

内蒙古农牧业高效节水 灌溉技术研究与应用

程满金 郭富强 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内蒙古农牧业高效节水 灌溉技术研究与应用

程满金 郭富强 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书主要围绕内蒙古自治区农牧业节水灌溉中存在的关键技术问题,重点解决大田玉米、马铃薯、大豆、牧草等主要作物在大型喷灌、膜下滴灌和大中型灌区畦灌条件下的高效节水灌溉技术、种植技术、农艺与农机等综合配套技术。主要内容包括:主要作物灌溉制度、大型灌区节水改造工程技术、玉米和牧草地埋式滴灌技术、主要作物水肥一体化技术、农艺与农机配套技术、农田残膜回收技术、主要作物综合节水技术集成模式、不同类型示范区高效节水灌溉工程效益分析、农牧业节水配套政策研究与高效节水灌溉技术推广应用情况。

本书可供从事农田水利、农业与农机管理的相关人员和从事节水灌溉工程设计与灌溉管理等方面的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

内蒙古农牧业高效节水灌溉技术研究与应用 / 程满金等著. — 北京:中国水利水电出版社, 2017.9
ISBN 978-7-5170-5922-6

I. ①内… II. ①程… III. ①农田灌溉—节约用水—研究—内蒙古②畜牧业—节约用水—研究—内蒙古 IV. ①S275②S81

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第239573号

书 名	内蒙古农牧业高效节水灌溉技术研究与应用 NEIMENGGU NONGMUYE GAOXIAO JIESHUI GUANGAI JISHU YANJIU YU YINGYONG
作 者	程满金 郭富强 等 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 23印张 546千字
版 次	2007年9月第1版 2017年9月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	98.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

主要编写人员名单

第 一 章	程满金	郭富强			
第 二 章	马兰忠 于 健	郭富强 李和平	程满金 白明照	史海滨 屈忠义	王 勇
第 三 章	程满金 李锡环	郭富强 张智丽	杨宏志 韩文光	高文慧 白雪英	徐宏伟 姜 杰
第 四 章	王 勇 曹雪松	李和平	陈瑞祥	郑和祥	佟长福
第 五 章	妥德宝	段 玉	牟晓东	王彦田	樊秀荣
第 六 章	妥德宝	段 玉	李 彬		
第 七 章	王全喜 程锦远	徐 龙 郭 炜	李凤鸣	李永龙	张 平
第 八 章	程满金 李瑞平 李 波	马兰忠 李 兴 王成刚	郭富强 郑和祥 程光远	妥德宝 宋日权 罗迪汉	王全喜 王 宇
第 九 章	程满金 王成刚 郑和祥 李 勇	马兰忠 程光远 佟长福 白巴特尔	郭富强 罗迪汉 宇 宙 张 珍	李瑞平 张沛淇 张文丽	宋日权 王 宇 史宽志
第 十 章	李 健	乌 兰	程满金	陈晓庆	
第十一章	程满金	郭富强			

⇒ 前 言

内蒙古自治区地处干旱、半干旱地区，水资源短缺且时空分布不均，资源性缺水与工程性缺水并存，已成为制约自治区经济社会发展的瓶颈。第一次全国水利普查资料显示，全区农业用水量为 160.026 亿 m^3 ，占全区经济社会用水总量的 81.6%，高于全国平均值约 20 个百分点。由于历史和现实的原因，自治区农牧业水利基础整体还比较薄弱，水利设施不足，老化失修严重，基础保障能力不强，主要表现为：一是用水比例大，用水效率低；二是用水结构不合理，工程性与资源性缺水并存；三是灌溉工程老化失修，节水灌溉发展滞后；四是灌溉发展缺乏刚性约束，资源浪费问题突出。因此，大力发展以节水为中心的基础设施建设势在必行。

2010 年，内蒙古自治区政府做出实施新增“四个千万亩”节水灌溉工程的决策，规划到 2020 年，全面完成 1000 万亩大中型灌区、1000 万亩井灌区、1000 万亩旱改水和 1000 万亩牧区高效节水灌溉建设任务，其中喷灌与滴灌等高效节水灌溉面积达到 74%，全区节水灌溉总规模将达到 6000 万亩，农牧业灌溉用水总量控制在 150 亿 m^3 ，粮食生产能力稳定在 250 亿 kg 以上，灌溉饲草地生产能力稳定在 105 亿 kg 以上，全区农田灌溉水利用系数由不足 0.5 提高到 0.7。截至 2015 年年底，全区农牧业有效灌溉面积已达到 5280 万亩，节水灌溉面积达到 3710 万亩，其中高效节水灌溉面积已占到 67.7%，全区农田灌溉用水量占全区经济社会用水量的比例逐年下降，水资源利用率逐年提高，为自治区经济社会发展提供了保障，取得了显著的经济、社会和生态环境效益。

