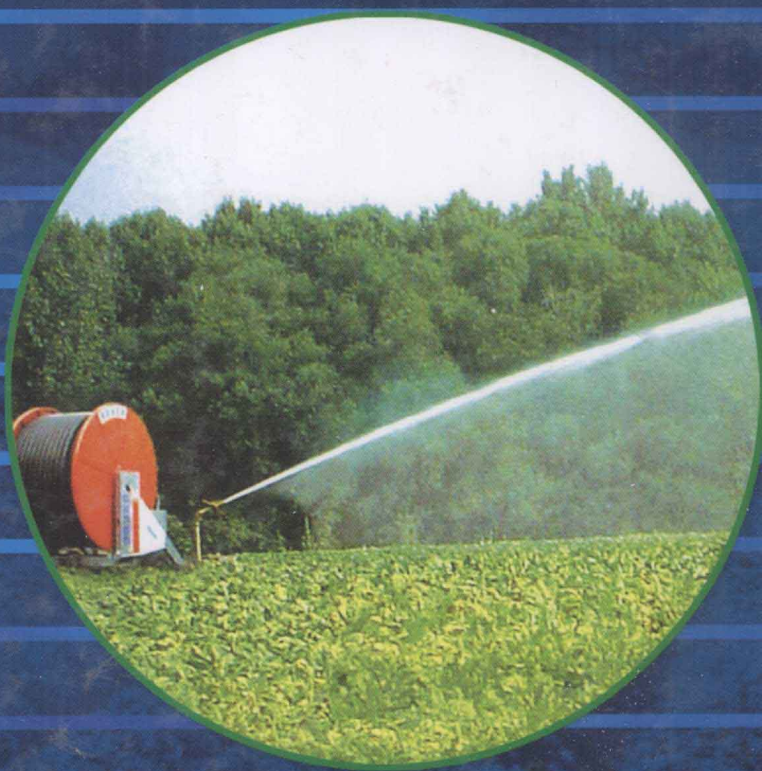


刘作新 高 鹏 © 主编

东北半干旱区节水农业 应用基础与节水技术



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是一部系统反映国家“九五”旱农科技攻关、国家“十五”“863”计划农业节水重大专项（阜新示范区）和辽宁省科技攻关节水农业重中之重等项目成果的科学著作，共分十三章。内容涉及东北半干旱区水资源特征与雨水资源化潜力、土地资源评价与气候资源生产潜力、小流域入渗产流特征与流域管理决策系统、农业节水潜力与节水战略等节水农业基础理论；地面节水补灌技术、水肥耦合高效利用技术、春小麦喷灌技术、日光温室渗灌技术、化学制剂保水节水技术、坡耕地集流梯田和沟壑窑窖池雨水集蓄利用工程雨水叠加与异地利用技术等农业综合节水技术及其应用效果。书中既有节水农业基础理论的阐述，又有典型的节水农业技术实践。

本书可供从事农业、林业、水利、环境保护科学研究和管理工作者及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

东北半干旱区节水农业应用基础与节水技术/刘作新，高鹏主编. —北京：科学出版社，2009

ISBN 978-7-03-022635-8

I. 东… II. ①刘…②高… III. 干旱区-农业-节约用水-研究-东北地区 IV. S27

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 105627 号

责任编辑：霍春雁 沈晓晶/责任校对：包志虹

责任印制：钱玉芬/封面设计：耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2009 年 1 月第一次印刷 印张：20 3/4 插页：2

印数：1—1 000 字数：467 000

定价：85.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换〈双青〉）

《东北半干旱区节水农业应用基础与节水技术》
编辑委员会

主 编 刘作新 高 鹏

编 委 (以姓氏汉语拼音为序)

杜尧东	丁福俊	高 鹏	高军侠	李桂芳
李 哲	刘作新	梁海军	舒乔生	孙中和
王 兵	王 建	王志玉	王振营	魏义长
尹光华	张坚强	张 颖	张自坤	郑昭佩

**Applied Basic Research on Water-Saving
Agriculture and Water-Saving Techniques
in the Semi-Arid Area of Northeast China
Editorial Committee**

Editor in chief: Liu Zuoxin Gao Peng

Members (in the order of Chinese phonetic alphabet in last name)

Ding Fujun	Du Yaodong	Gao Peng	Gao Junxia
Li Zhe	Li Guifang	Liang Haijun	Liu Zuoxin
Shu Qiaosheng	Sun Zhonghe	Wang Bing	Wang Jian
Wang Zhenying	Wang Zhiyu	Wei Yichang	Yin Guanghua
Zhang Ying	Zhang Jianqiang	Zhang Zikun	Zheng Zhaopei

