区的边缘，大致在南北纬 10° 至南北回归线之间。

(三) 亚热带半干旱类型

属地中海气候，主要位于南北纬 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之间的欧、美大陆的西岸，澳大利亚的东南部及非洲大陆的西南部。夏季高温干旱，冬季暖湿多雨。其中农业生产特点主要是依靠冬季降水。澳大利亚南部生长季节较长，优于北非和西亚。

(四) 中纬度干旱半干旱类型

属温带大陆气候，主要分布在亚欧大陆和北美大陆的内陆地区，以及南、北纬 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的北美、南美东岸。干旱少雨，冬季严寒，夏季炎热。半干旱地区雨热同季，有利于农业生产。

随着世界人口的不断增加，农产品供需矛盾日趋尖锐，一些国家和地区对旱地农业都给予了极大的关注，投入了大量的人力、物力和财力，开展旱地农业的研究与开发，取得了显著的成效，使旱区农业面貌发生了重大变化。例如，美国中西部推广“少免耕覆盖”措施，使昔日的“黑风暴”发源地，今天变成了重要的农牧业商品基地；澳大利亚南部实施“粮草轮作制”，使昔日沙化严重的半干旱地区成为著名的小麦、绵羊产业带；以色列开发“节水灌溉农业”，使中东地区沙漠干旱区域成为世界瞩目的农业发达地区，水分利用效率居国际先进水平。

二、中国旱地农业分布概况

我国沿昆仑山—秦岭—淮河一线以北的半湿润偏旱、半干旱和半干旱偏旱等地区，农业生产主要依靠和利用自然降水，是典型的旱地农业区，亦称为北方旱农区。据信乃谔等（1998 年）统计，北方旱农区有土地 212 万 km^2 ，耕地 3 400 万 hm^2 ，人口约 2 亿，粮食总产 1.1 亿 t，可利用草场 1.7 亿 hm^2 ，分别占全国的 22%、35%、16%、22% 和 70%；北方旱农区年降水量 250~550mm，而且降水的年变率大，季节分配不均，旱灾频繁。水资源总量不足全国的 20%，耕地平均水量约 $5\,580\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

早在 20 世纪初，我国就开始了旱地农业类型区划分工作。20 世纪 30 年代，竺可桢的“中国气候区划”，依据气温和降水资料，结合自然景观，初步确认了以秦岭、淮河一线作为中国干湿气候的分界线。1959 年，中国科学院在《中国综合自然区划》中，划分出了干旱地区范围和界线，明确了干旱地区的类型。1980 年，《中国综合自然区划概要》进行了进一步划分。1983 年 8 月，国务院在延安召开“北方旱地农业工作会议”，就中国干旱地区及其类型划分问题进行了讨论。后经原农牧渔业部批准、中国农业科学院组织，开展了中国北方旱农类型及其分区评价研究，并出版了《中国北方旱农类型及其分区》一书。与国际上分区不同的是，中国除依据干燥度和降水两个指标外，还考虑了自然景观、地形、地貌、植被等指标。主要划分为 5 个一级区（各区的指标和特征见表 1-1）和 57 个二级区。

(一) 干旱区

主要包括内蒙古西部高原风沙地、阴山北麓高平原干旱牧区,河套平原、宁夏北部干旱灌溉农牧区,陇西黄土高原北部干旱农牧区,河西走廊干旱灌溉农牧区,柴达木盆地干旱牧区,阿尔泰山南坡、天山东部干旱牧林区,南疆、吐鲁番盆地、天山北坡干旱灌溉农区和准噶尔西部山地干旱农牧区。该区域内年平均自然降水量不足 200mm,干燥度高于 3.5,属荒漠地带,农业生产以牧为主,没有灌溉就没有农业。

(二) 半干旱偏旱区

主要包括内蒙古东北部高平原半干旱偏旱牧区,鄂尔多斯高原风沙地半干旱偏旱牧区,阴山北部丘陵半干旱偏旱农牧区,陇中黄土高原西北部半干旱偏旱农牧区,青海东部低山丘陵半干旱偏旱农林牧区和祁连山北麓、柴达木盆地东南部山地高寒半干旱偏旱农牧水源林区。该区域内年平均自然降水量为 200~250mm,干燥度为 3.00~3.49,属半荒漠地带,农业生产以牧为主,是干旱农业分布下限。

