

2005年

中国农业工程学会
学术年会论文集

农业工程科技创新与建设现代农

第Ⅱ分册



中国农业工程学会

2005年12月19日—21日

主办单位：中国农业工程学会

承办单位：广东省农业厅 华南农业大学

华南农业大学
《中国农业工程学会 2005 年学术年会论文集》
编辑委员会

主 任：罗锡文

编 委：(以姓氏笔划为序)

马瑞峻 区颖刚 刘 瑛 刘金艳 朱立学

李就好 张兆国 洪添胜 梁松练 蒋恩臣

简秀梅 臧 英

责任编辑：马瑞峻

封面设计：汪 隼

主办单位： 中国农业工程学会

承办单位： 广东省农业厅

华南农业大学

特别鸣谢： 中国一拖集团公司

中国农机化导报

目 录

第Ⅱ分册 农业水土工程与节水农业

小流域土地规划方案优化方法研究.....	高建恩 杨世伟 吴普特 (1)
南水北调沿线农业面源污染现状及综合防治对策.....	张玉华 刘东生 徐 哲 (6)
现代节水农业技术研发趋势及我国节水农业战略思考.....	吴普特 冯 浩 牛文全等 (9)
缺水对未来我国粮食安全的影响及对策分析.....	冯 浩 吴普特 李百凤等 (19)
我国水资源承载力研究现状及展望.....	陈绍军 冯绍元 霍再林等 (23)
农村水污染防治技术措施浅析.....	郭宗楼 陈敏娇 (29)
水质污染评价的物元模型.....	王立坤 马永胜 门宝辉 (33)
嫩江上游地区水土流失现状及成因分析.....	马永胜 朱丹丹 刘庆华 (36)
三江平原挠力河流域地下水恢复研究综述.....	刘 东 马永胜 (40)
山地丘陵农业水资源高效利用系统的研究.....	陈 建 李云伍 李伟清 (44)
西北地区水资源状况与合理配置问题浅析.....	王 芳 吴普特 范兴科 (48)
南方平原地区河流生态环境预警系统研究.....	姚 莉 周明耀 丁煜诚等 (53)
坡耕地水土保持新技术——机械化垄向区田.....	“垄向区田技术及其配套机具的研究”课题组 (58)
开封市各部门水资源优化配置.....	洪 林 李明罡 李远华 (62)
抓好农业结构调整 发展旱作节水农业.....	毕进德 (66)
湖南省山丘区实施雨水集蓄,建立生态灌溉体系的思考.....	姚帮松 辛继红 裴 毅 (69)
里下河地区湖荡湿地生态环境需水量研究.....	张小林 周明耀 丁煜诚 (72)
内蒙古阿旗水资源承载力分析与计算.....	杨路华 王文元 韩振中等 (76)
基于虚拟仪器技术的光电式径流相关流速测量系统.....	李小昱 王 为 沈 逸等 (80)
基于 CorelDRAW 软件的径流调控模型雨谱特性分析.....	舒若杰 高建恩 吴普特等 (85)
作物水分亏缺信息的研究综述.....	郭正琴 王一鸣 杨绍辉等 (92)
建立作物水分生产函数的稳健回归方法.....	缴锡云 雷志栋 彭世彰 (97)
梭梭水分生长函数的试验研究.....	杨海梅 李明思 彭玉刚 (102)
基于地面土壤水分及作物长势监测系统的应用研究.....	孙 丽 汪庆发 黄大同 (106)
节水灌溉稻田土壤水分预报遗传算法.....	周明耀 赵瑞龙 张凤翔等 (111)
SPAC 系统中水势概念的重新定义与计算.....	景卫华 贾忠华 罗 笸 (116)
水分利用效率的基本内涵及正确使用.....	段爱旺 (122)
非水相流体(NAPLs)在土壤及多孔介质中迁移理论的研究进展.....	张富仓 康绍忠 (126)
参考作物蒸发蒸腾量随纬度与海拔的变化规律研究.....	徐俊增 彭世彰 张瑞美等 (134)
微咸水水质对土壤入渗特征影响分析.....	史晓楠 王全九 叶海燕等 (138)
微咸水灌溉对作物生长与产量的影响.....	王全九 马东豪 叶海燕等 (143)
集雨补灌技术与灌溉制度初步研究.....	马兰忠 程满金 程争鸣等 (147)
基于 GIS 的区域雨水资源化潜力评价模型研究.....	赵西宁 冯 浩 吴普特等 (155)
东北半干旱抗旱灌溉区节水农业综合效益等级评价.....	付 强 贺延国 (161)
甘肃民勤荒漠绿洲区节水农业发展模式问题浅析.....	王 锋 王 芳 (167)
北方半干旱集雨补灌旱作区节水农业发展模式.....	程满金 马兰忠 郑大玮等 (170)
砖红壤蒸发条件下水分运动试验研究.....	黄海琴 甄文斌 周衡稀等 (175)

