



SHESHI NONGYE JIESHUI GUANGAI SHIYONG JISHU

设施农业节水灌溉

实用技术

廖林仙 黄鑫 杨士红 编著



黄河水利出版社

设施农业节水灌溉实用技术

廖林仙 黄 鑫 杨士红 编著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

全书共分八章,主要包括:绪论,地面灌溉节水技术,滴灌,微喷灌,渗灌,地膜覆盖灌溉技术,设施作物对灌溉技术的要求,设施农业节水灌溉设备安装与运行管理。本书着重阐述和介绍了设施农业条件下各种节水灌溉技术的基本理论和适用特点,作物的需水特性与对灌溉技术的要求,节水灌溉工程施工与运行管理等。

本书为从事设施农业生产管理的农民培训用书,也可供地、市(县)水利部门从事农田水利和设施农业工作的技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

设施农业节水灌溉实用技术/廖林仙,黄鑫,杨士红
编著. —郑州:黄河水利出版社,2011.9

ISBN 978-7-5509-0123-0

I. ①设… II. ①廖…②黄…③杨… III. ①设施
农业-农业灌溉-节约用水 IV. ①S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 197866 号

出 版 社:黄河水利出版社 网 址:www. yrcp. com

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32

印张:5.375

字数:145 千字

版次:2011 年 9 月第 1 版

印次:2011 年 9 月第 1 次印刷

定价:22.00 元

前 言

《设施农业节水灌溉实用技术》针对目前我国设施农业大力发展,农业综合开发兴起,但农民对设施农业节水灌溉设备使用与运行管理却相对滞后的现状而编写的。本书是本着实用性强,基础理论以必需和够用为度的原则进行编写的。编写中注重理论联系实际,多举示例,突出应用;内容上力求深度、广度适宜;并尽可能反映近年来设施农业节水灌溉方面的新技术、新知识、新成果。

全书共分八章。第一章为绪论,第二章为地面灌溉节水技术,第三章至第五章为微灌技术(分别为滴灌技术、微喷灌技术与渗灌技术),第六章为地膜覆盖灌溉技术,第七章为设施作物对灌溉技术的要求,第八章为设施农业节水灌溉设备安装与运行管理。主要阐述设施农业节水灌溉技术的基本理论和适用特点、设施农业中作物的需水特性与对灌溉技术的要求、节水灌溉工程施工与运行管理等基本知识。

参加本书编写的有河海大学廖林仙(第一章,第六章,第七章,第八章第一、二节)、河海大学杨士红(第二章)、华北水利水电学院黄鑫(第三章、第四章、第五章)。

本书在编写过程中,参考了许广志、周长吉、李宗尧、秦为耀、庞鸿宾、吴普特等编著的书,在此一并表示感谢。

书中错误和不妥之处恳请广大读者批评指正。

作 者

2011 年 9 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 发展节水灌溉的重要性	(1)
第二节 设施农业发展情况	(4)
第三节 设施农业发展节水灌溉的必要性	(8)
第二章 地面灌溉节水技术	(12)
第一节 地面灌水方法的类型及特点	(12)
第二节 节水型畦灌技术	(14)
第三节 节水型沟灌技术	(24)
第四节 波涌灌溉技术	(29)
第三章 滴 灌	(39)
第一节 滴灌的原理、优点、缺点	(39)
第二节 滴灌系统的组成及设备	(55)
第三节 滴灌系统的设计	(57)
第四节 维护与故障排除	(67)
第四章 微喷灌	(69)
第一节 微喷灌的原理与优缺点	(69)
第二节 微喷灌系统的组成及设备	(72)
第三节 温室大棚微喷灌系统	(74)
第四节 微喷灌系统的运行管理与维护	(79)
第五章 渗 灌	(80)
第一节 渗灌的原理与优缺点	(80)
第二节 渗灌系统的组成及设备	(82)
第三节 渗灌系统的设计	(87)