为了保障内蒙古自治区新增“四个千万亩”节水灌溉工程健康可持续发展，自治区水利厅将科技支撑作为重要保障措施，于 2012 年启动实施了“内蒙古新增四个千万亩节水灌溉工程科技支撑”项目，目的是积极配合“四个千万亩”节水灌溉工程发展规划的实施，根据内蒙古区域特点和节水灌溉工程建设中存在的关键技术问题，组织水利、农业、农机、管理、政策研究等多部门多学科联合攻关，组建了由 30 个科研、高校和管理部门百余名技术人员组成的科研团队。项目坚持“需求牵引、应用至上”的原则，采取“现有成果与典型经验总结—田间试验与示范—综合技术集成—技术标准体系建立

—示范推广”的研究方法和技术路线，围绕玉米、大豆、马铃薯、牧草主要作物开展灌溉制度、水肥一体化技术、地埋式滴灌技术、农艺与农机配套技术、农田残膜回收技术、综合节水技术集成模式、工程效益分析、政策研究、技术标准、图集、典型设计、技术培训与宣传等试验研究与示范推广工作。初步建立了节水、农技、农机等综合技术集成推广体系，搭建了自治区高效节水灌溉技术科研推广平台。

经 2012—2015 年在 7 个示范区试验与示范，项目在 11 个方面共取得 76 项单项成果，制订高效节水灌溉系列地方标准 14 项，编制高效节水综合技术集成系列模式图 15 套，提出主要作物节水灌溉制度 9 套、地埋式滴灌关键技术 2 套、主要作物水肥一体化技术 4 套、农艺与农机配套技术 12 套、农田残膜回收技术 1 套，编制《内蒙古河套灌区渠道衬砌和渠系建筑物设计图集》《大型机组式喷灌工程设计与典型实例》《滴灌工程设计与典型实例》3 册，编制高效节水实用技术培训手册 11 册，制作高效节水系列宣传片 11 部，举办高效节水灌溉技术与地方标准培训班 14 次，获得实用新型专利 12 项，发表论文 44 篇。本专著是该项目的主要成果之一。

本书力求全面反映内蒙古自治区农牧业高效节水技术研究状况，特别是主要作物大型喷灌和膜下滴灌最新研究成果与生产实践取得的成功经验，供从事节水农业有关专业技术人员参考，以促进北方地区农牧业节水灌溉研究的进一步发展。

本书由项目科研团队按照承担的研究内容与章节分工撰写而成，由程满金、郭富强负责审定统稿。在项目实施和本书编写过程中，得到了内蒙古自治区水利厅、财政厅、内蒙古自治区水利科学研究院、水利部牧区水利科学研究所、内蒙古农业大学、内蒙古师范大学、内蒙古农牧业科学院、中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院、内蒙古自治区人民政府研究室、内蒙古科技宣传中心、河套灌区管理总局、赤峰市水利科学研究院、乌兰察布市水利技术推广站、河套灌区永济灌域管理局永济试验站，以及阿荣旗、松山区、商都县、临河区、达拉特旗、锡林浩特市和鄂托克前旗水务局、农业局和农机局等单位大力支持和积极配合，在此一并表示衷心感谢！