蒸发条件下夹砂层土壤剖面盐离子动态特性研究.....	史文娟 沈 冰 汪志荣(179)
灌区灌溉技术的虚拟筛选.....	马理辉 汪有科 吴普特(184)
基于粗集权重的改进可拓评价模型在灌区干旱评价中的应用.....	张洪波 黄 强 刘 涵等(189)
旱后复水对玉米生理特性的影响.....	郭相平 王 琴 张烈君等 (194)
河北平原夏玉米水分生产函数的研究.....	夏 辉 杨路华(198)
河北省黑龙港地区秸秆覆盖夏玉米 SPAC 的水热模拟试验研究.....	脱云飞, 杨路华, 高惠嫣等(203)
黑龙港地区秸秆覆盖对夏玉米土壤水分时空分布影响的研究.....	高惠嫣 杨路华(209)
秸秆覆盖对夏玉米农田水分状况、土壤温度及生长发育的影响.....	杜新艳 杨路华 脱云飞等(213)
分根区交替灌溉对甜玉米水分与氮素利用的影响.....	梁继华 李伏生 梁潘霞等(216)
南方地区冬小麦水氮耦合产量效应研究.....	张凤翔 周明耀 郭文善等(222)
水肥耦合对冬小麦优质高产吸肥特性的影响.....	张凤翔 周明耀 郭文善等(226)
水肥耦合条件下水稻根系形态及其活力研究.....	嵇庆才 周明耀 张凤翔等(230)
麦作农田土壤耕层有机质空间变异特征研究.....	薛亚锋 周明耀 徐 英等(235)
水稻作物信息的空间变异性分析及 Kriging 估值法.....	薛亚锋 周明耀 徐 英等(239)
土壤特性及作物信息空间变异性研究现状及展望.....	周明耀 薛亚锋 徐 英等(244)
开封市引黄灌区农业节水潜力研究.....	洪 林 李明罡 郭 茂(250)
控制排水对宁夏银南灌区水稻田盐分动态变化影响的试验研究.....	田世英 罗 纨 贾忠华等(254)
不同施肥方式的单膜孔点源入渗水肥运移特性研究.....	费良军 朱兴华(259)
水稻生态节水技术的研究与展望.....	何生兵 邵孝侯 袁定炜等(263)
秸秆覆盖保墒的农田生态效应及 " 保墒灌溉 " 技术.....	员学锋 吴普特 汪有科等(268)
现代节水农业技术研发趋势及我国节水农业战略思考.....	吴普特 冯 浩 牛文全 (273)
微压滴灌技术理论与可行性分析.....	牛文全 吴普特 范兴科 (282)
毛管对灌水均匀度及系统管网布局的影响.....	范兴科 吴普特 (288)
波涌灌溉技术及其水力自动设备.....	邓斌峰 高昌珍 (293)
三次样条两次插值法计算喷灌组合均匀度.....	韩文霆 冯 浩 杨 青等 (297)
微灌田间管网水力计算研究进展.....	李永川 白 丹 宋立勋等 (302)
果树局部灌溉新技术——插入式渗灌.....	姚立民 李明思 申孝军 (307)
应用随机组合方法分析不同尺度表层土壤含水量合理取样数目.....	王春梅 左 强 杨鹤松 (310)
基于孔隙分形维数的土壤大孔隙水力特征参数研究.....	周明耀 余长洪 钱晓晴 (315)
土地开发整理项目中土方量计算方法研究.....	张晓沛 杨永侠 贾文涛等 (320)
新型橡塑预制件拼装式集雨水窖研发的可行性探讨.....	肖克飏 高建恩 吴普特 (325)
人工集流场集雨防渗材料研究进展.....	樊恒辉 吴普特 高建恩 (329)
数字式长喉道量水计的开发和应用.....	程吉林 吉庆丰 沈 波等 (334)
拉链式塑料渗灌管抗堵塞性能及抗堵防治措的试验研究.....	王忠波 王晓斌 马淑珠 (340)
根区导灌节水技术特点和应用.....	陈正华 甘润波 徐 飙 (343)