第四节 维护与故障排除等	(93)
第六章 地膜覆盖灌溉技术	(96)
第一节 膜上灌灌水技术	(96)
第二节 膜下灌灌水技术	(105)
第三节 其他地膜覆盖灌溉技术	(112)
第七章 设施作物对灌溉技术的要求	(114)
第一节 设施内作物对水环境的要求	(114)
第二节 设施农业作物需水规律	(118)
第三节 设施农业作物对节水灌溉技术的要求	(129)
第八章 设施农业节水灌溉设备安装与运行管理	(132)
第一节 节水灌溉设备施工安装	(132)
第二节 微灌系统运行管理	(149)
参考文献	(164)

第一章 绪 论

第一节 发展节水灌溉的重要性

一、人均耕地进一步减少,粮食生产安全急需发展节水灌溉农业

我国的耕地面积仅占世界总耕地面积的 7%,但要承担养活占世界总人口 22% 中国人的重任。随着工业化、城市化、农村现代化的迅速发展,耕地面积正逐渐减少(见表 1-1)。按照我国 1978 ~ 1994 年耕地面积年平均减少 28.7 万 hm^2 、1996 ~ 2006 年年平均减少 79.5 万 hm^2 的中间结果计算,至 2032 年人口高峰期人均耕地面积将降至 0.074 hm^2 ,接近国际粮农组织(FAO)规定的临界值。若按日本或美国的工业化道路实现我国未来的工业化,人口高峰期人均耕地面积将降至 0.04 hm^2 或 0.017 hm^2 ,耕地资源严重短缺,必将成为我国农业可持续发展的最大障碍之一。

根据《中国的粮食问题》(政府粮食白皮书),我国粮食需求将呈刚性增长。粮食问题最根本的是土地资源,土地减少是刚性的,人口增长是刚性的,因此最终只能是靠提高单产。占全国耕地面积 40% 左右的灌溉面积上每年生产的粮食占全国总量的 75% 左右,生产的经济作物占 90% 以上。60% ~ 70% 的粮食增长量需要通过采取水利措施在灌溉面积上实现。发展节水灌溉农业是提高粮食生产能力最有效的途径。

表 1-1 人均耕地变化

(单位: $\text{hm}^2/\text{人}$)

年份	人均耕地	年份	人均耕地
1949	0.181	1989	0.087
1952	0.188	1990	0.085
1957	0.173	1991	0.084
1962	0.153	1992	0.082
1965	0.143	1993	0.080
1970	0.121	1994	0.079
1975	0.108	1995	0.079
1976	0.106	1996	0.106
1977	0.105	1997	0.105
1978	0.103	1998	0.104
1979	0.102	1999	0.103
1980	0.101	2000	0.101
1981	0.099	2001	0.100
1982	0.097	2002	0.098
1983	0.096	2003	0.095
1984	0.095	2004	0.094
1985	0.093	2005	0.093
1986	0.091	2006	0.093
1987	0.090	2007	0.092
1988	0.088		

注:表中 1986~1995 年耕地数据来自国家统计局年报,1996 年(含)以后耕地数据来自国土资源部国土资源公报,两种数据在统计口径上存在一定差异。

由于耕地资源不足,新垦荒地难度加大,增加农作物产量的重点将转向提高单位面积产量,这就必须依赖于发展灌溉等各种技术措施。因此,大力发展高效节水农业将成为粮食生产的有效途径之一。

二、水资源短缺,农业用水供需矛盾日显突出,制约了农业发展

我国水资源总量为 2.8 万亿 m^3 , 仅占世界水资源总量的 5.6%, 人均占有量为 2 200 m^3 , 不足世界人均占有量的 1/4, 列世界第 109 位, 是世界上 13 个贫水国家之一, 资源性缺水严重。目前, 全国每年缺水近 400 亿 m^3 , 因缺水造成的损失达 2 300 亿元。若水资源总量能在中长期保持基本稳定, 人口高峰期人均资源占有量还将减少 25% ~ 30%, 水资源供需矛盾更加突出。

我国农业还面临着用水结构性缺水, 由表 1-2 可以看出, 灌溉用水量占全国总用水量的比例逐年下降。随着社会经济的迅速发展, 工业用水和城镇生活用水的比例还将增加, 农业用水将进一步被挤占, 实现零增长, 优质和较低质的水源将转向非农业灌溉的供水, 灌溉用水更为紧缺。