(三) 半干旱区

主要包括大兴安岭西麓高平原、东北西部丘陵、平原半干旱农牧区,晋北、冀北高原山地半干旱农林牧区,河北平原中部黑龙港半干旱农区,太行山东麓、太忻盆地、土默特、西辽河平原半干旱灌溉农区,阴山南麓丘陵山地半干旱农牧林区,晋陕黄土高原北部丘陵半干旱农牧区,陇中黄土高原中部丘陵沟壑半干旱农牧区,海东黄土丘陵及环湖半干旱农牧林区和伊犁河谷半干旱农牧区。该区域内年平均自然降水量为 250~400mm,干燥度为 1.60~2.99,属干草原地带,农业生产以半农半牧为主,采用抗旱技术,干旱农业发展潜力较大。

(四) 半湿润偏旱区

主要包括大小兴安岭山地丘陵半湿润偏旱农林区,松嫩平原、吉林中部平原、辽西中北部半湿润偏旱农区,太行太岳及燕山北部山地半湿润偏旱农林牧区,华北滨海低平原半湿润偏旱农业区,豫北—豫西半湿润偏旱农区,汾渭平原半湿润偏旱农业区,晋、陕黄河西侧黄土丘陵半湿润偏旱农牧区和陇中黄土高原南部丘陵沟壑半湿润偏旱农牧区。该区域内年平均自然降水量为 400~500mm,干燥度为 1.30~1.59,属森林草原—草甸草原地带,农业生产以农为主,局部地区林牧比重大;季节性干旱。

长期以来,北方旱农区因干旱缺水等自然因素和生产结构缺损等生产性因素使农业可持续发展面临一系列突出问题:①水、肥等资源利用率低是制约农业发展的主要症结;②土地退化、侵蚀严重,生态环境影响农业生产的瓶颈作用突出;③农产品积压与短缺并存,农业结构单一,林牧业比重过低,农牧结合度低,畜牧业发展严重滞后,农牧生态系统脆弱,农牧产业发展缓慢,农村经济欠发达,人均收入不高;④饲料饲草资源丰富,但利用率不高,宜林宜牧土地资源、秸秆饲草生物资源浪费严重。

严重的干旱和水资源短缺已成为制约农业和农村经济发展以及食物安全供给的障碍性

“瓶颈”。同时,我国北方旱农地区地形复杂,土地贫瘠,风蚀、水蚀、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,造成区域性乃至全国食物供应的不稳定。大面积发展灌溉农业受到自然、社会、经济等因素的制约。因此,必须大力发展旱地农业,通过旱地农业的综合治理和开发,促进旱地农业由低产、低效向高产、高效、可持续发展的方向转变。

表 1-1 中国北方旱地农业类型一级区的指标和特征

	主导指标:		自然地带	种植业特征			畜牧业特征			林业特征	农业综合特征
	80%保证率的 全年降水量 (mm)	辅助指标: 干燥度		作物水分 亏缺量 (mm)	作物水分 反应类型	熟制	牧草产量 (青草 kg/hm ²)	饲养 方式	载牧量 (hm ² / 羊单位)		
干旱区	<200	>3.50	荒漠带	<-220	/	一年 一熟	300~750	放牧	>750	散生荒漠 灌木	以牧为主,没有 灌溉就没有农业
半干旱 偏旱区	200~250	3.00~3.49	半荒漠带	-130~ 100	极耐旱	一年 一熟	750~ 1 500	放牧	300~750	散生灌木	以牧为主,旱农 分布下限
半干 旱区	250~400	1.60~2.99	干草原区	-60~20	耐旱	一年 一熟	1 500~ 3 000	放牧一 舍饲	150~300	灌丛广泛 分布,布局 可有乔木林	半农半牧,山地 阴坡可造林,采取 抗旱措施,旱农发 展潜力大
半湿润 偏旱区	400~500	1.30~1.59	森林草原 草甸草原	-20~ 110	较耐旱	一年 一熟或 二年 三熟	3 000~ 4 500	舍饲一 放牧	75~150	灌木林为 主,乔木林 可成片存在	以农为主,局部 地区林牧比重大, 季节性干旱,采取 措施提高水分有效 利用率