由于水平所限，书中可能存在疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

作 者

2016 年 10 月

⇒ 目 录

前言

第 1 章 综述	1
1.1 内蒙古自治区农牧业灌溉发展情况	1
1.2 内蒙古自治区新增“四个千万亩”节水灌溉工程发展规划纲要情况	3
1.3 内蒙古自治区新增“四个千万亩”节水灌溉工程科技支撑项目概况	5
第 2 章 主要作物优化灌溉制度试验研究	6
2.1 玉米膜下滴灌优化灌溉制度试验研究	6
2.2 玉米大型喷灌优化灌溉制度试验研究	14
2.3 大豆半固定式喷灌优化灌溉制度试验研究	30
2.4 大豆膜下滴灌优化灌溉制度试验研究	36
2.5 马铃薯膜下滴灌优化灌溉制度试验研究	50
2.6 加工番茄覆膜沟灌优化灌溉制度试验研究	64
2.7 青贮玉米中心支轴式喷灌优化灌溉制度试验研究	73
2.8 紫花苜蓿中心支轴式喷灌优化灌溉制度试验研究	81
2.9 饲料玉米卷盘式喷灌优化灌溉制度试验研究	90
2.10 本章小结	98
第 3 章 大型灌区节水改造工程技术试验研究	100
3.1 骨干渠道衬砌保温防冻胀试验研究	100
3.2 田间节水灌溉技术试验研究	114
3.3 灌区高效输配水技术集成与示范	131
3.4 渠灌区信息化技术	145
3.5 本章小结	151
第 4 章 地埋式滴灌技术试验研究	152
4.1 玉米地埋式滴灌关键技术试验研究	152
4.2 紫花苜蓿地埋式滴灌关键技术试验研究	164
4.3 本章小结	195
第 5 章 主要作物水肥一体化技术试验研究	197
5.1 大豆膜下滴灌水肥一体化技术试验研究	197
5.2 玉米膜下滴灌水肥一体化技术试验研究	205

5.3	马铃薯膜下滴灌水肥一体化技术试验研究	212
5.4	渠灌区玉米水肥一体化技术试验研究	220
5.5	本章小结	228
第6章	农艺配套技术研究 with 示范	230
6.1	适宜作物品种筛选	230
6.2	测土推荐施肥技术	233
6.3	栽培耕作技术	236
6.4	病虫草害防治技术	239
6.5	农艺配套技术集成模式	244
6.6	本章小结	247
第7章	农田残膜回收与农机配套技术研究 with 示范	249
7.1	农田残膜回收技术研究 with 示范	249
7.2	示范区农机推广应用情况	263
7.3	不同类型区喷滴灌设备适应性评价	268
7.4	示范区农牧业全程机械化配套技术模式	270
7.5	牧草大型喷灌信息化技术研发与应用	292
7.6	本章小结	295
第8章	主要作物高效节水综合配套技术集成模式研究	296
8.1	模式的集成与初步总结	296
8.2	模式提出与技术指标	302
8.3	本章小结	318
第9章	高效节水灌溉工程效益分析	319
9.1	大豆膜下滴灌示范区节水灌溉工程效益分析	319
9.2	玉米膜下滴灌示范区节水灌溉工程效益分析	323
9.3	马铃薯膜下滴灌示范区节水灌溉工程效益分析	328
9.4	青贮玉米大型喷灌示范区节水灌溉工程效益分析	333
9.5	紫花苜蓿和饲料玉米大型喷灌示范区节水灌溉效益分析	339
9.6	本章小结	343
第10章	内蒙古自治区农牧业节水配套政策研究	345
10.1	内蒙古自治区农牧业节水配套政策研究	345
10.2	内蒙古自治区农牧业水价综合改革政策研究	348
10.3	本章小结	353
第11章	高效节水灌溉技术推广应用情况	354
11.1	膜下滴灌技术推广应用情况	354

11.2	大型喷灌技术推广应用情况.....	355
11.3	大型灌区节水改造技术推广应用情况.....	356
11.4	本章小结.....	356
参考文献		357

第 1 章 综 述

1.1 内蒙古自治区农牧业灌溉发展情况

1.1.1 内蒙古自治区水资源概况

水是生命之源、生产之要、生态之基，是人类赖以生存和发展的重要物质资源。内蒙古自治区地处干旱、半干旱地区，水资源短缺且分布不均，资源性缺水与工程性缺水并存。内蒙古自治区水资源总量及人均和亩均水资源量见表 1-1。全区水资源总量为 545.95 亿 m^3 ，占全国水资源量的 1.9%，呼伦贝尔市、兴安盟水资源量占全区的 67%，通辽以西的十个盟市水资源量只占全区的 33%。全区人均水资源占有量为 2208.4 m^3 ，相当于全国人均水平，其中中度缺水的有 3 个盟市（人均水资源量 1000~2000 m^3 ），重度缺水的有 2 个盟市（人均水资源量 500~1000 m^3 ），极度缺水的 4 个盟市（人均水资源量低于 500 m^3 ）。全区耕地亩均占有水资源量 508.3 $\text{m}^3/\text{亩}$ ^①，为全国亩均占有水资源量 1400 $\text{m}^3/\text{亩}$ 的 31.5%。长期以来形成的水资源过度开发、粗放利用、水污染严重、水生态恶化等问题，已成为制约自治区经济社会可持续发展的主要瓶颈。