序

随着全球气候变化、人口增长、工业发展及城市化速度加快，淡水资源紧缺和干旱加剧已经成为世界性的问题。由缺水和水污染造成的水土环境退化、土地荒漠化以及沙尘暴等生态问题，给我们的生存环境和经济发展带来了严重影响。解决该问题的关键是提高水资源利用率和利用效率，做到水土充分保持和高效利用。农业是我国国民经济中的用水大户，发展节水灌溉和旱作农业，大幅度提高农业用水效率和节约灌溉用水是解决上述问题的关键。

半干旱区是一个特殊的生态类型和重要的农业区域，水土流失和干旱并存是其重要特征；降水量处于正常旱农耕作的下限，由于单位面积产量低，极易造成盲目开垦，生态恶化。我国东北西部半干旱区面积覆盖逾 20 万 km^2 ，不仅是东北地区重要的粮食、林果和畜牧产品基地之一，也是该区及其以南地区的重要生态屏障。这一地区的农业发展状况不仅关系到当地国民经济发展和人民生活水平的提高，而且对东北地区的粮食安全和国家经济建设都具有重要影响。因此，该区一直被国家列为旱作和节水农业以及区域生态环境综合治理的重点地区。多年来，该区积累了丰硕的科技成果和经验，逐步形成了一套具有区域特色的节水农业应用基础理论和综合节水技术体系，并取得了显著的经济、生态和社会效益。

《东北半干旱区节水农业应用基础与节水技术》一书是系统反映国家“九五”旱农科技攻关、“十五”“863”计划农业节水重大专项（阜新示范区）和辽宁省科技攻关节水农业重中之重等课题成果的科学著作。该书总结、汇集了长期在该区域从事研究的诸多涉及农业、林业、水利等专业领域的科技工作者的研究成果和实践经验，对该区典型区域水资源特征与雨水资源化潜力、土地资源评价与气候资源生产潜力、小流域入渗产流特征与流域管理决策系统、农业节水潜力与节水战略等科学问题，以及多种形式的节水灌溉和旱作农业等综合节水技术进行了多方位、多层次的分析和探讨。该书内容丰富，区域针对性强，在促使基础性研究成果与实际应用紧密结合方面颇有特色，具有较高的学术水平和实用价值。相信该书的出版不仅有利于加强我国半干旱区节水农业应用的基础研究与实践，而且对该类型区域农业可持续发展和生态建设也将发挥指导作用。

山仑

2007 年 5 月 10 日

前 言

东北地区自然资源优越,农业发展潜力巨大,平均每年提供约占全国商品粮总量 1/3 的商品粮,至 20 世纪末,全国 1 亿多城市人口的食品需求主要依赖东北大粮仓提供的粮食及由此转化的肉蛋奶。因此,东北地区在保障我国粮食安全体系中占有重要地位。在未来现代化建设中,面对动荡的国际社会政治形势和持续性的全球气候变暖态势,作为特殊商品的粮食和相关农产品生产基地的东北地区,拥有保障中国未来 30 年 15 亿人口粮食安全的重要战略地位仍然不可动摇。然而,由于该地区粮食主产区大都处在大江大河的中下游,也是旱涝等灾害最频繁、受灾面积最广和经济损失最严重的地区。1998 年松花江、嫩江的洪水灾害,以及近年来东北半干旱地区的连年持续旱灾,都严重影响了该地区的粮食生产。因此,科学合理地利用水资源对东北地区的粮食安全和老工业基地的振兴乃至我国国民经济建设都具有重要的生态安全和经济安全意义。

东北西部半干旱地区主要包括辽宁西部的阜新、朝阳、锦州、葫芦岛四市,河北东北部的承德地区,吉林的白城子地区,内蒙古东部的赤峰、通辽等地区,面积覆盖逾 20 万 km²。该区不仅是东北地区重要的粮食、林果和畜牧产品基地之一,也是东北、华北及其以南地区的生态屏障,特别是对保护平原地区大中城市的生态安全和粮食安全具有重要作用。同时,该地区为典型的生态脆弱区,水土流失和土地荒漠化十分严重,特别是辽宁西部地区的朝阳和阜新两市是丘陵半干旱和风沙半干旱类型区的典型区域,农业可持续发展的主要限制因素是干旱、风蚀和土地荒漠化严重。近年来,与水资源短缺的全球干旱形势相同步,该区呈现干旱范围持续扩大,旱灾发生频率不断上升,干旱危害程度日益加剧的趋势,给农业生产造成严重危害。因此,该地区一直被国家和省政府列为节水农业和区域综合治理的重点地区之一,先后开展了国家“九五”重点攻关专题“低山丘陵半干旱区农林业可持续发展与综合治理研究”,国家“十五”“863”计划农业节水重大专项“东北半干旱抗旱灌溉区节水农业综合技术体系集成与示范”,辽宁省“九五”、“十五”科技攻关重中之重项目“节水栽培与灌溉技术研究”,农业部“948”引进项目“多功能土壤保湿剂引进”,水利部科技攻关项目“国家水土保持重点治理区大凌河流域治理工程”,中国科学院创新项目“农业生态系统水循环及节水技术”等多项研究课题,取得了丰硕的科技成果,逐步形成了一套具有东北半干旱区特色的节水农业应用基础理论和综合节水技术体系,并取得了显著的经济、生态和社会效益。