小流域土地规划方案优化方法研究

高建恩^{1, 2, 3}, 杨世伟^{1, 2, 3}, 吴普特^{1, 2, 3}

(1.中科院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学, 杨凌 712100;
3.国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 杨凌 712100)

摘 要: 针对目前黄土高原小流域生态环境建设中面临的土地规划利用方式难于进行试验优化, 规划结果具有较大盲目性的问题, 本文基于降雨、径流及入渗的水动力学原理, 利用相似论较完整地给出了一套可对黄土高原小流域水土资源利用方式进行优化的设计方法和模拟试验技术。验证结果表明, 在正态条件下, 满足几何相似、降雨相似、水力侵蚀产沙、输沙相似及床面变形相似等条件下所建造的黄土高原延安燕沟康家圪崂小流域土地规划模型, 采用几何比尺为 100 时, 其降雨、汇流、产沙、输沙是基本符合实际情况的, 可以作为该流域土地利用规划、治理水土流失、优化治理方案, 寻求水土资源高效利用措施的工具。

关键词: 黄土高原; 小流域; 土地规划; 优化; 模拟试验

中图分类号:

0 引言*

干旱与水土流失是黄土高原小流域土地高效利用所面临的最主要问题。黄土高原丘陵沟壑区,沟壑纵横,地形破碎,生态失调,风沙肆虐,水旱灾害频繁。由于土地利用不合理,森林、草场植被破坏,涵养水源能力降低,加剧了干旱的发展。每逢暴雨,地表径流迅速汇集,洪峰暴涨暴落,水沙俱下,严重的水土流失与干旱缺水是影响黄土高原区域生态环境建设、经济发展与社会进步的重要限制性因子。同步解决干旱与水土流失这一突出矛盾是治理黄土高原的重大科学问题。降雨径流调控是解决干旱水少和暴雨径流强烈侵蚀所表现的相对水多这一矛盾的有力手段。黄土高原以小流域为单元综合治理及土地利用实践的正反经验表明,凡是按合理调控降雨径流配置土地利用措施,就能取得良好的农业、水保、经济、生态和社会效益,反之就达不到预期的效果。这要求对降雨径流侵蚀调控模拟进行比较深入的研究,以期能进行准确的预测。

小流域土地利用的各种形式最终影响调控着地表径流,其中不合理的土地利用方式可能造成更为严重的水土流失,因此如何对小流域土地规划方案进行优化,使其既满足经济目标又符合生态建设要求,是一

个关键问题。通过室内小流域水力侵蚀模型,研究各种土地利用方式并对其进行优化,其本质是通过室内模拟试验,预测实际流域降雨径流侵蚀泥沙来源,优化土地利用措施,通过合理调控,控制水土流失,达到小流域水土资源高效利用的目的。模拟试验要达到定量预测,模型与原型就必须相似,这要求模型除了必须满足正确的相似比尺要求外,设计理论还必须正确,更重要的是还必须得到原型资料的验证^[1,2]。

但是,由于农业工程方面水力侵蚀模拟试验受模拟相似理论、设计理论等条件限制,一直是国内外研究的难点^[3]。在国外, Mamisao^[4]在研究农业流域土地利用影响时,提出了模拟流域特性实验的动力相似问题,但检验结果表明,模型响应过快,总径流量估计值偏高; Chery^[5]、Grace 和 Eagleson^[6]等在模型检验方面同样都没有取得满意的结果; 周文德等^[7]在美国 Illinois 大学进行了大量的室内水文试验,其理论依据同样是系统响应相似,避开了结论由模型向原型转换的问题。国内朱咸^[8]及蒋定生等^[9-11]从不同角度对小流域土地利用的水力侵蚀进行模拟,也基本上是从假定现象相似或者系统响应相似出发,不涉及模型向原型转换的问题。本文基于小流域土地利用对径流调控作用的新认识,对小流域土地利用优化模拟试验进行了进一步研究。

