

现代节水农业领域的重大突破

膜下滴灌系统 规划设计与应用

严以绥 主编



中国农业出版社

 现代节水农业领域的重大突破

膜下滴灌系统 规划设计与应用

严以绥 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

膜下滴灌系统规划设计与应用: 现代节水农业领域的
重大突破/严以绥主编. —北京: 中国农业出版社,
2003.1

ISBN 7-109-08042-0

I. 膜... II. 严... III. 滴灌—农田灌溉—灌溉系
统—研究 IV. S275.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 105130 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 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 何致莹

北京京科印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 6.625

字数: 165 千字 印数: 1~6 000 册

定价: 20.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

编 辑 委 员 会

主 任 郭庆人

副主任 杨金麒 黄耀新

编 委 顾烈峰 何林望 吴 磊 严以绥
李双全

主 编 严以绥

副主编 王新坤 汤 莉 汪希成

参 编 何林望 吴 磊 顾烈峰 王新坤

曹 兵 李新莲 吴恩忍 柴付军

陈明珠 汤 莉 汪希成 孙廷彦

牟红军 李宝珠 王小莉 李 文

魏辅婷 苏 晨 王贺云

国务院领导最近指示：要抓紧完善节水灌溉的规划和政策落实，大力推进节水灌溉技术和设施的研究、生产和应用，尽快制订有关技术标准并规范市场秩序，建立健全节水灌溉服务体系。各地推广节水灌溉要因地制宜、讲求实效。国务院向全国印发了对新疆石河子市推行节水农业情况调查的三个参阅件：《西部大开发中节水领域的重大突破》、《节水灌溉引发的农业革命》、《对推广新疆石河子市节水灌溉的政策建议》。

新疆生产建设兵团石河子垦区，推广了他们创新的以大田膜下滴灌技术为基础的天业滴灌系统。从 1999 年到目前，全兵团推广 11.4 万公顷。实践证明，膜下滴灌是西部大开发中节水领域的一项重大突破，将引发一场农业革命，是西部旱区节水灌溉的一项可控制性、基础性、战略性关键技术，值得在旱区、半旱区全面推广，还可在非旱区适宜领域推广。

为了让外界更全面了解石河子垦区推行节水农业的情况，了解石河子垦区的实践经验，改进意见和发展前景，为此，中国农业出版社组织有关专家和技术人员编写了本书。

大田膜下滴灌栽培技术是把工程节水、农艺节水集成起来的一项综合节水农业技术系统,具有经济、生态、社会综合效益,其潜力尚未充分展现,我们正在组织产、学、研三结合的力量进行进一步开发研究,欢迎国内外有志者参加这一节水农业技术革命。

新疆生产建设兵团副司令员

阿勒克斯·拉合尔

2002年10月

目 录

序	阿勒布斯拜·拉合木
第一章 绪 论	1
一、膜下滴灌简介	1
二、膜下滴灌的突出优点是“三性”	4
三、存在问题与建议	11
第二章 膜下滴灌系统的组成及规划设计	17
一、膜下滴灌系统的组成	17
二、膜下滴灌系统设备	18
三、膜下滴灌系统的规划设计	36
四、设计实例	70
第三章 滴灌系统的施工及运行管理	108
一、施工安装	108
二、滴灌系统的运行及管理	115
三、系统的操作要点	117
第四章 膜下滴灌的实践	128
一、膜下滴灌技术的形成与发展	128
二、综合效益评析	136
三、膜下滴灌是农业生产结构优化的切入点	146
四、膜下滴灌是农场管理体制变革的动力	158

第五章 膜下滴灌栽培技术	167
一、膜下滴灌棉花栽培技术	167
二、膜下滴灌厚皮网纹甜瓜栽培技术	171
三、膜下滴灌加工番茄栽培技术	173
四、葡萄膜下滴灌栽培技术	174
五、膜下滴灌杨树扦插育苗技术	177
六、膜下滴灌桃树栽培技术	178
第六章 膜下滴灌技术展望	181
一、膜下滴灌技术发展及需研究 和解决的问题	181
二、膜下滴灌技术的发展前景	194
参考文献	203



第一章 绪

论

一、膜下滴灌简介

膜下滴灌是把工程节水——滴灌和农艺节水——覆膜栽培两项技术集成的一项崭新的农业节水技术,从而产生了一系列新的功能,它是干旱绿洲农业现代化的一项具有可控性、基础性和战略性的关键技术。