表 1-1 内蒙古自治区水资源总量及人均和亩均水资源量分布表

类 型	水资源总量/亿 m^3	人均水资源量/ m^3	耕地亩均水资源量/ m^3
全区	545.95	2208.4	508.3
呼伦贝尔市	316.19	12418.1	1843.13
兴安盟	49.50	3068.2	414.09
通辽市	37.47	1193.2	232.5
赤峰市	38.98	898.5	257.76
锡林郭勒盟	31.77	3088.7	887.23
乌兰察布市	12.90	602.9	96.77
呼和浩特市	11.88	413.3	139.22
包头市	7.26	273.4	114.69
鄂尔多斯市	29.23	1499.2	483.64
巴彦淖尔市	7.18	430.2	82.32
乌海市	0.27	50.9	257.77
阿拉善盟	3.33	1434.1	810.63

① 1 亩 $\approx$ 0.067 hm^2 。

全区经济社会用水总量为 196.14 亿 m³。其中居民生活用水量、农业用水量、工业用水量、建筑业用水量、第三产业用水量及生态用水量等数据见表 1-2。全区农业用水量占全区经济社会总用水量的 82%，高于全国平均水平约 20 个百分点。

表 1-2 全区经济社会用水总量分配表 单位：亿 m³

类型	居民生活用水	农业用水	工业用水	建筑业用水	第三产业用水	生态用水
用水量	5.0226	160.026	17.6045	0.3922	3.3149	9.7774

内蒙古自治区 2015 年农田灌溉水有效利用系数为 0.511，农业用水浪费严重，大力发展节水农业对优化用水结构、提高用水效率、缓解水资源供需矛盾、挖掘粮食生产潜力、确保内蒙古自治区粮食安全、水安全和生态安全具有十分重要的意义。

1.1.2 内蒙古自治区农牧业灌溉现状与存在问题

内蒙古自治区农牧业节水灌溉采取的主要措施有大型喷灌、膜下滴灌、低压管灌、渠道防渗、土地平整与畦田改造等。截至 2015 年，内蒙古自治区有效灌溉面积为 4630.35 万亩，节水灌溉面积为 3712.19 万亩，其中喷灌面积 756.12 万亩，滴灌面积 927.48 万亩，低压管灌面积 829.26 万亩，渠道衬砌 1196.18 万亩，其他灌溉面积 3.15 万亩。2010 年以来，内蒙古自治区加大了农牧业节水灌溉工程建设步伐，以新增“四个千万亩”节水灌溉工程和东北节水增粮行动为重点，“十二五”期间全区完成节水灌溉面积 2118 万亩，其中新增高效节水灌溉面积 1218 万亩，新增年节水能力 12 亿 m³，农田灌溉水有效利用系数由“十一五”期末的 0.50 提高到 0.52，为自治区粮食产量“十二连增”提供了有力支撑。

2010 年内蒙古自治区印发了关于新增“四个千万亩”节水灌溉工程发展规划纲要的通知。计划到 2020 年全区开展 1000 万亩大中型灌区节水改造建设、1000 万亩旱改节水建设、1000 万亩井灌区配套节水改造建设和 1000 万亩牧区节水灌溉饲草料地配套建设。喷灌面积 1463 万亩，占发展总面积的 38%；滴灌面积 1172 万亩，占发展总面积的 30%；渠道衬砌 1025 万亩，占发展总面积的 26%；低压管灌 240 万亩，占发展总面积的 6%。通过工程的实施，基本实现农牧业节水现代化，灌溉水利用率达到 0.7 以上，粮食总产能力稳定在 250 亿 kg 以上。

由于历史和现实的原因，内蒙古自治区农牧业水利基础整体还比较薄弱，水利设施不足，老化失修严重，基础保障能力不强。主要表现为：①农牧业用水比例大，用水效率低。灌溉用水占总用水量的 80%左右，高于全国平均值近 16 个百分点，灌溉水利用系数为 0.511，低于全国平均水平，农牧业用水比重大与用水效率低双重叠加直接加剧了资源性、工程性和结构性缺水的矛盾。②用水结构不合理，水资源分布与利用地区不均衡。地表水利用量占地表水资源量的 19%，地下水利用量占地下水可开采量的 75%，地表水开发少，地下水利用多，用水结构不合理；地区用水不平衡，局部地区水资源开发利用过度，西部巴彦淖尔市、鄂尔多斯市等水资源利用量基本达到了水资源的承载能力。③灌溉工程老化失修，节水灌溉发展滞后。机电井配套不完善，灌区骨干工程不配套和渠系建筑物老化失修情况十分严重；农牧业高效节水灌溉面积所占比重小，田间节水措施需要加