1 黄土高原小流域土地规划利用的

室内试验原理

1.1 基本假定

*收稿日期: 修订日期:
项目基金: 国家 863 计划重大专项《新型高效雨水集蓄与利用技术研究》
(2002AA224051)、科技部农业科技成果转化资金
(02EFN217101279)、西部开发科技行动 (2002BA901A26)、
中科院水保所知识创新领域前沿 (C23013700)
作者简介: 高建恩 (1962—), 男, 山西运城人, 研究员, 博士, 从事水土
资源高效利用方面的研究。
通讯地址: 陕西杨凌西农路 26 号, 712100, gaojianen@126.com

基于不同经济目标和社会目标的小流域土地利用,无论方式如何,都可以看作为小流域的不同地貌单元,对降雨和径流的水力侵蚀进行调控。当这种调控能够较好地解决干旱与水土流失并使水土资源得以高效利用,这种调控作用就是合理的,反之就不尽合理。换句话说,可以通过小流域的水力侵蚀模拟试验,研究小流域土地利用优化问题。

小流域降雨径流模拟试验是按照一定比例尺构建小流域水力侵蚀试验模型,并配置各种土地利用措施,在人工降雨条件下,重现大暴雨引发的水土流失现象,观测模型流域产流产沙的变化过程,预测实际流域降雨径流侵蚀泥沙来源,优化土地利用措施,通过合理调控,控制水土流失,借以寻求小流域综合治理优化方案。这种方法使得研究者能控制降雨的时空变化,了解降雨和汇水区参数对地表漫流过程和侵蚀过程特征的影响,达到为农田基建及小流域治理提供量化依据的目的。由于该方法的突出优点,事实上在实验室内通过小尺度人工降雨径流模拟实验来进行水土资源利用规划近年来重新受到重视,特别是通过近期研究^[1,2],在降雨径流侵蚀能否模拟、如何模拟、模拟应该遵循的基本水动力学规律、主要相似定律以及比尺如何设计等理论方面取得明显进展。

1.2 试验原理

小流域水力侵蚀模拟试验的理论基础是相似论。关于相似的学说,从牛顿至今已有 300 多年的历史,但直到 20 世纪四十年代,由前苏联学者吉尔比切夫(М.В.Кирпичев)院士补充了相似第二定理后,其理论始臻完善^[12]。事实上,自从 1848 年法国科学院院士别尔特兰(J.Bertrand)提出相似第一定理以来,这门学说就开始在方程分析及因次分析方向发展。前一方面,前苏联曾一度领先,后一方向,欧洲也曾走在前面。而最先把方程分析法应用于河工模型试验的是前苏联学者蔡克士大(А.П.Эгжда),从此这门技术有力地推进了现今水力模拟试验技术的发展。在农业水土工程领域,Mamisao^[4]等人通过因次分析推导了正态佛汝德定律的无因次参数,初步研究了农业流域土地利用问题。

黄土高原小流域降雨径流模拟试验无疑是水力试验的一种,因此也必须服从水力模型试验相似三定律^[13]。相似第一定律是关于相似性质的学说,它讨论已经相似的现象,具有什么性质的问题,内容包括:(1)由于相似现象是服从于同一自然规律的现象,因此它们应为文字上完全相同的方程组(包括方程组的单值

条件)所描述;(2)在相似的物系中,用来表示现象特性的同类物理量之比是常数;(3)相似现象必然发生在几何相似的对象里;(4)由于相似现象的同类量之间是成常数比例的,而由这些量组成的方程组又是相同的,故各量的比尺不是任意的,而是彼此相约束的。

相似第二定理是关于相似条件的理论,它讨论现象满足什么条件(必要而且充分)才能够相似的问题。

(1)由于相似现象是服从同一规律的现象,故都被文字上完全相同的方程组所描述,这是相似的第一个必要条件;(2)由于单值条件能够从服从同一自然规律的无数现象中区别出某一具体现象,因此若要使某一个具体现象相似于另一个具体现象,单值条件相似是第二个必要条件。(3)因为在根据方程式相同及单值条件相似所得到的相似判据中,有一部分系完全由单值量所组成,相似现象要求由单值量组成的相似判据不变是现象相似的第三个必要条件;(4)前述三个必要条件构成相似的充分条件。