三、辽宁省旱地农业分布概况

辽宁省旱地农业集中分布在中西部地区。该区域属温带季风大陆性气候区,年平均气温 7~8℃, 10~15℃积温为 2 900~3 400℃, 为省内积温高值区;年降水量平均在 300~550mm,无霜期为 135~165 天,日照充足,5~9 月份日照时数为 1 200~1 300 小时,是辽宁省高日照地区。全区土地面积约 3 万 km²,耕地面积约 68.97 万 hm²,总人口 580.3 万人,农业人口约 411.57 万人,分别占全省的 14.39%、20%、18.39%、21.20%。该区是辽宁省主要的畜牧业基地和经济作物生产基地,也是重要的商品粮生产基地。参照中国农业科学院北方旱区类型区划分的方案,可以划分为半干旱类型区和半湿润偏旱类型区。实际上,若按照旱地农业的概念理解,辽宁省旱地农业区域应该包括除东部、沿海及水田生产之外的所有地区,大约占全省耕地面积的 70%左右。

(一) 半干旱类型区

主要包括朝阳市、阜新市、朝阳县、阜蒙县、北票市、建平县、彰武县、康平县及喀喇沁左翼蒙古族自治县、凌源市、建昌县北部等地。

(二) 半湿润偏旱类型区

主要包括喀喇沁左翼蒙古族自治县、凌源市、建昌县南部,葫芦岛市、绥中县、兴城

市、锦州市、凌海市、义县、北宁市、黑山县、新民市、法库县、昌图县及调兵山市郊区。

多年来,在有关科研单位和大专院校的积极努力下,辽宁省旱地农业研究取得了重大进展,建设了一批独具特色的旱地农业产业带。如辽西北地区的仁用杏产业带、畜牧产业带、杂粮产业带等,显著推进了区域农业的发展,促进了区域内农民增收。

第二节 旱地农业在农业生产中的地位

世界干旱半干旱地区遍及 50 多个国家和地区,总面积约为陆地面积的 1/3。在 14 亿 hm^2 耕地中,主要依靠自然降水从事农业生产的旱地占 80%。随着人口剧增,农产品供需矛盾日益尖锐,全球性食物安全问题从未像今天这样引人注目。关注的焦点是如何解决由于全球性人增地减导致环境不断恶化和区域性淡水资源短缺日趋严重,最终导致生产能力下降和食物短缺的问题。

我国是世界上严重干旱缺水的国家之一,也是农业严重缺水的国家之一。据测算,干旱缺水地区占国土面积的 72%,人均水资源量约 2 300 m^3 ,仅为世界平均的 29%,单位耕地面积的水资源量为世界平均的 80%,单位灌溉面积的水资源量仅为世界平均的 19%。因缺水以及由此引发的灌溉成本上升,致使我国农田有效灌溉面积自 1975 年以来一直维持在 4 700 万~5 000 万 hm^2 左右。在干旱缺水的条件下,一方面,难以满足农业用水需求的增加,也无法保证新增人口农产品供应;另一方面,农业用水占总用水量的比重逐年下降,供给总量不可能有大的增长。20 世纪 80 年代以后的持续干旱席卷主要产粮国,世界谷物总产量徘徊在 18 亿~20 亿 t,谷物贸易量 1.5 亿 t 左右,谷物库存量下降到战后最低点,仅为消费量的 16%左右,低于粮食安全(17%~18%)所需要的水平。

改革开放以来,我国粮食总产由 1978 年的 3.05 亿 t 增加到 1997 年的 4.92 亿 t,而农业年用水总量占全国年总用水量的比重却从 88%下降到 72%,基本维持在 3 900 亿~4 000 亿 m^3 ,灌溉用水占总用水的比重也由 80%下降到 65%,约维持在 3 500 亿~3 800 亿 m^3 左右。据估计,到 2030 年全国总用水量将增加到 8 000 亿 m^3 ,全国粮食总产要达到 6.4 亿 t,农业用水比重将从目前的 72%下降到 52%,农业用水特别是灌溉用水总量不可能有大的增加,农业生产缺水程度逐年加剧。改革开放以来我国粮食大幅度增产,而灌溉面积和灌溉用水量并未增加或增加很少的事实说明,我国容易开发的水资源多已利用,农业靠大量消耗水资源的外延型增长方式已行不通了。农业比较效益低和干旱缺水程度加剧的现实,要求我们必须加快发展旱地农业,走依靠科技提高水分利用效率的内涵型增长方式。