强。④灌溉发展缺乏刚性约束，资源浪费问题突出。

1.1.3 膜下滴灌技术发展情况

近年来内蒙古自治区重视实施膜下滴灌等高效节水灌溉工程的建设，膜下滴灌在内蒙古乌兰察布市、赤峰市和通辽市等地快速发展。截至2015年，滴灌面积已发展927.48万亩。自治区新增“四个千万亩”节水工程发展规划纲要中计划发展滴灌面积1172万亩，占发展节水灌溉总面积的30%。

膜下滴灌水肥一体化实现了水、肥资源同步高效利用，水分生产率大幅度提高，突破水肥资源约束，促进农业由资源消耗型向资源高效型转变。膜下滴灌运行管理的模式主要有农民联户经营模式、种植大户承包模式和农业种植公司经营模式。通过灌溉系统良好的管理，促进了农业集约化管理和新种植技术的引进，更好地实现了节水灌溉工程的效益。

1.1.4 大型喷灌技术发展情况

大型喷灌高效节水灌溉工程技术已成为内蒙古自治区发展高效节水灌溉的一项重要举措。截至2015年，全区大型喷灌面积已达756.12万亩。自治区新增“四个千万亩”节水工程发展规划纲要中计划发展喷灌面积1463万亩，占发展节水灌溉总面积的38%；内蒙古“节水增粮行动”安排大型喷灌面积242万亩，占发展节水灌溉总面积的30%。

1.1.5 大型灌区节水改造工程技术发展情况

内蒙古自治区共有大型灌区16处，有效灌溉面积1495.61万亩，中型灌区79处，有效灌溉面积600.33万亩。按照《内蒙古自治区农村牧区灌溉发展规划纲要（2010—2020年）》的计划，到2020年完成现有大中型灌区地表水节水改造配套建设面积1220万亩，其中现有11处大型灌区节水改造配套面积900万亩，现有中小型地表水灌区节水改造配套面积320万亩。

1.2 内蒙古自治区新增“四个千万亩”节水灌溉工程发展规划纲要情况

2010年内蒙古自治区印发了关于新增“四个千万亩”节水灌溉工程发展规划纲要的通知，建立统筹规划、政府主导、行业主管、部门协作、群众参与、运转高效的工作机制，将节水灌溉作为一项战略工程组织实施。

基本原则主要有：一是坚持以水定发展，高效节水的原则；二是坚持统筹规划、突出重点、协调发展的原则；三是坚持合理布局、分区指导的原则；四是坚持总量控制、定额管理、采补平衡的原则；五是坚持因地制宜，节约优先、开发与保护并重，地表水与地下水结合，最节水的措施与最严格的地下水取水管理制度并举的原则；六是坚持以水定草、以草定畜、水草畜系统平衡的原则；七是坚持建设与管理并重，节水措施与农技措施配套，注重效益的原则；八是坚持政府主导、部门配合、群众参与、整合资金、完善机制的原则。

通过新增“四个千万亩”节水灌溉工程的实施，到2020年，节水灌溉总规模达到6000

万亩左右,农牧业灌溉用水总量控制在150亿 m^3 左右,实现以下发展目标:一是农业灌溉用水实现零增长,地下水超采区用水实现负增长,农村牧区水资源高效利用、优化配置体系基本建立;二是基本实现农牧业节水现代化,农田和饲草地灌溉工程体系、服务体系基本完备,灌溉水利用率达到0.70以上;三是粮食总产能力稳定在250亿kg以上,种植业防灾减灾避灾能力和综合生产能力明显增强;四是灌溉饲草地总产稳定在105亿kg以上,牧区草原生态保护节水灌溉工程保障体系基本形成,实现水草畜均衡发展。

主要建设任务包括五方面:一是全面完成1000万亩大中型灌区节水改造任务;二是全面完成1000万亩井灌区节水改造任务;三是全面完成1000万亩旱改水灌区节水建设任务;四是全面完成1000万亩牧区节水灌溉饲草地配套建设任务;五是建立较为完善的水源工程体系、节水灌溉工程体系;建立较完善的灌溉管理和社会化、专业化服务保障体系。