膜下滴灌这一关键技术是把滴灌带(毛管)铺于地膜之下,同时嫁接其他有关技术和管道输水技术以及水资源可持续利用的供水技术,构成大田膜下滴灌系统工程。具体说是在传统灌溉的斗口设供水站,水源可用渠水、井水等,包括泥沙过滤系统、电力系统和施肥、量测装置等,用塑料干、支管代替斗、农、毛渠,用滴灌带代替沟、畦、漫灌,以膜下滴灌为主,兼用秸秆等覆盖技术和其他灌溉技术,如微喷、微喷带、渗灌、地下灌、涌泉灌、管灌等,以适应各种作物和乔木、灌木、人工草地的灌水要求。

天业滴灌系统是在新疆生产建设兵团农八师石河子市大田膜下滴灌栽培技术创新的基础上,引进、消化、改造了国外滴灌带生产设备后,以生产一次性可回收塑料滴灌带为主形成的大田滴灌系统,使用时播种、覆膜、铺带一次完成。滴灌带直径16 mm,壁厚0.2 mm,每米重12~13 g,滴头流量1.0~3.6 L/h,滴头间距10 cm、20 cm、30 cm、40 cm不等,铺设长度在滴头间距30 cm时播

种棉花 75 m 左右,一个灌水小区 $1.33 \sim 2 \text{ hm}^2$ (20~30 亩)。

通过大田试验显示出:滴灌具有明显的节水效果;同时,膜下滴灌有显著的压盐作用,可能解决旱区绿洲农田次生盐渍化(以下简称盐化)难题;一年使用一次的薄壁型滴灌带便于机械化铺设,并解决多年使用滴灌带出现的堵塞和塑料老化等问题,当年由生产厂家回收造粒又不需要冬季储存,还可降低投入;地产化是降低投入最有效的方式。

天业集团 1997 年秋着手地产化,开始引进设备,1998 年形成了生产能力,从而促进了 1999 年石河子垦区示范推广膜下滴灌面积近 $2\,000 \text{ hm}^2$ (3 万亩);2000 年达到 1.7 万 hm^2 (25 万亩),其中农八师 0.8 万 hm^2 ;2001 年达到 5.2 万 hm^2 (78 万亩),其中农八师为 2 万 hm^2 ;2002 年达到 11.3 万 hm^2 ,其中农八师近 5.3 万 hm^2 。兵团从 20 世纪 70 年代末开始至今,全兵团推广了喷灌 8.1 万 hm^2 (122 万亩)。目前,旱区喷灌正在改为滴灌。实践表明喷灌不是旱区节水灌溉的关键技术。几年来,天业滴灌系统不断改进,塑料管件的价格不断降低(表 1-1)。这样,天业滴灌系统解决了大田膜下滴灌的技术可靠性和经济可行性。

到 2000 年,通过试验研究又解决了应用河水膜下滴灌技术难题,并在农八师 144 团、农二师 30 团进行改进示范。2002 年,农八师 133 团、142 团等对河水膜下滴灌又有新的发展和完善。

表 1-1 天业塑料滴灌管件价格降低过程

年 份 内 容	1996	1997	1998	1999	2001	2003	说 明
天业引进设备		—					
天业仿制改造设备			—				
绿源毛管大田试验	—	—	—	—			
莱芜毛管大田试验			—				
天业产品大田应用				—	—		

(续)

内 容			年 份	1996	1997	1998	1999	2001	2003	说 明
井水灌溉棉花每 667 m ² 投入与年费用(元)	以色列产品	毛管投入	1 200	内镶式滴灌管 $\phi 16$ mm, 壁厚 0.6 mm, 1.5 元/m, 10 年折旧, 七通连接一管两行棉花, 每 667 m ² 用 800 m						谈判索价 27 000 元/hm ² , 未采用
		毛管年费用	120							
	北京绿源产品	毛管投入	800	内镶式滴灌管, 1 元/m, 5 年折旧						
		毛管年费用	160							
	山东莱芜产品	毛管投入				480	单翼迷宫式滴灌带 $\phi 16$ mm, 壁厚 0.17 mm, 0.6 元/m, 使用一年, 其余同上			
		毛管年费用				480				
	天业产品	投入					500			滴灌带同莱芜, 0.2 元/m, 使用一年, 其余同上。干支管 340 元, 10 年折旧
		年费用					194			
		投入						300		七通改辅管, 一带四行棉花, 每 667 m ² 用 500 m 0.2 元/m 干支管 200 元, 10 年折旧
		年费用						120		
		投入						250	210	辅管改插管, 支管变薄, 干支管 150 元, 10 年折旧 2003 年毛管以旧换新, 0.12 元/m
		年费用						115	75	

说明: 不含井泵和电力系统投入, 滴灌带(管)通称毛管

二、膜下滴灌的突出优点是“三性”