表 1-2 不同典型年份灌溉农业情况

年份	有效灌溉面积 (亿 hm^2)	灌溉用水量 (亿 m^3)	灌溉用水占全国总用水量 比例(%)	人口 (亿)	耕地面积 (亿 hm^2)	粮总产量 (亿 kg)
1949	0.16	956	92.0	5.40	0.978	1 132
1957	0.25	1 853	90.0	6.46	1.110	1 950
1965	0.32	2 350	85.0	7.25	1.140	1 945
1980	0.49	3 570	80.5	9.87	1.340	3 206
1988	0.48	3 874	—	10.96	0.957	3 941
1993	0.50	3 440	66.5	11.85	0.951	4 565
1998	0.52	3 517	64.3	12.48	1.296	5 123
2000	0.55	3 783	68.8	12.67	1.282	4 626
2005	0.57	3 580	63.5	13.08	1.220	4 840
2007	0.57	3 598	61.8	13.21	1.217	5 016

全国年排放污水总量 600 亿 m^3 , 其中 80% 未经处理直接排入水

体。在 700 多条重要的河流中,有近 50% 的河段、90% 以上的城市沿河水域遭到污染,已使 70% 的地面水源遭受不同程度的污染,其中 30% ~ 40% 的水源已不符合灌溉水质标准,每年全国农田污染事故造成的损失超过 1 亿元,粮食减少 100 万 t 以上。如果不采取有效措施,地表水和地下水的水质还将下降,灌溉用水因水质性缺水而更趋紧张。

灌溉可用水量的减少和水质恶化,加剧了农业用水供需矛盾,干旱缺水造成的农业损失日益加大。统计资料表明,每年因干旱缺水受灾面积平均达 2 667 万 hm^2 ,成灾面积 1 333 万 hm^2 ,减产粮食 1 000 亿 kg,且有逐年增长的趋势。在水源性、水质性及结构性缺水较严重的形势下,必须发展节水农业,才能促进农业的可持续发展。

第二节 设施农业发展情况

一、设施农业的内涵

设施农业是通过实施现代农业工程、机械技术和管理技术改善局部环境,为种植业和养殖业、微生物、水产生物以及产品的储藏保鲜提供相对可控制的最适宜的温度、湿度、光照、水肥、空气等环境条件,充分利用土壤、气候和生物潜能,在有限的土地上使用较少劳动力,在一定程度上摆脱对自然环境的依赖进行有效生产的农业,以获得速生、高产、优质、高效的农产品的新型生产方式。设施农业是现代农业发展史上的一次革命,是由传统农业向现代化集约型农业转变的有效方式,是实现农业现代化的必由之路。

广义的设施农业主要包括设施栽培和设施养殖两个方面。设施农业从狭义上讲包括塑料大棚、温室、植物工厂三种不同的技术层次。但目前,中国发展和应用较多的主要是塑料大棚、日光温室及连栋温室,也有少量先进工程技术的智能温室。其中日光温室是中国的独创,由于其能充分利用太阳光热资源、节约燃煤及减少环境污

染,已在中国北纬 40°以上的高寒地区广泛应用。日光温室在中国发展迅速,其面积已超过温室总面积的 60%。

设施农业在生产条件、生产方式、产品供应上都与传统农业不同。区别主要体现在以下几方面:

(1)设施农业能充分利用太阳光热能源,减少环境污染。

(2)设施农业在一定程度上克服了传统农业在外界环境(气候条件)和资源(土地、热、水)等方面难以解决的限制因素,加强了资源的集约高效利用,提高了农业系统的生产力,使单位面积产出成倍乃至数十倍增长,提早或推迟产品的上市时间,满足市场均衡供应。

(3)设施农业打破了传统农业地域和季节的自然限制,具有高附加值、高投入、高技术含量、高品质、高产量、高效益、无污染、可持续发展等特点。

二、国外设施农业发展现状与趋势

(一)发展现状

20 世纪 70 年代以来,西方发达国家在设施农业上的投入和补贴较多,设施农业发展迅速。目前全世界设施农业面积已达到 400 万 hm^2 。设施农业比较发达的国家主要有荷兰、以色列、美国和日本。另外,法国、西班牙、澳大利亚、英国和韩国等国家的设施农业也都达到了比较高的水平。在上述这些国家,其设施设备标准化程度、种苗技术及规范化栽培技术、植物保护及采后加工商品化技术、新型覆盖材料开发与应用技术、设施环境综合调控及农业机械化技术等具有较高的水平,居世界领先地位,并在向高层次、高科技以及自动化、智能化和网络化方向发展,实现了农产品周年生产、均衡上市。

