

塔里木盆地中盐度地下水

棉花膜下滴灌技术开发与示范



周金龙 胡顺军 汪丙国 李 巧
白春艳 贾瑞亮 纪媛媛 王毅萍 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

塔里木盆地中盐度地下水

棉花膜下滴灌技术开发与示范

周金龙 胡顺军 汪丙国 李 巧
白春艳 贾瑞亮 纪媛媛 王毅萍 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为新疆维吾尔自治区“十一五”重大科技专项课题“中盐度地下水源膜下滴灌技术开发与示范(200731137-3)”和国家科技支撑计划课题子课题“不同水质膜下滴灌棉田水盐调控技术集成与示范(2007BAD38B01-4)”成果的系统总结。主要包括:中盐度地下水(矿化度 $2\sim 7\text{g/L}$)开发利用的必要性与可行性分析,塔里木盆地中盐度地下水资源量及水质评价,棉花膜下滴灌灌溉水矿化度指标,膜下滴灌棉花的土壤盐分生长函数与耐盐指标,膜下中盐度地下水滴灌棉田水盐调控技术,中盐度地下水膜下滴灌技术集成与示范。

本书可供农业水土工程、地下水科学与工程等专业的本科生、研究生及相关专业的工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

塔里木盆地中盐度地下水棉花膜下滴灌技术开发与示范 / 周金龙等编著. — 北京:中国水利水电出版社, 2013.8

ISBN 978-7-5170-1314-3

I. ①塔… II. ①周… III. ①塔里木盆地—棉花—地膜覆盖栽培—地下水—滴灌 IV. ①S562.071

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第303779号

审图号:GS(2013)2409号

书 名	塔里木盆地中盐度地下水棉花膜下滴灌技术开发与示范
作 者	周金龙 胡顺军 汪丙国 李 巧 编著 白春艳 贾瑞亮 纪媛媛 王毅萍
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
经 售	电话:(010) 68367658(发行部) 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
刷 印	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	175mm×245mm 16开本 7.5印张 102千字 1插页
版 次	2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书中的“中盐度地下水”是指矿化度(TDS) 2~7 g/L、可以直接或间接地用于灌溉的地下水。新疆塔里木盆地是我国最重要的棉花主产区之一,地表水及地下淡水($\text{TDS} \leq 2\text{g/L}$)严重短缺,但是在灌区内分布有较丰富的中盐度地下水,合理利用灌区内中盐度地下水对于缓解塔里木盆地灌区水资源短缺,提高灌溉水保证率具有十分重要的作用。

本书是新疆维吾尔自治区“十一五”重大科技专项“膜下滴灌节水技术与新产品开发(200731137)”课题“中盐度地下水源膜下滴灌技术开发与示范(200731137-3)”和国家科技支撑计划课题“干旱区膜下滴灌农田盐分调控与微咸水利用技术研究”子课

题“不同水质膜下滴灌棉田水盐调控技术集成与示范(2007BAD38B01-4)”成果的总结,课题及子课题的主要研究任务为:

(1) 塔里木盆地中盐度地下水资源评价。

(2) 膜下滴灌棉花耐盐指标及灌溉水矿化度控制指标研究。

(3) 膜下中盐度地下水滴灌棉田水盐调控技术研究。

(4) 中盐度地下水源膜下滴灌技术体系和灌排模式集成与示范。

课题主持单位为新疆农业大学,参加单位为中国科学院新疆生态与地理研究所、新疆塔里木河流域巴音郭楞管理局和中国地质大学(武汉);课题主持人为周金龙(新疆农业大学),主要参加人为胡顺军(中国科学院新疆生态与地理研究所)、汪丙国[中国地质大学(武汉)]、姚新华(新疆塔里木河流域巴音郭楞管理局)、杨鹏年(新疆农业大学)、李巧(新疆农业大学)、王新友(新疆塔里木河流域巴音郭楞管理局)、李冰(新疆塔里木河流域巴音郭楞管理局)、王毅萍