相似第三定理是关于试验结果推广的理论,它讨论模型试验成果如何推广到任意相似现象的问题。这个定理可表述为:服从单位系统的物理方程(包括物理方程)可以转变为变量的无量纲数群与简单数群间的关系的形式,即可表为:

$$F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, S_1, S_2, S_3) = 0 \quad (1)$$

式中, $\pi_1, \pi_2, \dots$ 为无量纲综合数群; $S_1, S_2, \dots$ 为简单数群,即同类量配比数。对于相似现象,这些无量纲数就是相似判据,因此上述方程式亦称为“判据关系式”,也就是费捷尔曼的综合结论。当每个“ π ”数中只包含一个导来量并且不考虑简单数群时,上述方程即白金汉(Buckingham J.)的 π 定理。

上述理论在水利工程等领域应用取得巨大成功,而在农业水土工程领域,仅仅才起步,所研究模型要么只考虑几何相似,要么适当考虑水流重力相似。在理论方面,没有自觉使模型服从相似三定律;在实践上没有从小流域降雨、径流、产沙及水流运动机理上研究相似比尺,无法做到真正的模型相似。

相似论开宗明义指出:相似现象是服从于同一自然规律的现象,它们应为文字上完全相同的方程组(包括方程组的单值条件)所描述。小流域地表径流所涉及的物理方程复杂,因此选择合理的物理方程,准确描述小流域降雨、径流的基本水动力学规律,是做好小流域模型的第一个关键性步骤。

1.3 遵循的基本方程

黄土高原侵蚀主要发生在暴雨和特大暴雨期间，因此小流域土地利用对降雨径流水沙的调控试验，主要是指对暴雨和特大暴雨径流的水力调控试验。降雨以后，雨滴以很大的能量冲击地表，使土团分散，土粒溅到空中，并使地表薄层水流产生强烈紊动，增加了水流的挟沙能力，形成溅蚀和片蚀；薄层水流沿坡面运动汇集成股流，将坡面冲刷成细沟，若干细沟袭夺兼并，汇集足够水量，产生强烈冲刷力形成浅沟；细沟和浅沟水流进一步汇集，产生强烈的下切作用，形成切沟；切沟进一步发育，形成冲沟；在接纳多条冲沟水流之后，形成坳沟进而发展成属于古老沟谷类的河沟，从而完成黄土高原小流域的沟道汇流过程^[14]。由于暴雨击溅和沟坡陡峻等因素，致使水流紊动强烈，侵蚀沟坡水流挟沙能力较大，因而水流多为紊流。

基于上述坡面降雨径流侵蚀输移过程，描述坡面降雨径流侵蚀过程的物理方程应该包括：坡面降雨径流运动方程即坡面流运动的一维不稳定流坡面圣维南方程组，不可压缩的三维紊动水流的时均微分方程、侵蚀泥沙运动输移方程及土壤水运动方程。

1.4 基本相似关系

基于上述描述小流域不同地貌单元在降雨径流作用下的侵蚀输移方程，可以得到模拟试验所涉及的主要相似条件^[1,2]，包括几何相似、降雨相似、坡面水流运动相似、沟道水流运动相似、坡面沟道水流侵蚀产沙输沙相似、坡面沟道床面变形相似等。在正态相似条件下，各种相似条件应满足的基本比尺关系式为：

几何相似： $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z = \lambda_l$

降雨相似： $\lambda_i = \lambda_v = \lambda_t^{1/2}$

水流运动相似： $\lambda_v = \lambda_t^{1/2}$ ， $\lambda_f = 1$ 或 $\lambda_n = \lambda_t^{1/6}$

侵蚀产沙运动相似： $\lambda_u = \lambda_{u_c} = \lambda_{u_*} = \lambda_\omega$

冲淤变形相似： $\lambda_{t'} = \frac{\lambda_{t_0}}{\lambda_s} \lambda_t$

土壤水运动相似： $\lambda_\theta = 1$

2 燕沟小流域土地利用方式优化模拟试

验设计与验证

为了研究小流域不同土地利用方式优化试验，选择黄土高原延安燕沟康家圪崂小流域为原型对模拟设计理论进行检验和验证。该小流域面积为 0.3417km²，沟壑密度 3~4km/km²，流域长度 0.903km，流域最大宽度 0.723km，平均宽度 0.52km，流域形状系数 0.52，高差 189.7m，土壤侵蚀模数为 9000t/(km²·a)，属于强度水土流失类型区。该小流域土壤侵蚀自成系统，土地利用方式多样，生态经济系统适于调控，且有较丰富的实测资料以供对比。