本书是上述国家“九五”科技攻关、“十五”“863”计划农业节水重大专项和辽宁省科技攻关节水农业重中之重等课题的部分研究成果。全书共分十三章,力求多层面、多角度系统地反映该类型区近年来旱作农业与节水农业的研究成果。内容涉及东北半干旱区水资源特征与雨水资源化潜力、土地资源评价与气候资源生产潜力、小流域入渗产流特征与流域管理决策系统、农业节水潜力与节水战略等节水农业基础理论的阐述;地面节水补灌技术、水肥耦合高效利用技术、春小麦喷灌技术、温室渗灌技术、化学制剂保水节水技术、坡耕地集流梯田和沟壑窑窖池雨水集蓄利用工程雨水叠加与异地利用等

农业综合节水技术及其效果的典型实践。

本书的出版得到科学出版社的支持，承蒙中国工程院院士山仑先生作序，在此表示衷心感谢。

全书由诸多作者分章节执笔，第一、第二章由高鹏、王建、刘作新编写，第三、第四章由刘作新编写，第五、第六章由刘作新、杜尧东、郑昭佩编写，第七、第八章由梁海军、魏义长编写，第九章由王志玉编写，第十至第十二章由高鹏编写，第十三章由高军侠编写，全书由刘作新和高鹏统稿。限于编著者水平，本书的缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

刘作新 高 鹏

2007 年 12 月于沈阳

目 录

序

前言

第一章 概论	1
第一节 自然环境条件	2
一、地形地貌	2
二、气候气象	2
三、水文水资源	2
四、植被	3
五、土壤	3
第二节 水土保持与节水农业现状	3
一、水土流失与水土保持现状	3
二、节水农业发展现状	4
第三节 社会经济条件	4
参考文献	5
第二章 东北半干旱区农业环境资源系统辨识	6
第一节 土地资源定量评价与分析	6
一、三道梁小流域基本概况分析	6
二、土地类型确定与等级的划分	6
三、土地资源适宜性评价及发展方向	9
第二节 气候资源生产潜力分析	10
一、气候资源生产潜力分析方法	11
二、气候生产力分布	13
三、不同气候生产力模型的特点及其相互关系	14
四、辽西地区适宜生产力计算模型选择	15
五、人工林生产潜力分析	16
第三节 水资源时空分布特征分析	18
一、降水资源分布特点	19
二、径流资源分布特点	21
三、地表水资源量分析	22
四、研究区域水资源可持续利用对策	23
第四节 小流域降水入渗与产流特征分析	24
一、小流域概况与试验设计	24
二、小流域饱和与非饱和超渗产流入渗基本理论	26
三、小流域不同立地产流量、产沙量对比分析	30
四、小流域入渗方程的拟合与求解	32
五、小流域产流模型的建立	34

第五节 小流域雨水资源潜力与供需平衡分析	37
一、典型小流域基本情况	37
二、小流域雨水资源潜力计算方法	38
三、小流域供水潜力（雨水资源潜力）分析	39
四、小流域需水潜力分析	40
五、小流域供需水平衡分析	41
第六节 小流域水土资源可持续利用管理决策系统	42
一、研究目的、意义	42
二、研究方法	42
三、系统的组成结构	43
四、系统的功能	43
五、系统的应用——小流域持续高效农业产业结构优化调控模型	46
参考文献	53
第三章 东北半干旱区农业节水潜力及其系统节水战略	56
第一节 水资源利用现状与农业节水潜力	56
一、辽宁省水资源及其利用现状分析	57
二、辽宁省农业节水潜力分析	58
第二节 农业水资源可持续利用系统学方略	61
一、农业水资源可持续利用的新思维	61
二、实施系统节水治水工程	61
三、农业节水战略目标	63
四、农业节水模式与集成技术	63
五、东北半干旱地区农业节水研究的发展趋势	64
参考文献	65
第四章 地面节水补灌技术与应用	67
第一节 冬灌-增补冻层储水技术	67
一、冬灌的储水抗旱效果	67
二、冬灌对耕种和出苗保苗的影响	68
三、冬灌对农田水分循环的影响	69
四、冬灌的增产效果	70
五、冬灌对水分利用效率的影响	71
第二节 生育期补充灌溉技术	71
一、生育期补灌对土壤储水量的影响	71
二、生育期补灌对作物耗水量的影响	73
三、生育期补灌的产量效应	74
四、生育期补灌对水分利用效率的影响	76
第三节 井灌区涌流灌溉技术	77
一、试验区概况与试验设计	78
二、涌流灌溉的节水效果及影响因素	79
三、涌流灌溉的灌溉效率	80
四、涌流灌溉的节水机制	82
五、涌流畦灌技术要素的优化组合	86