(新疆农业大学)、栗现文 [中国地质大学 (武汉)]、白春艳 (新疆农业大学)、贾瑞亮 (新疆农业大学)、陈秀龙 (中国科学院新疆生态与地理研究所)、郭晓静 [中国地质大学 (武汉)]、赵玉杰 (新疆农业大学)、李阳 (新疆农业大学)、杨广焱 [中国地质大学 (武汉)]; 执行期为 2007 年 9 月至 2010 年 12 月。课题已于 2011 年 6 月通过新疆维吾尔自治区科学技术厅验收, 并于 2013 年 8 月通过新疆维吾尔自治区科技成果鉴定。

本书共分 4 章。内容包括立题依据与设计指导思想; 研究过程与研究结果; 关键技术、技术创新点与适用范围; 推广应用情况、社会经济与生态环境效益及存在的不足。

本书由周金龙、胡顺军、汪丙国、李巧、白春艳、贾瑞亮、纪媛媛、王毅萍编著。具体分工如下: 前言由周金龙编写; 第 1 章由周金龙、白春艳、纪媛媛编写; 第 2 章由周金龙、胡顺军、汪丙国、李巧、贾瑞亮、王毅萍编写; 第 3 章由周金龙、胡顺军、汪丙国编写; 第 4 章由周金龙、李巧编写。全书由周金龙负

责统稿。

在课题执行过程中得到新疆维吾尔自治区人大副主任董新光教授、新疆生产建设兵团水利局原总工程师顾烈峰教授级高级工程师、清华大学书记胡和平教授、清华大学水资源研究所所长倪广恒教授、中国地质大学（武汉）靳孟贵教授、西安理工大学研究生院院长王全九教授、新疆水利科学研究院书记张江辉研究员、新疆维吾尔自治区水利厅科教处处长王新教授级高级工程师、新疆农业大学水利与土木工程学院副院长马英杰教授、新疆农业科学院冯广平研究员等专家的指导，在此表示衷心的感谢。

因编著者水平有限，书中难免存在缺点和疏漏，恳请读者批评指正。

作者

2013年7月28日

目 录

前言

1 立题依据与设计指导思想	1
1.1 选题的针对性	1
1.2 技术路线和研究方法	2
1.3 国内外同类研究动态	4
1.4 试验具备的条件	15
1.5 主要成果与内容的创新性	18
1.6 主要技术指标和经济效果	27
2 研究过程与研究结果	30
2.1 塔里木盆地中盐度地下水资源评价	30
2.2 膜下滴灌棉花耐盐指标及灌溉水矿化度控制指标	43
2.3 膜下中盐度地下水滴灌棉田水盐调控技术研究	62

2.4	中盐度地下水源膜下滴灌技术体系和灌排模式	
	集成与示范	74
2.5	高盐度地下水 (7~10g/L) 棉田膜下滴灌技术	
	初步研究	92
3	关键技术、技术创新点与适用范围	94
3.1	关键技术	94
3.2	技术创新点	97
3.3	适用范围	98
4	推广应用情况、社会经济与生态环境效益及存在的	
	不足	99
4.1	推广应用情况	99
4.2	社会经济与生态环境效益	104
4.3	应用前景	105
4.4	存在不足	106
	参考文献	108