(二)发展趋势

目前,国外设施农业的发展呈现以下趋势:

(1)温室建筑面积增大。大型化扩大每栋温室的面积,有利于节省材料、降低成本、提高采光率和提高栽培效益。国外农业技术先进的国家,温室的面积在 0.5 hm^2 以上,同时,室高在 4.5 m 以上,最

高的有 6 m 左右。这种大空间可进行立体栽培,便于机械化作业。

(2)机械化、自动化。设施内部环境因素(如温度、湿度、光照度、二氧化碳浓度等)的调控由过去单因子控制向利用环境多因子计算机动态控制系统发展。发达国家的温室作物栽培,实现了播种、育苗、定植、管理、收获、包装、运输等作业机械化和自动化。荷兰 Pitsen 花木公司的 8 000 m² 盆花栽培从播种、育苗到定植、管理等作业只用了 3 个工人,年产 30 万盆花,产值达 180 万美元。美国开发了移苗作业机器人,可将作物幼苗从穴盘中移栽到苗床上。

(3)无土栽培。无土栽培具有节水、节能、省工、省肥、减轻土壤污染、防止连作障碍、减轻土壤传播病虫害等多方面优点。无土栽培温室的发展在国外发展较快,荷兰超过 70%,加拿大超过 50%,比利时达 50%。美、日、英、法的无土栽培面积达到 250 ~ 400 hm²。日本无土栽培作物占温室总产量比例是:草莓 66%、青椒 52%、黄瓜 37%、番茄 27%。已成功开发计算机控制的营养液配制和供给的闭路循环系统。

(4)覆盖材料多样化。除玻璃纤维增强塑料(FRP)板、聚乙烯(PE)薄膜、聚氯乙烯(PVC)薄膜等常用材料外,现已开发了多种覆盖材料。例如,聚碳酸酯塑料板(多制成波浪板)透光好、耐冲击强度高,使用寿命长;双层或多层聚碳酸酯(PC)中空板质量轻、保温好,价格比较便宜;还研制了新技术遮阳膜,具有不同的遮光率和保温性能,可供用户根据需要选用。

(5)发展温室生物防治。减少农药用量,发展超低量喷雾设备,开发生物防治技术,使荷兰温室青椒生物防治率达到 80% ~ 90%,日本从 1993 年也开始发展温室生物防治。

(6)温室内部广泛使用喷灌或滴灌等节水灌溉系统。

三、我国设施农业发展现状与存在问题

(一)我国设施农业的发展现状

我国设施农业起步较晚,但发展较快。20 世纪 90 年代以来,我

国较大规模地引进国外大型连栋温室及配套栽培技术,设施农业也以超时令、反季节的设施园艺作物生产为主迅猛发展。据统计,至1999年全国设施农业面积已发展到139.6万 hm^2 ,大都集中在鲁、辽、冀、豫、甘和京、津、沪等省(区)。设施园艺的发展基本上解决了我国长期以来蔬菜供应不足的问题,并实现了周年均衡供应,达到了淡季不淡、周年有余的要求。在设施园艺研究领域,我国也取得了一定的进展,不仅试验研究出比较适合我国气候条件与国情的园艺设施,而且在保护地栽培、节水灌溉、机械化育苗以及蔬菜、花卉无土栽培等方面的研究也取得了某些成就,有些研究成果已逐步在生产实践中得到广泛应用。目前,我国设施农业已超越早先的瓜、菜、花卉等园艺作物的范畴,广泛地用于大田作物、水产养殖、畜禽饲养及林果生产等诸多领域。一批设施农业新结构、新设备和新技术正在推广应用,设施农业已显示出“两高一优”的优势。在21世纪初,设施农业在开发大西北、建设山川秀美的新西北中发挥了重要作用,在农业结构调整和可持续农业发展战略上占据重要地位。