参考文献	88
第五章 水肥耦合高效利用技术与应用	90
第一节 春小麦的需水和耗水特征	90
一、春小麦的需水特征	90
二、春小麦的耗水特征	95
第二节 春小麦水肥耦合高效利用技术	103
一、水肥耦合试验设计	104
二、春小麦产量数学模型和统计分析	104
三、春小麦水肥耦合主因素效应分析	106
四、春小麦水肥管理方案分析	120
第三节 玉米水肥耦合高效利用技术	123
一、玉米水肥耦合产量模型	124
二、玉米水肥耦合模型主因素效应分析	125
三、玉米水肥耦合模型的因素交互作用分析	127
第四节 水肥耦合作用效果分析	131
参考文献	131
第六章 春小麦喷灌技术与应用	133
第一节 春小麦喷灌制度的确定	133
一、春小麦喷灌不同处理的产量及其构成	134
二、春小麦喷灌不同处理的耗水量和水分利用效率	134
第二节 春小麦喷灌的水量分布及小气候效应	135
一、春小麦冠层的截留水量	136
二、冠层截留对喷灌均匀性的影响	137
三、喷灌水量的飘移蒸发损失	137
四、喷灌的小气候效应	137
参考文献	138
第七章 橡塑渗灌管生产工艺与测试技术	140
第一节 橡塑渗灌管生产与应用技术现状及发展趋势	140
一、橡塑渗灌管生产工艺	141
二、渗灌管渗水性能测试研究	143
三、田间应用研究进展	145
四、渗灌管生产存在的问题及发展趋势	146
第二节 橡塑渗灌管渗水性能实验研究	146
一、试验材料与方法	147
二、结果与分析	148
三、渗水性能的主要影响因素	151
四、结论	152
第三节 新型橡塑渗灌管研制	152
一、生产工艺的改进	152
二、新型橡塑渗灌管的研制	153
参考文献	156

第八章 渗灌土壤水分运动模拟与田间应用	158
第一节 日光温室渗灌土壤水分运动数值模拟	158
一、渗灌土壤水分运动数学模型	158
二、壤砂土渗灌土壤水分运动数值模拟	164
三、黏土渗灌土壤水分运动数值模拟	165
四、壤土渗灌土壤水分运动数值模拟	167
五、不同质地土壤水分运动数值模拟结果分析	168
六、不同质地土壤水分运动数值模拟结果验证	169
第二节 渗灌技术在朝阳地区的田间应用研究	170
一、材料与方法	170
二、温室渗灌对土壤环境的影响	170
三、温室渗灌对空气温度和空气湿度的影响	171
四、温室渗灌对作物生长和病害状况的影响	172
五、温室渗灌的用水量和用水效率	173
六、温室渗灌的经济效益	173
七、温室渗灌的主要技术参数	173
第三节 渗灌技术在阜新地区的田间应用研究	174
一、材料与方法	174
二、全生育期土壤水分实时变化规律	175
三、渗灌过程中土壤水分实时变化解析	176
四、渗灌节水效果	178
五、渗灌土壤水分运动模拟与验证	178
参考文献	183
第九章 化学制剂保水节水技术与应用	185
第一节 新型土壤保湿剂的研制	185
一、新型土壤保湿剂研制的主要材料	185
二、淀粉、丙烯酸二元接枝共聚物的制备	186
三、淀粉、丙烯酸和丙烯酰胺三元接枝共聚物的制备	190
四、吸水树脂吸水能力测试	192
第二节 新型土壤保湿剂的表征	193
一、接枝共聚物红外光谱分析	193
二、接枝共聚物扫描电子显微表征	194
第三节 新型土壤保水剂的保湿作用机制	195
一、实验室高吸水树脂的保水性能测定	195
二、高吸水树脂对土壤蒸发的影响	199
三、高吸水树脂对土壤持水能力的影响	200
第四节 新型土壤保水剂对大豆生长发育的影响	202
一、吸水树脂对大豆出苗率的影响	202
二、吸水树脂对光合作用的影响	204
三、吸水树脂对大豆株高的影响	206
四、吸水树脂对盆栽大豆根系生长的影响	211
五、吸水树脂对大豆地上植株部分的影响	212

