

长期膜下滴灌棉田盐分 演变规律研究

王振华 郑旭荣 杨培岭 著



中国农业科学技术出版社

长期膜下滴灌棉田盐分 演变规律研究

王振华 郑旭荣 杨培岭 著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

长期膜下滴灌棉田盐分演变规律研究 / 王振华, 郑旭荣, 杨培岭著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2015.3

ISBN 978-7-5116-1984-6

I. ①长… II. ①王… ②郑… ③杨… III. ①棉花-地膜栽培-滴灌-土壤盐渍度-研究 IV. ①S562.071

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 014332 号

责任编辑 李冠桥

责任校对 贾晓红

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电话 (010) 82109705 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)
(010) 82109703 (读者服务部)

传真 (010) 82106625

网址 <http://www.castp.cn>

经销者 各地新华书店

印刷者 北京富泰印刷有限责任公司

开本 710mm × 1 000mm 1/16

印张 16.25

字数 241 千字

版次 2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷

定价 50.00 元

内容提要

本书围绕典型绿洲区长期膜下滴灌棉田土壤盐分演变规律进行论述，主要研究分析了长期膜下滴灌棉田土壤水盐分布及变化特征和长期膜下滴灌棉田土壤盐分演变规律，提出了长期膜下滴灌棉田适宜灌溉定额及灌溉调控对策，全书共分为六章。

本书可作为农业水土工程、土壤物理等专业的研究生和高年级本科生的参考教材，也可供相关专业科研、教学和工程技术人员参考。

前言

土壤盐渍化始终是世界性土地资源与生态环境领域亟待解决的重要问题之一,特别是在干旱和半干旱地区,仍然是制约人类生活的重要障碍。

干旱区绿洲是干旱区最敏感的部分。维持绿洲水土平衡、水盐平衡并保持适宜的绿洲规模对维护绿洲生态系统的稳定具有关键作用。西北干旱地区农业现代化及快速发展不仅关系到西部地区的发展和经济繁荣,也直接影响国家的生态安全,必须以干旱区生态大系统的可持续性和安全性为前提。党的“十八大”报告指出,建设生态文明,是关系人民福祉,关系民族未来的长远大计。把生态文明建设放在突出地位。

新疆维吾尔自治区(全书简称新疆)地处欧亚大陆腹地,是典型的大陆性干旱地区,干旱缺水是制约区域农业生产、经济社会可持续发展的重要因素。1996年,新疆兵团引进滴灌技术并与大面积推广的薄膜覆盖技术相结合形成膜下滴灌技术,试验示范获得成功。从此,翻开了新疆节水农业革命性的一页。膜下滴灌面积从最初的 1.67hm^2 扩大到2001年 $500\times 10^4\text{hm}^2$,2002年 $1.20\times 10^5\text{hm}^2$,到2014年膜下滴灌总面积 $2.5\times 10^6\text{hm}^2$ 以上。新疆已成为我国节水农业的重要示范基地。

新疆的膜下滴灌从开始试验示范到规模化推广均主要应用在棉花作物上。截至2014年,新疆连续22年实现棉花面积、单产、总产和调出量达到全国第一。新疆棉区面积占全国的比例超过30%,年均产量超过全国40%,2011年新疆棉花产量实际收购达到 $3.38\times 10^6\text{t}$,占全国总产的51.2%,突破国家棉花总产的一半,2006—2010年全国棉花产量年均增长0.7%,而新疆增长16.9%,因此,新疆膜下滴灌棉花产业对国家棉花

战略安全及全球棉花产业均举足轻重。

由于降水稀少、蒸发强烈、气候干旱，新疆有着丰富的天然盐源，在全疆许多地区都分布着含有大量盐类的白垩纪和第三纪地层，这些都为易溶性盐分在土壤中大量聚集创造了极为有利的条件。据统计，新疆盐碱荒地和盐碱农田面积达 $2.18 \times 10^7 \text{hm}^2$ ，在 $4.08 \times 10^6 \text{hm}^2$ 耕地面积中，受不同程度盐化危害的面积为 $1.23 \times 10^6 \text{hm}^2$ ，占耕地的 30.12%，占低产田面积的 63.20%，盐碱危害严重制约了新疆农业经济的可持续发展。

随着新疆规模化膜下滴灌技术的推广应用，特别是在众多盐碱地上的应用，由于很多排碱沟渠被填平，虽然短时间内膜下滴灌技术显现了其强大生命力和影响力，既节水增产，还便于管理，特别是能开发盐碱地垦荒种植，扩大耕地面积，提高了经济效益，但随着膜下滴灌应用年限的增长，土壤是否继续向盐碱化或改良化方向发展值得探索。