1 立题依据与设计指导思想

1.1 选题的针对性

《中华人民共和国水法》第二十四条规定：在水资源短缺的地区，国家鼓励对雨水和微咸地下水的收集、开发、利用；《全国水利发展第十个五年计划和 2010 年规划》明确提出“积极开展雨洪资源利用，加大城市及工业废污水的处理与再利用，以及开发利用微咸地下水等水资源”。《中国地下水资源与环境调查》（国土资源部，2005）结果表明，全国矿化度在 $1 \sim 3\text{g/L}$ 之间的微咸地下水天然资源 280 亿 $\text{m}^3/\text{年}$ ，矿化度在 $3 \sim 5\text{g/L}$ 之间的半咸水天然资源为 120 亿 $\text{m}^3/\text{年}$ 。《新疆地下水资源调查与评价》（新疆农业大学等，2004）结果表明，塔里木盆地平原区矿化度 $3 \sim 5\text{g/L}$ 的微咸地下水分布面积为 43321km^2 ，占全疆矿化度 $3 \sim 5\text{g/L}$ 的微咸地下水分布面积（ 44264km^2 ）的 97.9%。开展中盐度地下水可利用量及膜下滴灌技术开发与示范研究，对于防治塔里木盆地平原区土壤盐渍

化和地下水盐化,形成中盐度地下水的合理利用技术及灌排模式,促进当地农牧业生产、提高农牧民经济收入、保护脆弱的水土环境具有重要意义,本课题的研究成果可为塔里木盆地平原区水土资源的可持续利用提供重要的技术支撑,同时也可作为国内类似地区中盐度地下水的合理开发利用提供借鉴。

1.2 技术路线和研究方法

1.2.1 技术路线

依据课题涵盖的研究内容,本课题所采取的技术路线是:在学习、引进、吸收国内外先进农业节水技术成果的基础上,针对当前农业节水中亟待解决的两个关键问题,即膜下滴灌和中盐度地下水利用问题,开展有目标、有实用性的技术研究。首先认真学习、分析、总结已有的研究成果和比较成熟的膜下滴灌及中盐度地下水利用技术,进一步明确目前存在的问题及课题重要的研究方向;对膜下滴灌和中盐度地下水利用的机理进行研究和总结,特别是对膜下滴灌引起的土壤水盐变化特征及调控技术进行深入研究;开展田间实验,分析在不同条件下膜下滴灌和中盐度地下水利用的节水增产效应、生态环境效应,提出技术指标;对各种膜下滴灌和中盐度地下水利用进行评价,从中寻找适用的节水技术,对这些技术进行优化组合,

形成集成的技术体系，进行示范，并在实践中推广应用。研究开发思路与技术路线如图 1-1 所示。

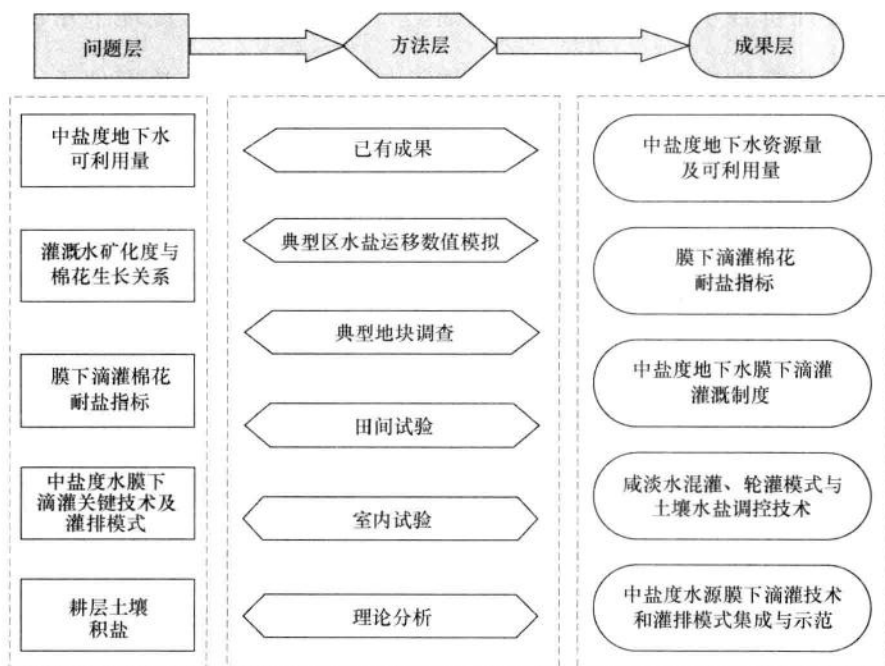


图 1-1 研究开发思路与技术路线图

1.2.2 研究方法

膜下滴灌是一种将节水灌溉与覆膜种植相结合的盐碱地开发利用和次生盐碱化防治技术。它涉及土壤物理学、土壤化学、土壤水动力学、土壤溶质迁移、农业水土工程、土壤改良等多种学科，因此，是由多学科相互交叉所形成的前沿问题。对于这一复杂问题我们结合国内外相关问题的研究成果，采用