具体保障措施主要有以下方面内容。

(1) 落实规划。新增“四个千万亩”节水灌溉工程发展规划纲要是内蒙古自治区今后一个时期农牧业节水灌溉发展的指导性文本。以纲要为指导,内蒙古自治区将编制“四个千万亩”节水灌溉工程实施方案,制订实施计划。各盟市、旗县要根据纲要对应作出规划和实施方案,经相关部门审核后,由当地人民政府批准实施。规划实施过程中,要建立“四个千万亩”节水灌溉工程实施的监测评价指标体系,定期开展评估检查,对工作进展、主要目标控制、实施效果等情况进行跟踪分析,推动建设任务和措施的落实。自治区将组织开展农田节水灌溉和牧区饲草地节水灌溉专题调研评估,为“四个千万亩”节水灌溉工程建设提供指导。

(2) 整合资金。“四个千万亩”节水灌溉工程是一项系统工程,资金保障是关键。要整合土地整理、农业综合开发、粮食增产计划、小农水、大中型灌区节水改造、农机补贴和社会资本投入等资金,建立以规划为统筹、项目为依托、部门相协调的政府资金整合新机制,防止重复立项、重复投资、建设标准低、措施不当、资源浪费和过度开发等各种问题的发生。

(3) 政策引导。研究出台有关节水灌溉设备材料补贴政策,引进、扶持和鼓励企业建设喷灌、滴灌设备生产基地,降低投入成本,加快节水灌溉发展。

(4) 严格制度。规划实施过程中要建立健全流域与区域相协调,城市与农村相统筹,地表水与地下水相结合,节约保护与开发利用相配套,总量控制、定额管理及地下水采补平衡的水资源管理体制和机制,确保水资源安全和可持续利用。牧区要实行严格的灌溉饲草地管理制度,重点对灌溉饲草地和旱作人工草地进行节水改造,严禁开垦草原,严禁改变饲草地用途,坚决杜绝乱垦草原和损害牧民群众利益的问题发生。

(5) 推进改革。深入推进水管体制改革,积极推进水价改革,大力推进水利工程产权制度改革,发展农牧民用水合作组织和专业化服务组织,全面加强工程建后管护,确保长期发挥效益。

(6) 科技支撑。以规划为统筹,以项目为依托,建立节水、农技、农机等综合技术集成推广体系,搭建高效节水灌溉技术科研推广平台,重点解决现有节水技术与农业种植技术、农机技术的集成与推广,开展大田玉米、马铃薯、大豆、饲草种植技术、节水灌溉技

术、农技农机技术等综合技术研究与示范攻关,开展地下水超采区水环境监测评估工作和节水灌溉集成技术标准体系建设。

1.3 内蒙古自治区新增“四个千万亩”节水灌溉工程科技支撑项目概况

开展“内蒙古新增‘四个千万亩’节水灌溉工程科技支撑项目”研究与示范,目的是积极配合自治区提出的“四个千万亩”节水灌溉工程发展规划的实施,根据内蒙古区域特色及节水灌溉工程建设中存在的的关键技术问题组织攻关,项目实施中注重试验研究、技术集成与不同类型示范区相结合,与国家小型农田水利重点县建设相结合,与国家东部“节水增粮行动”相结合,技术集成与政策研究相结合。在自治区6个不同类型示范区开展工程节水、田间节水、农技(农机)节水和管理节水综合配套技术集成研究与示范,建立水利、农艺、农机等综合节水技术集成模式,搭建高效节水灌溉技术科研推广平台。坚持“需求牵引、应用至上”的原则,采取“现有成果与典型经验总结→田间试验与示范→综合技术集成→技术标准体系建立→示范推广”的研究方法和技术路线,围绕玉米、大豆、马铃薯、牧草主要作物开展灌溉制度、水肥一体化、地埋式滴灌技术、农艺、农机配套技术、标准地膜与残膜回收技术与设备、综合节水技术集成模式、效益监测与评价、运行管理模式、政策研究、技术培训与宣传等工作,为自治区高效节水灌溉提供科学依据、示范样板和技术支撑保障作用。