膜下滴灌在我国西北干旱区特别是新疆盐碱地上得到广泛应用，由于膜下滴灌理论上仅调节土壤盐分在作物根系层的分布状况，盐分并未排出土体，因此，长期膜下滴灌条件下作物根区土壤盐分是否累积是决定这一灌溉方式在干旱区能否可持续应用的重要问题。

自 1996 年推广应用膜下滴灌技术已经 18 年了，虽然不断有专家学者针对膜下滴灌条件下的作物灌溉制度、水盐调控等进行研究，研究成果对于指导农田水盐调控和改良也起到了积极作用。但是，这些成果尚不能回答长期膜下滴灌盐分时空迁移演变的问题，难以反映长期膜下滴灌田间盐分真实的变化趋势，长期滴灌盐分迁移规律及灌溉作用机理不明，不能给决策者提供科学合理的解释和参考依据。

因此，本书结合有关国家科研项目于 2009—2013 年连续 5 年在北疆典型绿洲区新疆石河子 121 团，针对长期膜下滴灌农田土壤盐分迁移规律及灌溉影响机理进行了系统研究，并探讨了长期膜下滴灌农田土壤盐分灌溉调控对策。

本书具体定点监测了 5 块膜下滴灌应用 2~16 年的农田盐分变化，研究区荒地 0~40 cm 土层平均含盐量 25~70g/kg，地下水埋深 2~4m，土

壤以不同程度盐化砂壤土为主，棉田平均灌溉定额 816.15mm，灌溉水矿化度 0.4g/L 左右。基于以上条件研究揭示了长期膜下滴灌农田土壤盐分演变规律，提出了相应灌溉调控对策，本书成果可为干旱区膜下滴灌可持续应用提供重要理论依据。

本书的主要研究结论如下。

1. 长期膜下滴灌棉田土壤水盐分布及变化特征

膜下滴灌灌水显著影响并改变了农田土壤自然状态下的水盐分布格局。现行灌溉制度条件下，在观测深度范围（0~140cm）内，长期膜下滴灌农田土壤水分整体偏高，灌水后农田近似整体湿润分布，膜内、膜间及棉花不同生育阶段土壤水分含量均较高且无显著差异，且年际间差异不大。灌水、作物耗水及蒸发综合影响膜下滴灌棉田土壤水盐分布及变化，垂直影响深度可达 300cm，即可以达地下水位置。土壤盐分含量及分布随膜下滴灌应用年限发生较大的时空变异，总体上，水平方向膜间盐分含量较高且变异较大，膜内盐分含量较低，特别是在 0~100cm 深度范围总体较低，比较适宜棉花生长；垂直方向表层盐分变异较大，越往深层盐分变异程度越小，不同水平位置之间盐分差异也越来越小，整体不断降低；土壤盐分在年内棉花生长期整体呈降低趋势，特别是在 4 月苗期灌水后，降低趋势最为显著；随膜下滴灌应用年限增加，年际间盐分变异系数及差异性亦逐渐降低。

2. 长期膜下滴灌棉田土壤盐分演变规律

现行灌溉制度下膜下滴灌应用年限对农田 0~300cm 深度范围土壤盐分均具有显著影响，单次灌水后膜下滴灌棉田土壤盐分在水平及垂直方向均发生显著迁移，灌溉是棉田盐分迁移的主要因素，盐分运动对流作用显著；多次灌水后棉田盐分呈整体向下迁移变化，近似一维垂直运动。总体上盐分均值随滴灌年限呈幂函数前快后慢的降低趋势，滴灌应用前 3 年农田盐分相对周边荒地土壤盐分迅速降低，属于快速脱盐阶段；滴灌应用 3~8 年脱盐率呈线性增加，属于稳速脱盐阶段，其中，滴灌 7 年以后盐分降至 5g/kg 以下；滴灌应用 8~16 年，脱盐率稳定在 80%~90%，盐分

随滴灌应用年限降低缓慢,滴灌应用 16 年时,盐分均值在 3g/kg 以下。根据现行灌溉制度下不同深度土壤盐分与滴灌应用年限的相关关系,要使农田盐分均值降至 5g/kg 以下,0~60cm、0~100cm、0~140cm 不同剖面需要的滴灌应用年限分别为 5.69 年、6.08 年、6.53 年。膜下滴灌应用年限越长,田间盐分相对越低,盐分降幅也越来越小,并将处于一种动态平衡状态。