膜下滴灌有许多优点,在旱区绿洲是一项节水农业的关键技术。其突出的优点为可控性、基础性和战略性。

1. 可控性关键技术 可控性主要表现在3个方面,即淋盐丰产、节水抑盐和自动化灌水。

(1) 淋盐优质高产 滴灌带铺设在膜下,不仅减少了水分的棵间蒸发,而且水滴进入土壤后使盐分溶解,并向左右下方扩散,一直把盐分淋洗到湿润峰的边缘。而湿润峰中心部分则形成了一个淡化区。据实测,滴头流量为 2.5 L/h ,灌水定额为 $0.066 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ($13 \text{ m}^3/\text{亩}$)时,湿润峰半径约 42 cm ,淡化区半径约 35 cm ,淡化区的根系总量占总根量的 90% 。

膜下滴灌不但能使可溶性肥分随水滴施入土壤,而且还可以定时定量地满足植株的水肥需求,使水、肥、盐、光、热、气优化耦合,使作物的光能利用率趋于最大。按照最大光能利用率—净光能利用率—净初级产量—到最大经济产量的转化规律,达到淋盐丰产(提高质量、增加产量)的目的。

在光合作用理想状态下,最大总光能利用率可达 10% ,全生育期平均可达到 5% 。净光能利用率如果为 4% ,可以计算出最大净初级产量(以根茎叶花果实的干物质重量计),如石河子垦区4月中旬到10月中旬生长期平均到达地面的太阳有效辐射能为 $16 \times 10^8 \text{ J/m}^2$,则最大净初级产量为 $16 \times 10^8 \times 0.04/1.8 \times 10^7 = 3.5 \text{ kg/m}^2$ 。根据石河子大学作物高产研究中心试验,皮棉与干物质重量比为 $1:5.5$,每 667 m^2 产 100 kg 皮棉,干物质重为 $0.15 \times 5.5 = 0.825 \text{ kg/m}^2$,则净光能利用率接近 1% ;苜蓿每公顷产干草约 4500 kg (300 kg/亩)(未计根)。可见,石河子垦区两种主要作物的净光能利用率接近 1% ,如达到 4% 最大值还可翻两番。经济产量丰产空间也可能会翻两番。

膜下滴灌是把水肥直接灌到作物主根区,作物主根区上有地膜覆盖,下有湿润峰,杜绝了水分渗漏,抑制了强烈蒸发,水肥基本上在这个相对封闭的空间运移。生产实践上,灌水量从田间持水量到枯萎点都是有效的,可以任意控制,可溶性肥料和植保药剂生长素等都可随水滴入。这种可控性使水肥盐光热气优化耦合,能逐步提高作物的光能利用率,不断提高丰产水平,最大光能利用率是其丰产的上限。

(2) 节水抑盐 农八师炮台水土改良试验站用水表值班测读的数据表明,在农八师中部具有代表性的 121 团试验田里,熟地棉花膜下滴灌全生育期灌水量不超过 $3\,000\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ($200\text{ m}^3/\text{亩}$),比垦区传统灌溉平均 $6\,000\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ($400\text{ m}^3/\text{亩}$) 节水一半。根据中国工程院山仑院士研究,黄土高原上旱作作物需水量中,棵间蒸发占 45%,而植株有效用水量(蒸腾、蒸发、化合)为 55%。石河子垦区棉花需水量 500 mm ($330\text{ m}^3/\text{亩}$),其中棵间蒸发量约为 150 m^3 ,有效用水量 180 m^3 。膜下滴灌节水 200 m^3 ,可以认为杜绝了斗口以下斗农毛渠和田间的深层渗漏约 $1\,050\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ($70\text{ m}^3/\text{亩}$);抑制了强烈的棵间蒸发量 130 m^3 ,占传统灌溉棵间蒸发量 150 m^3 的 87%。每 667 m^2 耗水量 200 m^3 中,除满足 180 m^3 有效用水量外,还有 20 m^3 的棵间蒸发。这样,基本上可以说明传统灌溉与膜下滴灌斗口以下灌溉水的来龙去脉。当然,这些数据还需在石河子垦区进一步进行实地试验验证。

棵间蒸发不仅是旱区绿洲农田的无效蒸发,更是有害蒸发。因为,它是土壤次生盐渍化的动力,即水分蒸发后,盐分留在耕层。形成盐化的另一个条件是灌溉水的不断下渗,浅层地下水位升高到接近临界深度,含盐的潜水不断向耕层运移,成为盐化的来源。