六、吸水树脂对大豆产量的影响	213
第五节 新型土壤保湿剂对玉米生长发育的影响	216
一、吸水树脂对玉米出苗率的影响	216
二、吸水树脂对玉米秸秆重量的影响	217
三、吸水树脂对玉米籽粒产量的影响	218
四、吸水树脂对玉米百粒重的影响	218
参考文献	219
第十章 坡耕地集流梯田雨水叠加利用技术与应用	221
第一节 坡耕地集流梯田工程的设计	221
一、集流梯田工程的内涵	221
二、集流梯田工程的集流潜力与集流效果	222
三、集流梯田工程断面参数的确定	223
四、集流梯田工程的修建布设与指标测定	224
第二节 坡耕地集流梯田土壤水分动态变化规律	225
一、谐波分析的原理与方法	225
二、土壤水分动态变化谐波分析	226
三、集流梯田增加土壤水分效果对比分析	227
第三节 坡耕地集流梯田蓄水能力分析	230
一、集流梯田蓄水量分析	230
二、集流梯田土壤水分与生长季降水量的关系	231
第四节 集流梯田工程改良土壤效果与经济效益分析	231
一、集流梯田工程改良土壤效果分析	231
二、集流梯田工程增产增收效益对比分析	234
三、集流梯田工程投入产出效益分析	236
参考文献	239
第十一章 沟壑荒地窑窖池雨水集蓄利用工程雨水异地利用技术与应用	240
第一节 沟壑荒地窑窖池雨水集蓄工程的设计	240
一、窑窖池雨水集蓄利用工程的内涵	240
二、窑窖池雨水集蓄工程设计的原则	241
三、窑窖池雨水集蓄工程集流潜力估算	241
四、窑窖池雨水集蓄工程储水防渗结构设计	242
第二节 窑窖池雨水集蓄工程的集流拦沙防渗效果	244
一、窑窖池雨水集蓄工程的集流效果	245
二、窑窖池雨水集蓄工程的拦沙效果	245
三、窑窖池雨水集蓄工程的防渗效果	246
第三节 窑窖池雨水集蓄利用模式	246
一、窑窖池模式集雨节水灌溉效率	246
二、窑窖池模式不同灌水方式对大棚土壤性状的影响	248
三、窑窖池模式不同灌水方式对棚内环境因子的影响	249
四、窑窖池模式增产增收经济效益分析	250
五、窑窖池模式投入产出效益分析	251
参考文献	253

第十二章 小流域沟壑三维梯级治理技术与应用	256
第一节 沟壑三维梯级治理技术研究的总体思路	256
一、沟壑水土资源治理利用的总体思路	256
二、沟壑水土资源治理利用的指导思想和原则	256
第二节 沟壑侵蚀发生发展特点与沟壑分类	258
一、沟壑侵蚀发生发展特点及其分类研究的理论方法	258
二、沟壑侵蚀现状分析与诊断	259
三、小流域沟壑侵蚀发生发展特点	259
四、小流域沟壑分类指标的确定与沟壑分类	261
第三节 沟壑三维梯级治理技术与应用	262
一、沟壑三维梯级治理开发模式的构建	262
二、沟壑三维梯级治理开发工程措施与典型模式的建立	264
参考文献	269
第十三章 农田水肥管理措施对粮食质量安全的影响	271
第一节 粮食质量安全调查分析	271
一、粮食质量安全现状	271
二、粮食质量安全因素分析	272
三、粮食中黄曲霉毒素污染调查	272
第二节 试验区概况	285
一、试验区的选择	285
二、试验区自然概况	286
第三节 农田生态系统中黄曲霉种群分布及其特征	286
一、农田生态系统中黄曲霉种群分布	286
二、农田生态系统中黄曲霉种群的移生及产毒特征	296
第四节 农田水肥管理措施对玉米黄曲霉侵染的影响	301
一、农田水肥管理措施下预防黄曲霉侵染及其毒素污染的效果分析	302
二、农田水肥管理措施与粮食质量安全保障体系的建立	311
参考文献	312