3. 长期膜下滴灌棉田适宜灌溉定额及灌溉调控对策

膜下滴灌棉田根区土壤盐分含量显著影响棉花生长及产量,现行膜下滴灌灌溉制度对于盐分淋洗具有重要意义。随着根区(0~60cm 深度)盐分降低,应调整苗期灌水定额及灌溉定额。滴灌 6 年以内,根区盐分含量较高,均值在 5~24g/kg,应强化冲洗进行压盐,苗期冲洗定额宜在 104.5~350mm,苗期灌水量宜在 161.7~400mm,灌溉定额宜在 855.0~1 660mm;滴灌 6~9 年,根区盐分均值 3~5g/kg,基本满足耕种条件,棉花产量在 5 250kg/hm² 以上,应适当减少灌水量,弱化冲洗保持控盐,苗期冲洗定额宜在 66.1~104.5mm,苗期灌水量宜在 123.3~161.7mm,灌溉定额宜在 733.9~855.0mm;滴灌 9~16 年盐分根区均值低于 3g/kg,且 Cl⁻ 含量低于 0.12g/kg,棉花产量在 6 000kg/hm² 以上,苗期冲洗定额宜在 34.5~66.1mm 以保持控盐,苗期灌水量亦在 91.7~123.3mm,灌溉定额宜在 637.0~733.9mm,并宜适当提高灌水次数,以发挥膜下滴灌技术少量多次的灌水优点。

本书研究成果先后得到国家 973 前期研究专项“新疆长期膜下滴灌农田土壤盐分演变及调控研究”(2009CB125901)、国家自然科学基金项目“长期膜下滴灌农田土壤盐分演变机理研究(50969008)”、国家自然科学基金项目“典型绿洲区长期膜下滴灌棉田盐碱土壤离子时空迁移机理研究(51369027)、国家科技支撑计划“大型灌区节水技术集成与示范”专题 3“内陆河流域大型灌区节水技术集成与示范(2015BAD20B03-3)”和石河子大学杰出青年科技人才培养计划项目“长期滴灌棉田盐分时空迁移机理研究(2013ZRKXJQ02)”的资助。

本书由王振华、郑旭荣、杨培岭统稿，具体参加本书试验及写作的还有张金珠、李朝阳、李文昊等人，本书还参考了其他单位和个人的研究成果，均在参考文献中标注，在此谨向所有参考文献的作者表示衷心的感谢！

在本书成稿之际，向所有为本书出版提供支持和帮助的同仁表示衷心感谢。由于试验条件、研究时间及经费所限，所取得的研究成果仅仅涵盖一个特定研究区长期膜下滴灌土壤盐分演变的田间尺度内容，而且相关研究仍需深入开展，对有些问题的认识还有待进一步深入。同时，由于学识视野和水平所限，在撰写中难免有疏漏和不妥之处，恳请同行专家批评指正。

作 者

2014年12月8日

目 录

第一章 绪论	1
第一节 研究意义	1
第二节 国内外研究现状分析	6
第三节 本书主要研究内容及研究目标	14
第二章 研究区概况与方法	17
第一节 研究区概况	17
第二节 研究方法	25
第三章 长期膜下滴灌棉田土壤水盐空间分布特征	27
第一节 荒地水盐空间分布及变化特征	27
第二节 滴灌棉田棉花生育初期土壤水盐分布特征	45
第三节 滴灌棉田棉花生育期内土壤水盐分布特征	53
第四节 滴灌棉田棉花生育期末土壤水盐分布特征	59
第五节 膜下滴灌棉田盐分分布与地下水动态关系	68
第六节 本章小结	73
第四章 长期膜下滴灌棉田土壤水盐时空演变规律	77
第一节 膜下滴灌棉田土壤水分时空变化特征	77
第二节 典型膜下滴灌棉田盐分年内时空变化特征	100
第三节 典型膜下滴灌棉田土壤盐分年际变化特征	113
第四节 多地块膜下滴灌棉田土壤盐分时空变化特征	122