膜下滴灌抑制了强烈的棵间蒸发,不但节水而且抑制了盐化的动力,同时杜绝了田间渗漏;若干年后,浅层地下水位可下降到 $3\sim 5\text{ m}$ 以内,基本上可以根治绿洲农田盐化这一世界性的难题。可以说膜下滴灌一举三得:节水、抑盐、杜绝田间渗漏。

盐化是绿洲农田“三化一污”的主导因素。“三化一污”是土壤耕层盐化、土壤肥力退化、沙化及农药化肥地膜残留污染的总称。这是一个演替过程。以石河子垦区为例,1950年开始垦殖,1959年耕地达到16万 hm^2 (240万亩),一直维持到90年代。在垦殖初期,由于人口少,地下水位深,又推行草田轮作,重视植树造林,农田净产出高,“三化一污”现象较轻,绿洲生态持续演替,农业和以农业为基础的垦区国民经济持续快速发展,1959—1972年国民生产总值年均增长8.5%。到70年代初始,地下水位上升到局部出现盐化的深度,并逐渐扩大,农田净产出开始降低,同时,由于人口不断增长,草田面积逐年减少,化肥农药地膜用量逐年增加,形成了“三化一污”,这是绿洲农田生态恶化演替的典型表现,从而使垦区国民经济低速增长,1972—1993年的21年间,垦区国民生产总值年均增速只有4%。1993—2000年,由于棉花总产年均增长20%,使国民生产总值年均增长12%,但并没有改变垦区绿洲生态脆弱的状况。棉花占耕地面积80%以上,生物单一性和农业结构刚性更增加了绿洲农田生态的脆弱性。2001年连遭风旱病虫和低温灾害,致使棉花减产50%以上。实践证明不根治“三化一污”为典型表现的垦区生态恶化演替状态,国民经济就不可能稳定持续高速增长,只能处于低速徘徊状态。

膜下滴灌的节水抑盐具有明显的生态效益,是根治“三化一污”的关键技术。

(3) 自动化灌水 以膜下滴灌为基础,嫁接集成有关节水农业技术,构成田间滴灌系统工程,一个河水系统的规模约100 hm^2 (1500亩)左右,可进行集约化、规模化、社会化经营。滴灌还可自动化灌水,为农业智能化管理提供基础,并集成有关高新技术,可实现绿洲农业现代化、社会化。

膜下滴灌兼有经济、生态、社会等综合效益。经济效益是现实效益,生态效益是长期经济效益,社会效益是远期经济效益。膜下滴灌的效益与时俱进,应用的时间越长,越能体现其综合效益,不

仅利于当代,还有利于子孙后代。

2. 基础性关键技术 以膜下滴灌为基础可集成嫁接诸多适用技术和高新技术,构成田间滴灌系统工程、绿洲节水灌溉系统工程、绿洲生态系统工程、绿洲农业现代化系统工程。

(1) 田间滴灌系统工程 田间滴灌系统工程的构成包括三项主要内容。

①田间灌溉以膜下滴灌为主,集成秸秆等覆盖技术、其他微灌技术(微喷、微喷带、涌泉灌、渗灌、地下微灌等)和管灌(用于水稻等),能适应各种作物和乔木、灌木、人工草地的灌水需求。这样,田间滴灌系统是以滴灌为主集成了各种灌溉技术,并不是惟一的膜下滴灌。田间灌溉水的利用率可提高到95%。

②嫁接塑料管道技术实现田间输水配水管道化,管道输水利用率可提高到95%。

③在传统灌溉的斗口设供水站并打井,地上水与地下水互补利用,可以克服单独使用水资源的弊病。这样构成的田间滴灌系统工程,能使不种水稻的旱作作物灌溉水利用系数提高到0.9。

田间滴灌系统工程建成后,可初步解决田间盐化问题,并比传统灌溉斗口灌水量节水一半以上。

(2) 绿洲节水灌溉系统工程 以田间滴灌系统为基础,建设山区水库,与平原水库联合调节河道径流,引水口到斗口的渠道防渗技术必须慎重选择,以使绿洲非灌溉面积上的地下水位保持在3~5 m为宜,这样可维持自然植被,如芨芨草、红柳、胡杨等。绿洲节灌系统工程建成后,绿洲农田盐化可以根治,还能进一步节水。从引水口到斗口的渠系利用系数如果提高到0.85,则绿洲节灌系统工程的灌溉水利用系数可达 $0.85 \times 0.9 = 0.765$ 。

(3) 绿洲生态系统工程 在绿洲节水灌溉系统工程根治盐化基础上治理“三化一污”问题,不能用节约的水扩大农田面积,必须种草种树进行绿洲生态建设。推行草田轮作,可根治土壤肥力退化问题,并可发展农区草业和农区畜牧业。种树建设绿洲三级防

