



蓝色国土·海洋开发

海洋是我们发挥聪明才智的地方，
人类的需要和希望都在这里……



中国海洋油气开发

金 强 编著

ZHONGGUOHAIYANGYOUQIKAIFA



吉林出版集团有限责任公司

国家社科基金重大招标 课题(07&ZD026) 最终研究成果
干旱区绿洲生态农业现代化研究系列丛书之四

绿洲现代农业节水 灌溉技术体系与规程

李万明 范文波 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

绿洲现代农业节水灌溉技术体系与规程 / 李万明,
范文波著. —北京: 中国农业出版社, 2012. 11
ISBN 978-7-109-17325-5

I. ①绿… II. ①李… ②范… III. ①绿洲—农田灌
溉—节约用水 IV. ①S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 258660 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 100125)

责任编辑 闫保荣

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 8.125

字数: 220 千字

定价: 26.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

总 序 言

2007 年中央 1 号文件《中共中央国务院关于积极发展现代农业扎实推进社会主义新农村建设的若干意见》提出，发展现代农业是社会主义新农村建设的首要任务。农业现代化就是改造传统农业、不断发展农村生产力的过程。推进我国现代农业建设，要符合当今世界现代农业发展的一般规律，同时又必须从我国农村、农业、农民的实际出发，顺应我国农村经济发展的客观趋势。基于此，党的“十七大”报告中首次提出“走中国特色农业现代化道路”，并指出：加快现代农业建设，是提高农业综合生产能力的重要举措，是建设社会主义新农村的基础，事关全面建设小康社会大局，必须始终作为全党工作的重中之重。

自然地理生态环境是农业生产与发展的基础。中国西北干旱区是与东部季风区、青藏高原区并列，各具特色、分异明显的三大自然区之一。干旱区生态系统是由山地生态子系统、绿洲生态子系统、荒漠生态子系统三个相互依存、相互制约的系统组成。在“山盆系统”中下部的扇形地带，地势平坦，地下水出漏，地表物质多为颗粒较细的肥沃土壤，这就是天然绿洲，又称绿洲的

“内核”。

“绿洲 (oasis)” 又称为“沃洲”、“沃野”、“水草田”。“oasis” 源自希腊语, 指荒漠中能“住”和能“喝”的地方。绿洲土壤肥沃、灌溉条件便利, 往往是干旱地区农牧业发达的地方。当人类逐水草而居后, 引水灌溉, 围绕“内核”呈圈层向外扩展开发, 绿洲就演化成了自然、社会、经济和生态的复合系统, 称之为“现代绿洲”。绿洲生态子系统内水、土、光、热资源丰富, 宜于多种农作物的种植, 且各自然要素之间的组合关系较好, 具备“两高一优”农业的自然基础。

干旱区绿洲景观是以荒漠为基质, 依水分条件发育各种植被生态体系, 再叠加人工生态体系, 如农耕地、人工林网及人工草场等, 构成十分复杂的生态系统景观。绿洲是干旱区人类生存和生产的核心场所, 是干旱内流区能流、物流最集中的场所, 同时也是干旱区最敏感的部分。西北干旱区包括陕北、甘肃河西、内蒙古西部、青海西北部、宁夏、新疆五省(自治区)面积有304万平方公里, 占全国陆地面积的31%, 人口占全国的7.2%。特别是新疆国土面积166万平方公里占全国的1/6, 人口仅占总人口的1.6%, 地域辽阔, 人口稀少, 矿产、能源资源极为丰富, 已成为国家能源、化工及原材料重要基地, 也是国家特色农产品基地和粮食安全后备基地。

西北干旱区绿洲是我国绿洲的主要分布区，由于光热水土的特殊组合，形成独具特色的绿洲生态农业，具备了建立优质、高产、高效农业的优越条件。目前绿洲高效农业成为国家特色农产品基地的优势已显现，如新疆优质棉产量占全国的 $1/3$ ，大面积丰产，小面积超高产的世界纪录都在新疆。同时，西北干旱区绿洲生态农业后备资源极为丰富，新疆人工绿洲占国土面积的 5% ，是我国农地资源开发的接替区，是解决我国长期内“农业及粮食安全”的希望所在。然而，由于长期不合理的开发利用，造成自然环境恶化，水土流失、土地“三化”现象严重，生态承载能力急剧下降。据统计西北地区冰川面积缩减 25% ，森林面积减少 25% ，草地退化 60% ，沙漠化的面积占国土面积的 27.3% ，并且每年以 2460 平方公里的速度推进，盐碱地面积达 11 万平方公里，次生盐渍化面积占耕地的 $1/3$ ，低产田占耕地的 $30\% \sim 40\%$ 。