第五节 长期膜下滴灌棉田土壤盐分演变规律 157

第六节 长期膜下滴灌棉田根区土壤盐分及离子演变特征 172

第七节 本章小结..... 184

第五章 长期膜下滴灌棉田土壤盐分灌溉调控对策..... 186

第一节 单地块膜下滴灌棉田土壤水盐平衡分析..... 186

第二节 长期膜下滴灌棉田土壤水盐平衡分析..... 202

第三节 典型灌区膜下滴灌棉田水盐调控对策..... 220

第四节 本章小结..... 231

第六章 结论与建议..... 234

第一节 结论..... 234

第二节 研究建议..... 236

参考文献..... 238

第一章

绪 论

第一节 研究意义

一、西北干旱区绿洲生态脆弱

土壤盐碱化是干旱半干旱区仅次于沙漠化的环境问题，干旱区土壤的盐化和碱化已十分普遍，全球约有 1/10 的土地受到盐碱化的影响，土壤盐碱化已成为一个全球性的问题^[1~3]。伴随着人口增加和后备耕地减少的压力，中国西北地区广大的盐碱荒地不断被开垦，据统计，中国原有各类盐碱土地 $2.67 \times 10^7 \text{hm}^2$ ，其中，已有 $6.7 \times 10^6 \text{hm}^2$ 被开垦为耕地^[4~5]，这些原生盐碱荒地开垦后的土壤盐碱问题成为制约当地农业生产、影响绿洲生态稳定和可持续发展的重要因素^[6~7]。

干旱区绿洲是干旱区最敏感的部分。维持绿洲水土平衡、水盐平衡并保持适宜的绿洲规模对维护绿洲生态系统的稳定具有关键作用。西北干旱地区农业现代化及快速发展不仅关系到西部地区的发展和经济繁荣，也直接影响国家的生态安全，必须以干旱区生态大系统的可持续性和安全性为前提。党的“十八大”报告指出，建设生态文明，是关系人民福祉，关系民族未来的长远大计。把生态文明建设放在突出地位。

二、新疆膜下滴灌棉花举足轻重

新疆维吾尔自治区（全文称新疆）地处欧亚大陆腹地，是典型的大陆

性干旱地区,干旱缺水是制约区域农业生产、经济社会可持续发展的重要因素。1996年新疆生产建设兵团开始将塑料薄膜覆盖技术与滴灌技术结合形成的膜下滴灌技术在中国西北干旱区新疆北部盐碱地上进行应用试验。由于膜下滴灌特有的界面特征,显现出在水盐运行环境、运移变化特点、脱盐程度等方面与传统的灌溉方式有着明显不同的特点,试验获得成功,盐碱地上应用膜下滴灌技术普遍较传统灌溉技术棉花产量提高20%~35%,节水50%以上^[8],这一点在干旱区至关重要。

膜下滴灌既具备滴灌的防止深层渗漏、减少棵间蒸发、节水、节肥的特点,还同时具备地膜栽培技术的增温、保墒作用^[9],在中国西北干旱地区特别是新疆盐碱土地上得到了广泛应用^[10~11]。滴灌在根区可以形成淡化的脱盐区^[12~13],覆膜抑制了膜内的土壤蒸发作用,并使得膜内盐分发生侧向运移^[10, 14],同时深层渗漏的减少,也降低了次生盐渍化发生的可能性,于是膜下滴灌被用于防治土壤次生盐碱化^[10, 13]。但是,膜下滴灌只是调节土壤盐分在作物根系层的分布状况,盐分并未排出土体,在灌溉用水含有一定盐分时,盐分会逐步在根底积累,有可能产生土壤积盐爆发^[10, 13, 15],因此,长期膜下滴灌条件下作物根区土壤盐分积累特征是决定这一灌溉方式在干旱区能否可持续应用的重要问题。

新疆作为中国西北干旱区应用膜下滴灌最典型的区域,地处欧亚大陆腹地,降水稀少、蒸发强烈、气候干旱,是典型的荒漠绿洲、灌溉农业区。年降水量除高山外,天山以北为100~200mm,天山以南为5~100mm;而年蒸发量,天山以北为1 000~2 000mm,天山以南为2 000~4 000mm^[16],这样的气候条件,加之新疆丰富的天然盐源,在全疆许多地区都分布着含有大量盐类的白垩纪和第三纪地层,使得新疆盐碱土分布面积广,盐碱化强度高,据统计,新疆盐碱荒地和盐碱农田面积达 $2.18 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ^[17],30cm以上土层含盐量,天山以北一般为0.5%~4%,最高10%,天山以南一般为4%~10%,最高达50%~80%,盐碱危害严重制约了新疆农业经济的可持续发展,由于该区域约95%的播种面积均依靠灌溉^[16],在盐碱地上进行灌溉时,根区土壤压盐、洗盐问题是决定作物正常生长的