北方旱区在全国农业生产中占有重要地位。根据《中国农业年鉴》(1996 年)统计资料,我国北方旱农区 16 个省、市、自治区生产了全国总量 46%的粮食(其中 70%的小麦和 80%的玉米)、61%的棉花、72%的大豆、46%的油料,北方旱区已经发展成为我国粮、棉、油、豆的重要产地。同时,北方旱农地区木材生产量占全国木材生产总量的 57%以上,林业总产值 150 多亿元,占全国林业产值的 27.8%。北方旱农区又是我国苹果、梨、葡萄、枣、桃、杏等的主产区。北方旱农区还集中了全国五大牧区,畜牧业总产

值占全国畜牧业总产值的 45.9%，全国 33.3% 的猪肉、75% 以上的牛羊肉、81.9% 的奶类和 93% 的羊毛产自该区域。该区的肉类产量增长幅度超过全国的平均增长速度，已经显示出调整农业产业结构和发展草食畜牧业的资源优势。

辽宁省是我国水资源严重短缺的省份，人均水资源占有量只有全国平均占有量的 1/4。地表水资源量为 335 亿 m^3 ，已开发利用的仅 63 亿 m^3 ，开发程度为 18.8%；地下水资源储量为 113.9 亿 m^3 ，其中浅层水开采储量 74.6 亿 m^3 ，已开发利用 40 亿 m^3 ，占总量的 54%；由于过度开采，中部地区已经形成地下漏斗，面积达 300 平方公里，水位已降到 21.5m；每年全省缺水达 15 亿~17 亿 m^3 。旱地农业是辽宁省主要农业生产方式，占有重要地位。据《辽宁省农村统计年鉴》(2003 年)统计，辽宁省旱地农业地区可以生产粮食 149.3 亿 kg，占全省粮食生产总量的 70%。

第三节 旱地农业研究进展概况

一、世界旱地农业研究进展

(一) 世界旱地农业研究发展的历史沿革

世界旱地农业的产生与发展，是广大劳动人民几千年来克服不利自然条件的结晶。在公元前 7000 年前，亚洲和中近东地区就有小麦、大麦和豌豆、扁豆、鹰嘴豆种植；在埃及、苏丹等地则有珍珠粟、高粱等作物种植。在公元前 7000—6000 年间，美洲的印第安人就开始驯化当地的动植物，墨西哥的特瓦坎河谷遗址就有玉米、南瓜、海岛棉的种植。到公元前 2500—2000 年间，玉米、南瓜、菜豆等已向墨西哥北部和现在的美国传播，其旱作技术已达到相当水平。

所有发达的旱地农业地区，在作物和土壤管理方面均经历了相当长的变化时期。当今高度发达的旱地农业地区是美国、加拿大和澳大利亚。美国旱地农业的开拓在 19 世纪 60 年代就有记载。铁路的快速发展极大地促进了旱地农业技术的传播，以旱地农业技术研究和示范的试验站在各州相继建立，甚至扩大到旱地农业失败的亚利桑那州。20 世纪初美国的外密苏里旱农会议是美国旱地农业研究的标志性会议，后来成为了国际旱地农业会议，1911 年在科罗拉多州多斯普林斯举行的年会有 12 个国家的 900 多位代表参加。当时大会提出了许多新的农业制度，其中由坎贝尔提出的土壤培养制度最为典型。他主张深耕，以便蓄水，提倡底土紧实和为减少水分蒸发采用细土覆盖。还提出了诸如培育抗旱品种和新的耕作管理方法等。1912 年，国际旱地农业委员会总部从美国的科罗拉多斯普林斯迁到加拿大的莱茨布里奇。

1902 年美国开始投资在各州建立旱地农业问题研究试验站，在 1902—1939 年期间，先后建立了 35 个试验站，资金全部由联邦财政支持。20 世纪 50 年代，又相继建立了 37 个试验站。1915 年，这些试验站第一次出版了研究报告，进行实际研究的许多地区第一次得到了研究资料。

加拿大最大的干旱地区位于阿尔伯塔和萨斯喀切温省的大草原北部的延伸地带。位于