第一章 概 论

东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江三省和内蒙古东部地区，地势三面环山、一面临海，中部相对低平，形成松辽平原和三江平原。土地面积 95.8 万 km^2 ，占全国总面积的 9.98%。东北地区是我国粮食生产的主要地区之一，自然资源优越，发展潜力巨大，尤其是东北的三江平原、松嫩平原是粮食产区的最主要地区，素有“东北大粮仓”之称，平原面积占全区土地总面积的 48%^[1]。根据振兴东北网 2004 年的最新报道，东北地区 2004 年 GDP 总量 1.6 万亿元，占全国的 11.76%，人口 1.2 亿，占全国总人口的 9.18%，其中农业人口占 55.7%；耕地面积 1651.7 万 hm^2 ，占全国耕地的 17.3%，人均耕地 0.16 hm^2 ，全区人少地多，劳动力平均耕地 1.01 hm^2 。耕地土层深厚，自然肥力高，是我国优质水稻、大豆、玉米的盛产区，2004 年粮食总量占全国总产量的 20%，商品粮占全国总量的 33.3%。全区人均粮食 686.8 kg ，比全国平均值高出 276.8 kg 。然而，该地区粮食主产区的三江平原和松嫩平原都处在大江大河（黑龙江、松花江、鸭绿江、图们江、辽河、绥芬河等）的中下游，是旱涝等灾害最频繁、受灾面积最广和经济损失最严重的地区。1998 年松花江、嫩江的洪水灾害，以及近年来东北半干旱地区的连年持续旱灾，都严重影响了该地区的粮食生产^[2~5]。因此，东北地区水安全与水资源可持续利用问题，对我国粮食安全和国民经济发展都起着举足轻重的作用，科学合理地调控、开发和利用东北地区的水资源具有重要的生态安全和经济安全意义。

据预测，未来 30 年我国人口将达到 15 亿高峰，对粮食和其他农产品将形成前所未有的巨大需求。东北平均每年提供的商品粮约占全国商品粮总量的 1/3，在我国粮食生产中占有重要地位^[6~8]。至 20 世纪末，全国 1 亿多城市人口的食品需求主要依赖东北大粮仓提供的粮食及由此转化的肉蛋奶。在未来现代化建设中，面对动荡的国际社会政治形势和持续性的全球气候变化，作为特殊商品粮食和相关农产品生产基地的东北地区，拥有保障中国未来粮食安全的重要战略地位仍然不可动摇。东北西部半干旱地区，包括辽宁西部的阜新、朝阳、锦州、葫芦岛四市，河北东北部的承德地区，吉林的白城子以及内蒙古东部的赤峰、通辽等地区，面积覆盖逾 20 万 km^2 。该区不仅是东北地区重要的粮食、林果和畜牧产品基地之一，亦是东北和华北及其以南地区的生态屏障，特别是对保护平原地区大中城市的生态安全和粮食安全具有重要作用^[9~11]。同时，该地区为典型的生态脆弱区，水土流失和土地荒漠化十分严重。此外，辽宁西部地区的朝阳和阜新两市是丘陵和风沙半干旱类型区的典型区域，该地区农业可持续发展的主要限制因素是干旱、风蚀、土地荒漠化严重，产业结构不合理，经济基础薄弱，农民科技意识差。近年来，加上与水资源短缺不可逆转的全球干旱形势相同步，该地区呈现干旱范围持续扩大，旱灾发生频率不断上升，干旱危害程度日益加剧的趋势，给农业生产造成严重危害。因此，建立东北半干旱地区现代节水农业技术体系综合示范区，发展现代节水高效农业是实现东北半干旱地区农业经济持续增长和农民增收的重要途径和关键措施^[12~15]。

自“七五”、“八五”以来,该地区一直被国家和省政府列为节水农业区域综合治理的重点地区之一,先后开展了国家“九五”重点攻关专题“低山丘陵半干旱区农林业可持续发展与综合治理研究”;国家“十五”“863”计划农业节水重大专项“东北半干旱抗旱灌溉区节水农业综合技术体系集成与示范”;辽宁省“九五”、“十五”科技攻关重中之重项目“节水栽培与灌溉技术研究”;农业部“948”引进项目“多功能土壤保湿剂引进”;水利部科技攻关项目“国家水土保持重点治理区大凌河流域治理工程”;中国科学院创新项目“农业生态系统水循环及节水技术”、“沈阳市农业节水战略研究”等研究工作。通过这些项目的开展,不仅对促进当地区域经济的快速发展,实现生态环境良性循环和农业可持续发展具有重大意义,而且对推动我国北方旱区的农业高效用水起到了巨大作用,为实现我国粮食安全和水安全的战略目标做出了重要贡献;同时,也逐步形成了一套具有东北半干旱地区特色的节水农业应用基础理论和综合农业节水技术体系,具有广阔的推广应用前景。现将其进行系统总结和整理,以期为我国东北半干旱地区乃至北方旱区节水农业发展和区域经济建设提供科学依据。