(二) 我国设施农业存在的问题

(1) 科技含量低。发达国家发展工厂化农业采取的是“高投入、高产出”的高科技路线,而我国由于技术和经济的原因,采用的是低投入、低能耗的技术体系。温室结构简易,环境控制能力差;栽培管理主要靠经验,与数量化和指标化生产管理的要求相差甚远;温室种植品种也大多是从常规品种中筛选出来的,还没有专用型、系列化的温室栽培品种,设施条件下农产品的产量和品质始终在低水平上徘徊。

(2) 设施水平低下。从统计数字上看,我国设施栽培面积很大,但设施装备的水平低下:90%以上的设施仍以简易型为主,有些仅具简单的防雨、保温功能;抗御自然灾害能力差;土地利用率低,保温、采光性能差;作业空间小,不便于机械操作;对设施内的温、光、水、肥等环境因子的综合调控差。虽在一定程度上适应了比较落后的农村经济状况和较低的人民生活水平的需求,但不适应现代农业发展

需要。

(3)机械化程度低,劳动强度大。我国设施农业机械的配套水平不高,机械化作业水平低,生产仍以人力为主,劳动强度大。现有的产品机型不多,且多为借用已有的陆地用小型耕耘机械。机械化水平低也是制约我国设施农业发展的瓶颈。

(4)运行管理水平较低。现代设施农业具有市场化、高技术和企业化3个特点,是硬件设施和软件技术的统一体。当硬件设施建成后,软件技术将起到主导作用。设施农业发达的国家除了拥有先进的硬件设施,还建立了生产—加工—销售有机结合、与市场相适应的运行管理机制。目前,我国还没有建立起这种管理机制,仍然以经验的、粗放的管理手段为主。硬件设施可通过一次性投资完成,而后期管理和运作绝不是一朝一夕能达到预期目标的。

此外,我国设施农业目前还存在着如土地利用率低、劳动生产率、经济效益不太明显等诸多问题。

第三节 设施农业发展节水灌溉的必要性

一、设施农业发展节水灌溉的必要性

我国设施农业面积虽居世界首位,但产量仅为世界先进水平的1/3。究其原因,除设施结构较简陋,内部调控设备和功能不齐全、不完善,以及总体规划不尽合理和综合配套栽培技术水平低等原因外,更重要的是设施内的灌溉技术落后,严重影响设施内的环境状况,使其未能充分发挥节水增产的巨大作用。

设施农业由于土壤耕层不能直接利用天然降水,而要依靠人为灌溉来补充水分,在大型的保护设施内实现周年生产的栽培制度下,如果仍然采用传统经验灌水,灌溉水量就会比露地同类作物栽培要大。传统的灌溉方式,不仅浪费宝贵的水资源,而且会使设施内环境恶化,导致病虫害发生和作物品质及产量的下降。

在现代节水农业生产中,仅靠灌溉设备,即使是最先进的产品,如果没有科学的使用、管理技术,没有相应的农业生产措施,其结果也会令人失望。灌溉技术与设施农业在农业生产上都发挥着重要的作用,构成了现代农业的一个重要内容。可以说,灌溉与设施任一方的生存和发展都与另一方的发展相关。二者的集成发展、良好配置,其结果一定大于二者单独功效之和,任一方的落后同时制约另一方功能潜力的发挥。就目前发展而言,灌溉与设施均存在不足甚至严重问题。这些问题如不尽快解决,节水农业的发展就将成为一句空话,这是关系到 21 世纪国家农业发展的大事。

然而,我国温室大棚种植的蔬菜、花卉和经济作物,绝大多数采用传统的畦灌,水的利用率只有 40%,亩灌水定额为 $600 \sim 800 \text{ m}^3$ 。进入 20 世纪 90 年代,我国开始大面积推广节水灌溉技术,先后开发和引进了先进国家的温室灌溉设备(主要是滴灌、微灌和与之相配套的设备)后,促进了我国温室大棚节水灌溉设备的生产和应用。温室大棚推广滴灌设备后,节水效果十分明显,亩灌水定额仅为 300 多 m^3 ,增产 20% ~ 100%,提高了作物的品质,节省了劳力,为发展工厂化农业奠定了基础。由于微灌用水量少,工作压力比喷灌低得多,所以可以节省能源。利用微灌系统直接向根部施入可溶性肥料,减少了肥料流失,提高了肥效。