前人研究成果二次开发与补充调查、理论分析与实验研究、室内外实验与大田调查、实验研究与数学模拟相结合的方法,在分析评价各项水盐调控技术基础上,提出解决中盐度地下水源棉花滴灌土壤次生盐碱化治理技术与方法,建立中盐度地下水灌排模式与安全控制技术体系。

课题的重点是膜下滴灌和中盐度地下水利用,所有的研究活动都围绕这两个主体展开。膜下滴灌研究的重点是总结实践中广泛应用的各种膜下滴灌模式,结合理论分析、数值模拟和田间试验,建立科学的灌溉制度和田间土壤水盐调控的技术体系。中盐度地下水利用研究的重点是如何有效地利用中盐度地下水资源而不会对土壤造成大的影响,特别是如何和膜下滴灌结合,建立科学的膜下中盐度地下水滴灌技术体系。课题的最终目标是各种膜下滴灌和中盐度地下水利用技术的集成和示范,为新疆乃至更大范围应用膜下滴灌技术提供技术支撑。

1.3 国内外同类研究动态

近几十年来随着国民经济和工农业生产的迅速发展,各地用水量和需水量不断增加,导致地表水、地下淡水资源供求矛盾日益突出,合理开发中盐度地下水资源作为替代水资源越来越受到各国关注。

《中华人民共和国水法》第二十四条规定：在水资源短缺的地区，国家鼓励对雨水和微咸地下水的收集、开发、利用。中盐度地下水是指矿化度为 $2\sim 7\text{g/L}$ 、能直接或间接用于农业灌溉的地下水。利用中盐度地下水进行农业灌溉可缓解作物干旱，为植物生长提供所需要的水分，特别是在淡水资源缺乏而微咸水、咸水资源相对丰富的地区，不仅可以缓解淡水资源匮乏的问题，而且有利于调节地表水、地下水和土壤水，在不断循环利用咸水和补充淡水的过程中，咸水水质本身也可以得到改造。但与此同时利用中盐度地下水灌溉也给土壤带入了盐分，造成潜在盐渍化危险。不恰当的中盐度地下水灌溉会引起作物减产，土壤积盐抑制作物根系吸收水分，可能会给作物根系造成盐分胁迫，导致土壤盐渍化甚至土地荒芜。此外，大面积进行咸水灌溉，会引起水资源时空分布改变，使区域性水资源均衡要素受到影响。因此，研究中盐度地下水资源灌溉的增产效益及土壤、生态环境效益，对化解水资源危机、优化灌溉模式、推动安全高效地发展农业生产具有重要指导意义。

1.3.1 中盐度地下水的形成原因

1. 华北地区中盐度地下水形成的原因

华北平原中盐度地下水分布面积占总面积一半以上，对其改善利用与规模开发，是缓解水资源短缺矛盾的有效途径。该

地区中盐度地下水形成的自然原因归结为两点：

(1) 海相原生咸水成因类型，受古地理、古气候、第四纪冰期—间冰期、海侵—海退、蒸发—溶解等综合地质作用过程影响，海水被封存于地下而形成原生类型的高矿化咸水；

(2) 干旱次生成因类型咸水，是淡水在地下水循环过程中，在气候及古地理环境等因素的影响下矿化为咸水的次生类型。

当然，人类活动也是导致中盐度地下水形成的主要原因。过量开采深层地下水造成上部咸水含水层水位和深层淡水含水层水位数十米的水头差，给上部咸水的越流补给提供了水动力条件，另外降雨入渗占据原咸水的浅部空间，最终导致浅层咸水淡化，深层淡水咸化，咸淡水界面向下移动。在滨海地区，过量开采地下淡水导致地下水位下降，咸淡水界面之间的动态平衡被打破而出现海水向陆地含水层入侵的现象，引起地下淡水水质咸化。总之，华北地区中盐度地下水是由越流补给和海水入侵双重作用引起的。