党的十七大报告中提出：要加强农业基础地位，走中国特色农业现代化道路，增强农业综合生产能力，确保国家粮食安全。2007 年中央 1 号文件提出发展现代农业是社会主义新农村建设的首要任务。推进现代农业建设，顺应我国经济发展的客观趋势，符合当今世界农业发展的一般规律，是促进农民增加收入的基本途径，是提高农业综合生产能力的重要举措，是建设社会主义新

农村的产业基础，也是有效解决绿洲农业问题，实现绿洲农业可持续发展的根本举措。

建设现代农业的过程，就是改造传统农业、不断发展农村生产力的过程，就是转变农业增长方式、促进农业又好又快发展的过程。随着新一轮西部大开发的快速推进，国家对西部的农业开发、资源开发及生态环境恢复与重建的力度在加强，使得西部地区农业发展潜力的优势更加明显。因此，加速实现西部干旱区生态农业现代化步伐，用科学发展观和现代科学技术开发绿洲生态农业，是西部大开发经济与生态协调发展、环境保护与开发并重的战略要求。

鉴于干旱区绿洲农业基本属于冲积扇平原，人均耕地面积大，后备耕地资源丰富，水资源严重不足（农业用水占到90%，农业水利用率仅为36%），不合理的开发模式和无限制的农业用水，导致绿洲危机四伏。我们提出了“干旱区绿洲生态农业现代化模式”。水资源约束是西北地区绿洲耕地扩大的“瓶颈”，因此推广现代节水技术不仅可进一步扩大耕地面积，还可兼顾荒漠生态恢复用水，西北干旱区绿洲农业应该是规模化、机械化的现代农业发展模式；以生物技术充分利用绿洲光热资源提高土地产出率，因为绿洲丰富的光热资源为生物高产和超高产提供了条件和可能，种子和栽培技术突破就可以实现“两高一优”的现代农业目标；以节水技术

扩大垦殖面积和运用大型机械提高劳动生产率，实现规模化经营，达到农民增收的目标。“干旱区绿洲生态农业现代化路径”是：必须以绿洲生态农业可持续发展为前提，以农地制度、水权制度、林权制度安排为基础，以发展节水型农业、推广现代节水技术为核心，以推广现代农业机械技术、信息化技术为手段，以规模化经营为组织形式。

本系列丛书包括既独立成章、又密切相关的五本丛书，它们是国家社科基金重大招标项目“干旱区绿洲生态农业现代化模式与路径选择研究”（项目编号：07&ZD026）的系列研究成果。系列丛书与项目研究成果的逻辑关系是：丛书之一《基于生态安全的绿洲生态农业现代化研究》是根据子课题一“干旱区绿洲生态农业与农业现代化”和子课题二“干旱区绿洲生态农业现代化的条件及制约因素分析”研究成果编纂的；丛书之二《干旱区绿洲生态农业现代化模式研究》是子课题三“干旱区绿洲生态农业现代化模式的设计”、子课题六“干旱区绿洲生态农业现代化典型与实证研究”和子课题七“干旱区绿洲生态农业现代化道路对策及政策建议”的研究成果编纂的；丛书之三《绿洲生态农业现代化制度路径研究——以新疆生产建设兵团为例》是在子课题五“干旱区绿洲生态农业现代化的制度安排”研究成果基础上形成的；丛书之四《绿洲现代农业节水灌溉技术体系与规

程》；丛书之五《绿洲现代农业机械化技术体系与作业规程》是根据子课题四“干旱区绿洲生态农业现代化技术的选择及集成”的研究内容系统化编写而成的。

李万明

2012年6月10日于石河子大学

前 言

干旱缺水是新疆的自然特点。灌溉对农业的意义在新疆表现得尤为突出。在长期的农业生产中，勤劳智慧的新疆人民，创造性地提出了一系列简单、实用、高效的灌溉技术，利用有限的水资源浇灌出一块块极具地方特色的绿洲。细流沟灌、隔沟灌水、膜上灌水、膜下灌水等技术，无不体现了各时期劳动人民的智慧，而且许多技术还继续发挥着作用。随着现代工业的高速发展，农业生产也受到极大提高。新材料新技术不断被应用到农田水利中。如果20世纪80年代，覆膜种植是新疆农业生产中的一次革命，那么，2000年以来大规模的膜下滴灌技术则是新疆农业的又一次革命，而且，产生的效果更加显著，影响更加深远。因此，本书在介绍主要输配水技术和灌溉技术的基础上，总结新疆灌溉技术，可为后来者积累素材。

本书包括七章内容，第一章分析新疆农业生产的自然条件和主要作物水分生理特征；第二章总结灌溉输配水渠道工程和管道工程技术；第三章讲述传统地面灌溉技术和改进后的技术特点；第四章总结现代喷灌、微灌技术；第五章对各种灌溉技术进行综合评价；第六章详细介绍膜下滴灌技术体系；第七章针对主要大田作物提出膜下滴灌技