二、节水灌溉技术分类

温室是个相对封闭的生产设施,自然降雨不能被直接利用,温室内作物需要的水分完全依靠人工灌溉措施来保证。温室内灌溉方式的选择与作物的品种、栽培方式、温室结构形式、水源及动力供应情况、投资能力、使用者的知识技术水平等诸多因素相关。

漫灌是使用最简便、最原始的灌溉方式,从古到今被广泛应用。在早期的温室中,也把在大田中广泛应用的漫灌方式移植应用。但随着科学技术和人类社会的进步,人们对农产品的品质要求不断提高,特别是随着人口的剧增,水资源的紧缺已成为全球关注的焦点,

农田灌溉技术也发生了革命性的巨大变化。目前,设施农业中所应用的灌溉方式有地面灌溉(包括沟灌、畦灌和波涌灌)、微喷灌、滴灌、渗灌、覆膜灌溉等多种形式。不同灌溉方式的比较见表 1-3。

表 1-3 各种灌溉技术特点比较

项目	地面灌溉	微灌			覆膜灌溉
		微喷灌	滴灌	渗灌	
灌溉作物部位	作物根部	作物叶面、根部	作物根部	作物根部	作物根部
湿润区域	土壤表面部分湿润	地表面湿润	局部表面湿润	地下局部湿润	局部表面湿润
对土壤结构的影响	因渗透而使土壤更加密实	因雨滴撞击可能使土壤板结	影响较小	影响较小	影响较小
蒸发蒸腾	较大	大	较少	少	少
植物冠部湿润	不湿润	部分湿润	不湿润	不湿润	不湿润
灌水效率	50% ~ 65%	65% ~ 80%	85% ~ 95%	85% ~ 95%	
灌水均匀度	差	高	高	高	
对田间小气候的影响	较大	大	较小	小	较小
灌溉施肥控制精度	差	高	高	高	不一定
对水中含的杂质颗粒的敏感程度	要求低	有限(喷嘴直径大于 2 mm)	高度敏感	高度敏感	不一定
水源压力要求	低压	较高	一般	一般	一般
对耕作的影响	无	无(悬挂式) 有(插杆式)	有	有	有
设备投资	低	较高	较高	较高	较高

(一) 地面灌溉节水技术

地面灌溉节水技术是对传统的畦灌、沟灌的畦沟规格和技术要

素等进行改进后形成的新的灌溉技术,它能有效提高灌溉水的利用率和灌水均匀度,达到节水、节能、省工、低成本、高产、稳产、环保等目的。地面灌溉节水技术包括节水型畦灌、节水型沟灌、膜上灌和波涌灌等类型。

(二) 微喷灌

微喷灌是利用直接安装在输水管上或与毛管连接的微喷头,将压力水以喷洒状湿润土壤。由于微喷灌是用很小的喷头将水洒在土壤表面,供水水质和喷头质量对灌溉效果至关重要,因此必须按质量要求配备相关设备,确保应用效果。

(三) 滴灌

滴灌是利用安装在末级管道上的滴头,或与毛管制成一体的滴灌带,将压力水以水滴状点滴湿润土壤,滴灌灌水器的流量为 $2 \sim 12$ L/h。使用前按规定调整好输水压力,根据不同蔬菜品种、生育时期及天气状况等确定灌溉水量。追肥施药时,将所施用的肥料或农药溶解注入施肥器中,随水施入根部土壤。完成施肥用药后,应继续滴灌 20 min,以清洗管道及微滴灌头。

(四) 渗灌

渗灌是利用一种特别的渗水毛管,根据作物根系分布埋入地表以下 $10 \sim 30$ cm,压力水通过渗水毛管管壁的毛细孔,以渗流的形式湿润其根际周围土壤。由于能充分减小土壤表面蒸发,是用水量最省的一种微灌技术。渗灌管采用专用的塑料多微孔渗灌管或打孔塑料管,根据设施蔬菜根系分布和对水分的需要,一般把渗灌管埋在 $15 \sim 20$ cm 深处。

(五) 覆膜灌溉技术

覆膜灌溉技术是在地膜覆盖栽培技术的基础上,结合传统地面灌水沟、畦灌溉和微灌而发展的新式节水型灌水技术。