2. 西北地区中盐度地下水形成的原因

西北内陆平原区降雨稀少，气候干燥，地面蒸发强烈，大气降水对地下水的补给极其微弱，水资源紧缺，水土流失严重，生态环境极度脆弱，日益突出的人—水—土地与生态环境之间矛盾加剧了生态环境退化情势，影响着西北社会经济可持

续发展。

李文鹏等(1999)将内陆干旱盆地平原区从山前至盆地中心大致划为三个盐分迁移特征带,分别为盐分溶滤带、盐分迁移带和盐分聚集带,以此来揭示中国西北内陆干旱盆地地下水形成演化模式。由于地下水的积极循环交替使溢出带上游含水层骨架始终处于淋滤状态,可溶盐含量极低,形成了难溶而稳定的地球化学背景,地下水咸化程度很低。溢出带附近,因地下水位埋藏变浅甚至出露成泉,经长期蒸发浓缩作用成为地下水咸化形成的主要影响因素,因此仅在浅表地层中积盐,形成中盐度地下水,下部仍为TDS较低的淡水含水层。从地质历史过程看,溢出带浅表地层中的盐分最终还要被地表水或地下水带至下游区。在地下水流系统的作用下,盐分总是从下部带至地质历史时期的地表面,经蒸发作用而遗留于沉积物表层,从而形成上咸下淡的盐分分布格局。最终,盐分被水流携带至盐分聚集带,经过丰水期的湖水补给地下水,及枯水期的反补给,再加上强烈蒸发作用,使盐分析出,形成新的盐层。

另外,中盐度地下水由人类活动引起咸水入侵而产生:

(1) 咸水入侵灌区。大规模开采地下水,使灌区中部形成降落漏斗,改变了地下水的补给径流条件,造成地下水倒流,使高矿化咸水大量入侵,灌区地下水水质咸化。

(2) 咸水入侵井水。在西北内陆部分区域,第三系含水层

中夹有含石膏砂岩含水层，水质苦咸，当水井穿过此层时，不但受到这层苦咸水的横向入侵，而且由于其具有承压性，往往越流垂直侵入上层和下层淡水体，使整个井水水质变咸。

(3) 咸水入侵城市。大量开采城区地下水，引起地面沉降，使咸水入侵水源地，导致水源地水质急剧恶化，造成水源地报废，使得饮水困难。

1.3.2 中盐度地下水灌溉的必要性与可行性

1. 地表水、地下淡水紧缺，区域缺水严重

我国是一个水资源严重匮乏的国家，淡水资源总量为 2.81 万亿 m^3 ，居世界第 6 位，人均水资源占有量不足 2200 m^3 ，比世界人均占有量的 1/4 还低，是全球公认的 13 个水资源贫乏国家之一。

因此，在淡水资源缺乏而中盐度地下水资源相对丰富的地区，特别是在北方干旱地区或遇干旱年份，开发利用中盐度地下水资源不失为解决当地淡水资源短缺的良策。

2. 中盐度地下水开采潜力大

我国地下咸水资源量丰富，据国土资源部 2003 年调查数据，全国矿化度 1~3g/L 的微咸地下水天然资源为 277 亿 m^3 ，其中可利用的微咸地下水资源为 200 亿 m^3 /年，微咸地下水实际开采资源为 130 亿 m^3 /年；矿化度 3~5g/L 的地下半咸水天