第一节 自然环境条件

一、地形地貌

辽宁朝阳地区是东北半干旱区的典型区域,位于辽宁省西部,处于内蒙古高原向沿海平原过渡的阶梯分界地带,属于山地丘陵区,具有我国东北西部丘陵和风沙半干旱类型区的典型地貌。地处东经 $118^{\circ}50'19''\sim 121^{\circ}17'36''$ 、北纬 $40^{\circ}24'30''\sim 42^{\circ}20'42''$ 。北与内蒙古赤峰市、通辽市接壤,东及东南与阜新市、锦州市相邻,西部、南部与河北省的平泉县、青龙县毗邻,地处三省(自治区)交界处。全区域总面积 $19\,699\text{km}^2$,其中,山地丘陵面积占总面积的 87.9% ,河谷平地面积占总面积的 12.1% 。主要山脉有努鲁儿虎山、松岭山,均为东北、西南走向,把该区分割成复式阶梯状。努鲁儿虎山构成大凌河与老哈河的分水岭,形成西北山地,海拔 $500\sim 1000\text{m}$ 。松岭山脉横卧全区中部,是大凌河、小凌河的分水岭^[16]。

二、气候气象

辽宁朝阳地区属于半干旱大陆性季风气候区,气候特点是:昼夜温差大,积温高,日照长,辐射强,降水少,易干旱。多年降水量为 $438.2\sim 552.0\text{mm}$,年内分配不均,年际变化很大。全区太阳总辐射量为 $5.88\times 10^5\sim 6.05\times 10^5\text{J}/\text{cm}^2$;年日照时数为 $2850\sim 2960\text{h}$;多年平均气温为 $6.4\sim 8.7^{\circ}\text{C}$,由西北向东南递增; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 3413°C ;无霜期为 $140\sim 173$ 天,由北向南递增。

三、水文水资源

辽宁朝阳地区境内有大凌河、小凌河、老哈河和青龙河四大河流,以大凌河最大,占全区总面积的 67.5% ,各河流的径流特征见表1-1。

表 1-1 辽宁朝阳地区河流的径流特征 (1959~2002 年)

河 名	站 名	流域面积 /km ²	多年平均径流 /(亿 m ³ /a)	最大流量		最小流量	
				/(m ³ /s)	出现年份	/(m ³ /s)	出现年份
大凌河	朝阳	13 298.0	8.82	15 600	1962	0.09	1983
小凌河	缸窑口	2065.0	2.88	11 400	1963	0.02	1983
青龙河	雹神庙	1572.0	0.38	218	1963	0.02	1983
老哈河	太平庄	3383.0	4.03	9840	1962	0.00	1972

注:表中的年份为最大(小)流量出现的年份。

四、植被

辽宁朝阳地区植被区系属华北植物区系向内蒙古植物区系过渡带,为森林草原植被。天然次生林多为针阔混交林,以蒙古栎、辽东栎、椴、桦、山杨、榆和柏等树种为主;人工林则多为油松、杨、柳、刺槐和沙棘等为主;灌草植被以荆条、酸枣、胡枝子、隐子草和碱草等为主。全区森林覆盖率为 18.8%,灌草植被覆盖率为 30%~40%。

五、土壤

根据第二次全国土壤普查结果,朝阳地区土壤以褐土为主,占全区土壤总面积的 73.39%,分布在该区中北部,与西北部的内蒙古、河北褐土区相连;而松岭山脉的南麓、东麓为地带性棕壤分布区,占全区土壤总面积的 20%。非地带性土壤草甸土在四大河流两岸有零星分布,占全区土壤总面积的 6.35%;风沙土在建平县西北部有微量分布,占土壤总面积的 0.26%。

第二节 水土保持与节水农业现状

一、水土流失与水土保持现状

辽宁朝阳地区由于受地形、气候等自然条件和人为因素的影响,境内水土流失严重。根据水利部土壤侵蚀遥感资料,1992 年,全区水土流失面积 15 978.7km²,占全区总面积的 81.1%。其中,轻度侵蚀面积 2765.6km²,占侵蚀面积的 17.7%;中度侵蚀面积 4621.8km²,占侵蚀面积的 32.3%;强度侵蚀面积 8591.3km²,占侵蚀面积的 50%(表 1-2)。1993 年朝阳地区水土流失较为严重的朝阳县、北票市被列入大凌河中游国家水土保持重点治理区二期工程(第一阶段),规划治理小流域 35 条,5 年治理面积 648.5km²;1998 年在第一阶段工作的基础上,该地区的朝阳县、北票市、喀左、凌源又先后列入大凌河中游国家水土保持重点治理区二期工程(第二阶段),规划治理小