项目经过四年的实施,开展了玉米、大豆、马铃薯、番茄、牧草5种作物灌溉制度与水肥一体化试验与示范,提出了膜下滴灌、喷灌和渠灌条件下主要作物节水灌溉制度新成果9套、膜下滴灌水肥一体化新技术3套、加工番茄起垄覆膜沟灌新技术1套、玉米和紫花苜蓿地埋式滴灌技术2套、农艺配套技术5套、农机配套和农田残膜回收等技术7套,完成内蒙古农牧业水价综合改革政策研究成果2项,形成了系统的高效节水综合技术体系。开发与创制了灌区节水灌溉信息化系统、大型喷灌机远程监测系统、新型网式过滤器、番茄开沟起垄覆膜一体机、大豆条播与穴播机等一批节水产品与装备,为高效节水灌溉实施提供了硬件保障。创建了适宜不同区域、不同水源条件的主要作物综合节水技术集成模式图15套,制定了节水灌溉地方标准14项,初步构建了自治区高效节水灌溉标准化体系,实现了水利、农艺、农机和管理技术的集成创新,填补了国内空白。提出了聚苯乙烯、聚氨酯保温材料、模袋混凝土在渠道衬砌工程中的应用技术,编制完成《内蒙古河套灌区渠道衬砌和渠系建筑物设计图集》,为北方渠灌区节水改造工程建设提供了技术支撑。创新了高效节水示范推广模式,编制了《滴灌工程设计与典型实例》和《大型机组式喷灌工程设计与典型实例》培训教材,制作了《玉米膜下滴灌技术》等11部节水技术宣传片、11册节水技术培训手册,培训基层技术人员和农牧民5000余人次。建立了高效节水灌溉示范区7处,示范区总面积7.3万亩,“十二五”期间全区累计推广节水灌溉面积2118万亩,其中高效节水灌溉面积1631万亩,取得了显著的经济效益、社会效益和环境效益。

第 2 章 主要作物优化灌溉制度试验研究

2.1 玉米膜下滴灌优化灌溉制度试验研究

2.1.1 试验设计

2012 年 6 月布置试验时, 试验示范区内已种植玉米, 因此在已种植的玉米地内设置了 3 个灌水处理小区, 即管灌区 (平地)、滴灌区 1 (平地)、滴灌区 2 (坡地)。每种处理设置 3 个重复, 每个重复小区的面积 90m^2 , 各处理之间设 3m 隔离保护区, 用水表控制和监测灌水量。

2013 年和 2014 年的灌水试验布置采用相同设计, 即采用田间对比试验设计, 均设计 4 个灌水处理。播种后 4 个处理的灌水定额均为 $12\text{m}^3/\text{亩}$, 此后灌溉的灌水定额, 处理 1 (GGDE1) 为 $12\text{m}^3/\text{亩}$, 处理 2 (GGDE2) 为 $16\text{m}^3/\text{亩}$, 处理 3 (GGDE3) 为 $20\text{m}^3/\text{亩}$, 处理 4 (GGDE4) 为 $24\text{m}^3/\text{亩}$, 见表 2-1。每个处理的灌水日期根据灌水定额为 $16\text{m}^3/\text{亩}$ 试验处理的适宜含水率下限计算确定。灌水次数根据玉米的生长发育阶段、土壤墒情、适时降雨量等情况实际确定, 灌水量采用水表计量。

表 2-1 试验灌水处理的灌水定额 单位: $\text{m}^3/\text{亩}$

生育时期	播种后	苗 期	抽穗期	灌浆期	成熟期
GGDE1	12	12	12	12	12
GGDE2	12	16	16	16	16
GGDE3	12	20	20	20	20
GGDE4	12	24	24	24	24

2015 年采用田间示范试验, 设计 2 个灌水处理, 灌水定额 GGDE1 为 $16\text{m}^3/\text{亩}$, GGDE2 为 $20\text{m}^3/\text{亩}$ 。每个处理的灌水日期根据灌水定额为 $16\text{m}^3/\text{亩}$ 试验处理的适宜含水率下限计算确定, 见表 2-2。灌水次数根据玉米的生长发育阶段、土壤墒情、适时降雨量等情况实际确定, 灌水量采用水表计量。

表 2-2 适宜含水率下限设计值 (以 $16\text{m}^3/\text{亩}$ 的处理进行控制)

生 育 时 期	播种后	苗 期	抽穗期	灌浆期	蜡熟期
适宜含水率下限 (占田间持水量)/%	65	60~65	65~70	70	65

2.1.2 试验区基础资料

1. 土壤情况

试验地土壤理化特性与肥力测定结果见表 2-3。

表 2-3 试验地土壤理化特性与肥力测定结果

项 目	土 层 深 度			平 均
	0~20cm	20~40cm	40~60cm	
土壤质地	砂壤土	砂壤土	砂壤土	—
干容重/(g/cm ³)	1.45	1.5	1.34	1.43
田间持水量/%	21.1	21.05	21.56	21.24
pH 值	8.22	8.42	8.26	8.3
有机质/(g/kg)	8.9	8.3	5	7.4
速效氮/(mg/kg)	37.2	29.1	14.7	27
速效磷/(mg/kg)	1.2	0.9	0.3	0.8
速效钾/(mg/kg)	112.6	109.5	77.9	100