关键。

膜下滴灌技术在众多盐碱地上的应用显现了强大生命力和影响力，既节水增产又便于管理，还提高了经济效益。1996—2002年，短短6年时间里，棉花膜下滴灌面积从最初的 1.67hm^2 扩大到 $1.20 \times 10^5\text{hm}^2$ ^[8]，目前，新疆膜下滴灌面积已突破 $2.00 \times 10^6\text{hm}^2$ ，成为世界上大田应用膜下滴灌面积最大的地区。新疆也已成为我国节水农业的重要示范基地。

新疆的膜下滴灌从开始试验示范到规模化推广均主要应用在棉花作物上。截至2012年，新疆连续20年实现棉花面积、单产、总产和调出量达到全国第一。新疆棉区面积占全国的比重超过30%，年均产量超过全国40%，2011年新疆棉花产量实际收购达到 $3.38 \times 10^6\text{t}$ ，占全国总产的51.2%，突破国家棉花总产的一半，2006—2010年全国棉花产量年均增长0.7%，而新疆增长16.9%，因此，新疆膜下滴灌棉花产业对国家棉花战略安全及全球棉花产业举足轻重。

三、长期应用膜下滴灌出现的问题

盐碱危害严重制约了新疆农业经济的可持续发展。在干旱荒漠绿洲区盐碱地上规模化推广应用膜下滴灌技术，将引起盐分不断向滴灌湿润区外围边界扩散，并在湿润锋处累积，因此，在盐碱地膜下滴灌应用时，应在种植后的头水将盐分压到作物主根系以下^[18]，以利于作物正常出苗，但在根系吸水及蒸发作用下盐分必然还会上移，第二年的耕作又会使得盐分的分布发生再分布，随着新疆规模化膜下滴灌技术的推广应用，特别是在众多盐碱地上的应用，由于很多排碱沟渠被填平，虽然短时间内膜下滴灌技术显现了其强大生命力和影响力，既节水增产还便于管理，特别是能开发盐碱地垦荒种植，扩大耕地面积，提高了经济效益，但随着膜下滴灌应用年限的增长，一些土地盐碱化问题开始显现，出现了节水灌溉型土壤盐渍化问题（图1-1至图1-3）。

事实上，新疆很多膜下滴灌工程没有设计排碱渠系统，虽然覆膜滴灌条件下通过水盐调控对土壤盐碱分布具有改善作用，但是田间大量的盐分



图 1-1 膜下滴灌 2 年



图 1-2 膜下滴灌 6 年



图 1-3 膜下滴灌 16 年

累积依然存在，没有了排碱沟渠系统，膜下滴灌农田土壤中的盐分就没有减少的途径，只是在土壤内部重新分布，盐分总量没有减少，可能还会增加。由于盐碱地膜下滴灌技术只是小定额的连续供水，易将盐分从作物根系驱赶向旁侧和较深的土壤层次，且滴灌不产生深层渗透，难以利用灌溉水淋洗盐分到地下水中去，盐分只能存在于土层里而无法消除，其积盐趋势没有改变，由于强烈的蒸发和作物的蒸腾作用，盐分表聚的趋势仍然强烈；排碱渠失去作用，客观上有助于地下水位上升，这对防止土壤次生盐渍化十分不利。因而在滴灌条件下只能解决驱盐问题，使耕层形成盐类淡化层，短时期内保证作物能正常生长发育。而土壤脱盐和积盐这对矛盾始终存在着，长期膜下滴灌会造成次生土壤盐渍化。另外，膜下滴灌“湿润锋”边缘盐分积累也开始对棉花的生长构成危害，由于滴灌的驱盐作用，土壤盐分积聚在湿润区（湿润锋）边缘，在北疆地区如遇小雨，这些盐分可能被带进作物根区引起盐害，出现棉花生长受抑制，甚至死亡的现象，即所谓“小雨死苗”问题。新疆由于降水量极少，土壤盐分的积聚会给第二年作物的播种出苗造成危害。

四、研究意义和重要性

长此以往，采用膜下滴灌的农田土壤盐分会如何变化？人工绿洲农业能否可持续发展？这些问题已经成为专家学者和有关政府决策者关注的一个重点问题。

膜下滴灌棉田根区土壤盐分状况是作物生长环境的重要部分，自 1996 年推广应用膜下滴灌技术已经 16 年了，虽然不断有专家学者针对膜

下滴灌条件下的作物灌溉制度、水盐调控等进行研究,研究成果对于指导农田水盐调控和改良也起到了积极作用。一部分学者研究认为膜下滴灌棉花生育期内盐分在膜间 0~40cm 强烈聚集,在棉花生育期结束后,田间 0~60cm 以内土层随膜下滴灌应用年限增加处于积盐态势^[10, 11, 19~22],也有一些学者认为采用覆膜滴灌技术明显降低了作物根区盐分,膜下滴灌根区土壤盐分含量随滴灌应用年限逐年下降^[23~29]。