表 1-2 大凌河流域水土流失与水土保持现状

年份	水土流 失面积 /km ²	占全区 总面积 /%	轻度侵蚀		中度侵蚀		强度侵蚀	
			面积 /km ²	占侵蚀总 面积/%	面积 /km ²	占侵蚀总 面积/%	面积 /km ²	占侵蚀总 面积/%
1992	15 978.7	81.1	2765.6	17.3	4621.8	28.9	8591.3	53.8
2004	14 281.8	72.5	4670.1	32.7	5512.8	38.6	4098.9	28.7

流域 46 条, 5 年治理面积 826.3km²。从表 1-2 看出, 经 10 余年的水土保持小流域综合治理, 该地区水土流失得到有效控制, 生态环境趋于良性循环。但同时也应看到其中度、强度水土流失面积的比例还很大, 治理任务还非常艰巨^[17~19]。

二、节水农业发展现状

通过大力开展农业科技攻关, 我国已在东北半干旱区(如辽宁西部地区)建立了一批节水农业试验示范基地, 并在该区凝聚了一批以中国科学院沈阳应用生态研究所等国家和省市级科研院所、大专院校科研人员为主体的长期致力于节水农业研究的科技力量。可喜的是, 在党和国家政策指导和老科学家的培养下, 一批基础理论扎实, 专业知识面宽, 并拥有博士、硕士学位的中青年科技骨干和管理人员已经成长起来, 工作在科研和管理第一线, 成为承担国家科研任务、进行科技攻关的主要力量。他们积累了丰富的节水农业研究的理论和实践经验, 取得了国家、中国科学院、农业部、辽宁省等高等级科研成果和成果奖 40 余项。这支队伍一直从事节水灌溉、农田水分和养分循环、农业机械化耕作领域的应用和应用基础性研究工作, 对东北地区节水农业和旱地农业进行了长期的系统研究, 承担了多项国家和省攻关、国家自然科学基金、国家“973”计划等重大项目的研究, 成功地研究了以输水为中心的管道输水、渠道防渗、模袋混凝土、坡面加固等技术; 以提高农田水分利用率和利用效率为中心的保护性耕作、作物需水耗水规律、春旱预测预报、土壤保水剂和改良剂研制与应用、优质冬灌、涌流灌溉、微灌、深松耕蓄水保墒、地面覆盖、坡耕地聚墒保肥、坐水免耕播种、水稻旱种湿管和覆盖湿润栽培、水肥耦合技术; 另外, 也开展了节水灌溉工程智能决策软件系统的研究。目前, 该地区拥有条件较好的可供开展高效节水农业研究的试验示范基地、定位实验观测场, 以及实验室和先进的科学仪器设备与测试手段。广大科技人员把传统的旱作技术与现代节水农业技术相结合, 研究水平不断提高, 取得了一批农业水资源高效利用的先进适用科技成果, 不但使一贯吃国家返销粮的阜新、朝阳等地区实现了粮食自给, 而且还将这些地区建成了国家商品粮基地、国家级半农半牧县和节水农业示范县, 为实现这些地区由农产品调入区转变成调出区的历史性突破做出了重大贡献^[20]。

第三节 社会经济条件

辽宁朝阳市行政划分成二市三县二区, 二市为北票市、凌源市, 三县为朝阳县、建平县、喀左县, 两区为龙城区和双塔区。全市 163 个乡(镇), 1682 个村, 总人口 328.2 万, 其中农业人口 290.5 万。2002 年统计(表 1-3), 全区耕地总面积 57.61 万 hm², 林地 70.82 万 hm², 牧地 32.77 万 hm²。全区粮食总产 177 663.48 万 kg, 农业人均产粮 541.3kg; 工农业总产值 40.3 亿元, 人均年收入 1227.9 元。

表 1-3 辽宁朝阳地区社会经济条件 (2002 年)

总耕地/万 hm ²				林地	牧地	总人口	人均产粮	人均收入
旱田	水田	菜田	小计	/万 hm ²	/万 hm ²	/万	/kg	/元
56.92	0.033	0.636	57.60	70.82	32.77	328.2	541.3	1227.9