风林网:在绿洲边缘建设乔灌草立体防风林带,并建设路渠林和田间林带网格,把风沙危害降低到最小限度。土壤肥力提高以后,在农田净产出逐步提高的基础上,不断降低化肥和农药的用量,进而达到国际绿色安全标准,同时,可治理地膜残留问题。

绿洲林田草牧复合农业生态系统工程建设,能使绿洲生态恶化演替状态彻底转变到良性演替状态,地愈种盐越少土越肥。农业经济发展就会由低速徘徊转变为持续高速增长,能为实现农业现代化奠定良好的生态基础与经济基础。

(4) 绿洲农业现代化系统工程 农业现代化的实现必须建立在绿洲生态系统工程的基础上。农业现代化是一个复杂的系统工程。旱区绿洲农业现代化有许多内容:如产权明晰化、灌溉微灌化、农业生态化、产品绿色化、生产机械化自动化、管理信息化智能化、农产品加工高(档次)深(层次)化、科农工贸一体化、分配三(劳动者、企业家、国家)有利。

农八师 142 团张志凌团长认为膜下滴灌是绿洲农业现代化的高速公路,形象地说明了它的基础性意义。

3. 战略性关键技术 旱区绿洲农业现代化战略可分四步走:第一步,以膜下滴灌技术为主,集成有关灌溉工程技术,构成满足各种作物、乔木、灌木灌水要求的田间滴灌系统工程。第二步,以田间膜下滴灌系统工程为基础,嫁接渠道防渗技术与山间平原水库工程构成绿洲节水灌溉系统工程。第三步,以绿洲节灌系统工程为基础建设绿洲林田草牧复合农业生态系统工程,并调整农业产业结构。第四步,在绿洲生态系统工程基础上建设绿洲农业现代化系统工程,并调整绿洲经济结构。

按照上述思路,以河流域形成的绿洲为单元进行绿洲节水生态农业总体规划,主要包括:田间滴灌系统工程、绿洲节灌系统工程、绿洲林田草牧复合农业生态系统工程。绿洲农业现代化可以以后再规划实施。

为落实温家宝副总理对节水灌溉的重要批示,应首先抓紧规

划、完善政策。

目前,兵团已在两个垦区进行了节水生态建设总体规划,以全面推广田间滴灌系统工程,进行生态建设。石河子垦区水资源 12 亿 m^3 ,目前灌溉面积 18 万 hm^2 ,其中农田 16 万 hm^2 (240 万亩),人工林地 2 万 hm^2 。田间滴灌系统工程建成后,农田 16 万 hm^2 不变,可种苜蓿 8 万 hm^2 ,芨芨草 6.7 万 hm^2 ,林地扩大到 6 万 hm^2 ,总投资 66 亿元。阿克苏垦区水资源 30 亿 m^3 ,目前灌溉面积 16 万 hm^2 (240 万亩),其中农田 14 万 hm^2 (210 万亩),人工林地和果园 2 万 hm^2 (30 万亩),田间滴灌系统工程建成后,14 万 hm^2 农田面积不变,可种苜蓿 5.3 万 hm^2 ,林地果园达到 7.3 万 hm^2 ,总投资 60 亿元。

阿克苏垦区给塔里木河输水 2.3 亿 m^3 ,按传统的节水工程进行渠道防渗和水库改造,投入 9.5 亿元,节水每立方米投入 4.1 元。如果按照上述规划,首先,建设田间滴灌系统工程,每 667 m^2 投入 500 元,总投入 12 亿元,可节水 8.2 亿立方米,节水每立方米投入 1.5 元。满足向塔河输水后,还可进行垦区生态建设。从这些规划来看,节水灌溉投资政策要完善,应向田间滴灌系统工程倾斜。

如果抓紧实现石河子垦区生态规划,在生态持续演替的基础上,农业经济将在 50 年内翻三至四番,其中灌溉面积一番,光能利用率两番,绿色产品一番。进一步实现农业现代化再翻一番,以现代节水生态农业为核心产业,调整产业结构,再翻一番。加上抓紧人口计划生育和提高素质,到 21 世纪中叶,国民生产总值可能翻五至六番,年均增长 7%~8.4%。石河子垦区在 20 世纪 60 年代已达到 8.5%,说明这个速度是可能的。这样,石河子垦区就可能在 2050 年实现邓小平同志提出的经济发展第三步战略目标。

综上所述,膜下滴灌是一项战略性关键技术,它不但能彻底解决农业、农村(场)、农民(工)三农难题,而且能推动农业现代化的发展。