2. 作物耕作及施肥情况

2012—2014 年玉米膜下滴灌灌溉制度试验作物及耕作与施肥情况见表 2-4。

表 2-4 试验作物及耕作、施肥情况

作物情况		2012 年	2013 年	2014 年
作物品种		先玉 335	先玉 335	浚单 29
耕作形式		覆膜+机播		
株行距密度		株距：21~23cm；宽行：80cm；窄行 40cm；密度：4800~5300 株/亩		
作物生育 阶段观测	播种	4 月 27 日	5 月 5 日	4 月 28 日
	出苗	5 月 20 日	5 月 20 日	5 月 15 日
	拔节	6 月 11 日	6 月 11 日	6 月 10 日
	抽雄	7 月 15 日	7 月 15 日	7 月 16 日
	乳熟	8 月 30 日	8 月 30 日	9 月 1 日
	收获	9 月 30 日	10 月 3 日	10 月 7 日
	全期	157 天	152 天	163 天
实际施肥情况		亩施农家肥 1000kg，施底肥 N 20kg/亩、P ₂ O ₅ 7.5kg/亩、K ₂ O 8.5kg/亩，生育期追肥 2 次，第 1 次施用长效复合肥 30kg/亩，第 2 次施用液态肥 6.5kg/亩		

3. 气象情况

2012—2014 年试验区主要气象要素见表 2-5。

表 2-5 试验区主要气象要素

项 目		5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	合计/平均
多年 平均值	降雨量/mm	36.4	62	108.6	74.8	32.9	314.7
	气温/℃	17.37	21.14	24.17	22.51	15.84	20.21
	蒸发量/mm	77.43	79.86	89.93	104.72	89.43	441.36
	风速/(km/h)	3.04	2.41	2.05	1.81	1.95	2.25

续表

项 目		5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	合计/平均
2012 年	降雨量/mm	34.5	158.3	80.5	40.5	72.1	385.9
	有效降雨量/mm	34.5	126.6	64.4	40.5	57.7	323.7
2013 年	降雨量/mm	5	198.6	92.5	80	27	403.1
	有效降雨量/mm	5	139	74	64	27	309
2014 年	降雨量/mm	72	185.4	11.8	28.8	38	336
	有效降雨量/mm	57.6	129.8	11.8	28.8	38	266

2.1.3 试验成果

1. 各年实测的灌水时间、灌水量和产量

2012 年 3 个灌水处理的灌水时期及灌水量见表 2-6。各处理在玉米播种前/后、拔节期、抽穗期和灌浆期分别灌水一次，其中管灌区（平地）玉米各生育期的灌水定额分别为 50m³/亩、40m³/亩、40m³/亩和 40m³/亩，灌溉定额为 170m³/亩。滴灌区 1（平地）和滴灌区 2（坡地）各生育期的灌水定额相同，灌水定额分别为 20m³/亩、20m³/亩、25m³/亩和 25m³/亩，灌溉定额均为 90m³/亩。

表 2-6 2012 年试验地玉米各处理灌水量

处理方式	生育阶段灌水定额/(m ³ /亩)					灌溉定额 /(m ³ /亩)
	播种前/后		拔节期	抽穗期	灌浆期	
管灌区（平地）	50	—	40	40	40	170
滴灌区 1（平地）	—	20	20	25	25	90
滴灌区 2（坡地）	—	20	20	25	25	90

2013 年的试验地实际灌水情况见表 2-7。玉米拔节期—抽穗期试验示范区的降雨量比较丰沛，拔节期—抽穗期只进行了一次灌水；受 9 月中旬降雨的影响，在玉米乳熟期—收获期也没有实施灌水。

表 2-7 2013 年试验地玉米各处理灌水时间及灌水量

处理方式	生育阶段灌水时间及灌水定额/(m ³ /亩)					灌溉定额 /(m ³ /亩)
	播种后	苗 期	抽穗期	灌浆期	成熟期	
GGDE1	12	12	12	12	12	60
GGDE2	12	16	16	16	16	76
GGDE3	12	20	20	20	20	92
GGDE4	12	24	24	24	24	108

2014 年实验地实际灌水情况见表 2-8。试验前期降雨量较多，后期降雨量较少，因此，在 7 月以前只对试验田灌溉一次，而 7 月、8 月两个月降雨量只有 82mm，这期间试验田共灌水 5 次，9 月试验田降水量比较稀少，为了满足玉米植株的正常生长，灌