术规程。

本书编写分工如下：第一章杨海梅，第二章吕延波、范文波，第三章范文波、吕廷波，第四章、第五章范文波、吕延波，第六章、第七章李宝珠。全书由范文波、吕廷波统稿。石河子大学李明思教授在百忙中提出宝贵修改意见；李万明教授、汤莉教授在书稿内容安排中提出许多有益建议；在编写本书的过程中，参考并引用了许多学者的论著，在此一并表示感谢。

由于涉及内容广泛和编者学识水平的限制，本书尚存在诸多不完善的地方，敬请各位专家批评指正。

目 录

总序言

前言

第一章 绿洲灌溉理论基础	1
1.1 绿洲自然地理特点及适宜种植的农作物	1
1.2 作物水分生理	3
1.3 主要农作物田间需水特性及田间管理	15
第二章 输配水工程技术	25
2.1 渠道防渗工程技术	25
2.2 低压管道输水灌溉技术	45
第三章 地面灌溉技术与改进	60
3.1 概述	60
3.2 畦灌法	61
3.3 沟灌法	70
3.4 地膜覆盖节水灌溉技术	83
3.5 淹灌法	94
第四章 现代灌溉技术	96
4.1 喷灌技术	96
4.2 微灌技术	119

4.3	涌泉灌溉与小管出流灌溉技术	130
4.4	闸管灌溉技术	132
第五章	灌溉技术综合评价	136
5.1	评价灌溉技术的主要指标	136
5.2	各灌溉方法与技术的总体评价	151
5.3	典型灌溉技术综合效益实例分析	156
第六章	膜下滴灌技术体系	164
6.1	膜下滴灌技术发展与应用	164
6.2	膜下滴灌技术特点与要求	167
6.3	膜下滴灌工程规划设计	169
第七章	膜下滴灌技术规程	223
7.1	膜下滴灌施工安装与运行管理规程	223
7.2	主要作物膜下滴灌技术规程	235
	参考文献	247

第一章 |

绿洲灌溉理论基础

1.1 绿洲自然地理特点及适宜种植的农作物

1.1.1 绿洲自然地理条件

绿洲是指荒漠中水分条件较好、植物生长茂盛的地方，即以年降雨量 200~250 毫米以上或以下干旱的荒漠、半荒漠系统为背景，茂盛生长绿色植物的一种特殊景观。绿洲区土壤肥沃、灌溉条件便利，多分布在河流、湖沿岸，冲积扇、洪积扇地下水出露的地方，以及有冰雪融水汇聚的山麓地带，是干旱地区农牧业发达的地方。

1. 气候特征 干旱绿洲区的气候特点是降雨稀少，时空分布不均匀。以新疆为例，新疆是我国绿洲面积最大省区，其绿洲面积占全疆耕地的 93% 左右，属于典型的温带内陆性绿洲。全疆多年年平均降水量仅为 147 毫米，全年降水主要集中在夏季，约占全年降水量的 56%，极易形成春旱。降水的 80%~90% 分布在天山、阿尔泰山和昆仑山的山区，而广大平原区则干旱少雨。但干旱绿洲区具备丰富的光热资源，内陆绿洲区年平均气温（除山地外）均在 10℃ 以上， $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 3 500℃ 左右，日照时数也很丰富，约为 2 600~3 000 小时。此外，昼夜温差大，一般可达 10~20℃ 以上，为农作物积累有机物质与储存潜能提供了充分的条件。

干旱少雨的气候特点决定了平原区绿洲农业属于灌溉农业，即依靠地表水、地下水、泉水进行灌溉的农业。水是绿洲得以生

存和发展的最重要的资源，没有水就没有绿洲及绿洲农业。平原区农业灌溉用水主要由山区积雪融水汇集形成径流并通过各种水利措施和灌溉系统供给，因此水利与灌溉措施是绿洲农业稳定与发展的基础和前提。

2. 水文特征 西北地区高山高原和山前盆地相间的地形特征形成了干旱地带中独具特色的水循环系统，形成彼此不相连的流域。每个流域都有自己的径流形成区、径流消耗区。内陆河上游山区为径流形成区，海拔较高而基本没有人类活动，径流沿程加大。出山口以下为平原区，降水稀少，大部分地区基本不产流，属于径流消耗区。径流出山口后以地表水与地下水两种形式相互转换，其间不断蒸散发和渗漏，最终消失。平原盆地上中游的沿河两岸，属于径流消耗区和地表水、地下水转化区，50%以上的出山口径流支撑起人工绿洲区农业、工业和生活用水；在平原盆地的下游和人工绿洲系统周边地带，属于径流的排泄、积累和蒸散发区，水资源养育着天然绿洲、内陆河尾间湖及湿地。