这些研究成果对于解释或指导不同地区膜下滴灌农田水盐调控和盐碱地改良起到了积极作用。但是,由于滴灌土壤水盐运动为局部扩散模式,其土壤水盐分布表现出很强的时空分异与变异性,并受到土壤质地、潜水位、根系等的影响^[30],以上研究大多缺少长时间定点连续的监测数据,研究周期相对较短,或研究地块单一,监测数量较少,甚至同一个地方研究的一些结论相互矛盾,难以反映膜下滴灌根区盐分真实的变化趋势。

此外,以往土壤盐渍化过程是以土壤表层积盐为特征,盐渍化程度划分也是以表层土壤盐分总量为依据,忽视了土壤内部及深层积盐对于作物根系的危害性,尤其是在具有强烈蒸发能力的干旱区,土壤耕作层以下的盐渍化过程及其危害未给予充分关注;以往对盐渍化危害性评价比较重视土壤盐分总量,而对于土壤盐分离子不平衡与分异所产生的危害研究相对薄弱;以往膜下滴灌土壤水盐复合溶液体系中重视阶段灌溉水分移动对盐分总量迁移的影响,而对于长期滴灌盐分时空演变研究较为贫乏,长期滴灌盐分迁移规律及灌溉作用机理不明,不能给决策者提供科学合理的解释和参考依据。

因此,本书针对北疆典型绿洲区长期膜下滴灌农田土壤的盐分时空迁移规律及灌溉影响机理进行研究,探讨长期膜下滴灌农田土壤盐分灌溉调控对策。

预期研究成果将为膜下滴灌技术的可持续应用提供理论依据,同时将是指导和制定膜下滴灌作物灌溉制度的重要理论依据,特别是在水资源缺乏的干旱半干旱地区,它将直接影响着节水型农业和节水型社会的建设,对干旱区农业节水灌溉产生重大的生态效益和社会效益,促进区域生态环

境良性发展、绿洲农业可持续发展、造福新疆各族人民、稳定边疆等方面将具有重大的战略意义和现实意义。

第二节 国内外研究现状分析

滴灌技术作为当今世界上最先进的节水灌溉技术之一，它的初始发展阶段是地下滴灌，1860年 Wiesben 在德国第一次进行了地下滴灌试验^[31]，将滴灌技术与管道排水相结合，使作物产量增加较多；美国在1913年成功建立了第一个滴灌工程，德国在1920年实现了水出流方面的一次突破，使水从孔眼中流入到土壤^[32, 33]；荷兰、英国第一个应用这种灌溉方法灌溉温室中的花卉和蔬菜^[34]；20世纪50年代末期，以色列成功地研制长流道滴头，从而使滴灌系统在技术上有了重大进展；20世纪60年代澳大利亚首先成功完成滴灌试验^[35]，并使其发展成为一种新型的灌溉方法，当时被迅速地应用到现代的农业；进入70年代以后，滴灌技术的发展更为迅猛，在美国、澳大利亚、英国、法国等国家和地区逐步得到推广和应用。

我国的滴灌发展始于20世纪70年代，在1974年我国从墨西哥引进滴灌技术和设备^[36]，并从此开始了滴灌技术的研究与应用；新疆棉花滴灌试验在1996年取得成功后，在近几年来发展速度十分迅猛，已经成为我国滴灌技术的最大应用领域；1998年以前我国滴灌技术应用的主要作物是果树和大棚温室蔬菜等，发展的主要地区为华北、东北、山东等地；近年来，江苏、浙江、广东等省也开始大力发展滴灌技术；到目前为止，我国在滴灌技术方面的研究和应用已取得了很大的成就^[37, 38]。

目前，新疆已成为世界大田微灌技术应用最成功的区域之一。在地面灌溉条件下，耕地土壤中的盐分可随同灌水淋洗进入排水系统；采用膜下滴灌节水技术后，由灌水携带的盐分、土壤中固有的盐分和地下水中的盐分在蒸发过程中聚集于地表和耕层中，形成节水灌溉型土壤盐渍化问题。由于膜下滴灌特有的界面特征，显现出在水盐运行环境、运移变化特点、