由于地形特征变化引起的河流沿程径流特点的改变，使绿洲农业分布呈现出非地带性特征。出山口至平原盆地的上、中游，水量较为充足，借助于较为完备的水利和灌溉设施，灌溉农业的发展较迅速，使这一区域成为人工绿洲经济发展的中心。而河流的下游的来水量由于受到河流上、中用水量的限制，绿洲农业的稳定性受到影响，成为绿洲经济发展的外部圈层。

3. 植被特征 干旱内陆河流域出山口到平原地带，由于沿程水热条件的差异，造成植被沿程分布的不同，呈现出明显的非地带性分布。一般河流两岸、泉水溢出带和绿洲内外的湿地，分布着苦豆子、芦苇、芨芨草、骆驼刺等为主要植物类型的平原草甸植被。在绿洲外围或河流两岸较远的地区，由于地下水位埋藏逐渐加深，生长着荒漠河岸林、灌木林及荒漠植被，如胡杨、怪

柳、沙枣和梭梭等。

在冲积扇的下部及冲积平原的上部，由于人类活动的影响，植被呈现出强烈的人工干扰景象，以灌溉的农作物、林果和防护林为主。冲积平原下部和绿洲外围，则以自然植被为主。

4. 土壤特征 植被和地理条件是土壤类型与分布的决定因素。内陆区土壤具有非地带性特征，土壤类型随地表水流向呈现自上而下的规律性变化，古老冲积扇上部一般分布有地带性的荒漠灰钙土和灰漠土，自扇缘溢出带以下，土壤迅速由草甸土或沼泽土演替为盐化草甸土，并最终出现典型盐土。在农作区，由于长期灌溉形成灌溉荒漠灰钙土、灌溉草甸土。

1.1.2 绿洲适宜种植的农作物

由于干旱绿洲区特殊的自然地理条件，适宜种植的农作物种类也各具特色。新疆属于干旱内陆绿洲，光热资源丰富，夏季光照时间充足，强度大，地面开阔对作物生长有良好的作用。典型作物如棉花。另外，由于绿洲处于戈壁、荒漠版块中，昼夜温差大，增温效应明显，有利于瓜果的着色和糖分积累。典型的瓜果有西瓜、葡萄、红枣等。内陆绿洲区利用自身的优势，借助于多种水利设施，并结合各种灌溉技术和农艺措施，使绿洲灌溉农业发展趋向成熟。

1.2 作物水分生理

1.2.1 作物体内水分状况及其生理作用

任何生长着的作物都含有大量的水分，其含水量的多少随作物的种类、器官以及生育阶段的不同而异。一般禾谷类作物的含水量约为鲜重的60%~80%；而块茎作物和蔬菜的含水量多达90%左右。就同一作物而言，通常生命活动愈旺盛的器官或部

位，其含水量也愈高。随着这些器官的衰老，含水量逐渐降低。成熟种子的含水量一般降低至 10%~15%，因而其生命活动十分微弱。

作物体内的水分，按存在状态的不同，可分为束缚水和自由水两种。束缚水是细胞中靠近胶粒，受胶束缚而不易移动的水分。自由水则是离胶粒较远，不受束缚而能够自由移动的水分。自由水参与各种代谢作用，它的数量制约着作物的代谢强度，如光合强度、蒸腾强度、呼吸强度和生长速度等。自由水占总含水量的百分比越大，则代谢越旺盛。束缚水不参与代谢作用，但其含量的多少与作物的抗性有密切关系。即束缚水含量与自由水含量的比率（通常 4~5 : 95~96）增高时，作物的抗寒、抗旱能力增强。因此，作物自由水和束缚水的含量及其比率是反映水分生理状况的一项重要指标。

水分在作物生理中的主要作用是：①细胞原生质的重要成分；②光合作用的重要原料；③一切生化反应的介质；④溶解和输送养分；⑤保持作物体的紧张度。

1.2.2 作物对水的吸收

1. 作物细胞的吸水 作物的吸水是通过细胞来完成的。作物细胞未形成液泡以前，主要靠细胞内胶体物质的吸胀作用进行吸水。如干燥种子和根尖分生组织细胞，都是靠吸胀作用而得到水分的。当细胞形成液泡之后，主要靠渗透吸水，即通过渗透作用从外界吸取水分。渗透吸水是作物吸水的主要方式。

（1）渗透作用。渗透作用是扩散作用的一种特殊形式，即溶剂分子通过半透性膜的扩散作用。半透性膜是可透过溶剂分子而限制溶质分子透过的膜，又称为区别透性膜或选择性膜（如火棉胶袋、动物膀胱膜和植物细胞原生质膜等）。在长颈漏斗下端装一个半透性膜，内盛糖液，再将漏斗置于盛有蒸馏水的烧杯中，由于水很容易透过半透性膜，糖及其他溶质难于透过半透性膜，