本模型设计的思路是，先根据现有条件，在正态条件下几何比尺为 100，满足小流域模型几何、降雨、水流运动、床面侵蚀产沙运动、床面变形运动、入渗相似条件下，通过预备试验确定含沙量比尺后得到小流域降雨径流相似比尺关系式^[1]，如表 1。

在保证下垫面土壤机械组成相似、降雨相似条件下，采用模型当量雨强 0.114mm/min，当量降雨历时 40min 的当量降雨过程进行试验。对汇流时间、平均汇流速度、最大汇流量、年侵蚀量及输沙级配进行验证表明，按上述比尺制作模型并进行试验，其汇流时间、平均汇流速度、最大汇流量及平均年侵蚀量与原型是接近的，模型能够反映原型的水力侵蚀情况。输沙级配是小流域产流、产沙、输沙及床面变形的综合反映。通过对 2003 年 7 月 13 日暴雨后燕沟康家圪崂小流域所取得的不同部位淤沙级配与同降雨强度下模型侵蚀泥沙对比发现，原型暴雨最大 10 分钟降雨 1.1mm/min，与模型当量雨强相当，只是总雨量 19.7mm，较原型当量雨量少，持续时间短，故产沙较细，但与模型产沙级配差别不大，无论在定性定量上都是令人满意的。

3 土地利用方式优化初步试验

基于上述验证，对康家圪崂小流域的径流调控进行初步试验，试验的土地利用方式包括生物路水窖集流和水平梯田。为了进行对照，试验条件为：原型年侵蚀量为 2900t/(km²·a)，平均雨强取百年一遇暴雨 30 分钟雨强 1.14mm/min，平均侵蚀降雨时间 132min；

模型雨强 $I_m = 0.114\text{mm/min}$ ，平均降雨时间

$T_m = T_y / \lambda_{t1} = 131.6 / 3.3 \approx 40\text{min}$ 。试验的初步结果见表

2。

表 1 模型主要比尺一览表
Table 1 The Primary Similarity Scale Expressions

名	称	比尺符号	比尺值
几何相似	平面比尺	λ_l	100
	垂直比尺	λ_h	100
降雨相似	雨强比尺	$\lambda_i = \lambda_v = \lambda_l^{1/2}$	10
	降雨量比尺	$\lambda_p = \lambda_i \lambda_{t_l}$	33.3
	降雨时间比尺	λ_{t_l}	3.3
	流速比尺	$\lambda_v = \lambda_l^{1/2}$	10
水流运动相似	流量比尺	$\lambda_Q = \lambda_l^{5/2}$	100000
	糙率比尺	$\lambda_n = \lambda_l^{1/6}$	1.47
	水流时间比尺	$\lambda_{t_l} = \lambda_l^{1/2}$	10
侵蚀泥沙运动相似	悬移运动相似	$\lambda_d = \frac{\lambda_l^{1/4} \lambda_v^{1/2}}{\lambda_{\frac{p_s-p}{p}}^{1/2}}$	3.16
	起动相似	$\lambda_v = \lambda_l^{1/2}$	10
	含沙量比尺	λ_s	3
	变形时间相似	λ_t	3.3
	输沙率比尺	λ_G	300000
土壤水相似	土壤含水量比尺	λ_θ	1
	入渗率比尺	$\lambda_f = \lambda_v = \lambda_l^{1/2}$	10

比较梯田调控与雨水集流调控发现，梯田集流调控面积 0.163km²,占流域面积 47%，径流沿程减少 6%，调控率-68%，泥沙调控率-50%。而雨水集流调控面积 0.06km²,占流域面积的 18%，径流沿程减少 10%，径流调控率-33%，泥沙调控率-40%。梯田集流调控面积是雨水集流面积的 2.7 倍时，由于布置位置不同，梯田比雨水集流用地减少沿程入渗少 4%，泥沙调控率仅增加 10%。从单位面积调控率来看，雨水集流调控率相对较高。

表 2 雨水收集与梯田工程径流调控试验结果比较
Table 2 Contrast of runoff controlling result between rainwater collection and terrace

项 目	对照	集流调控	梯田调控
汇流时间 (h)	0.3	0.56	0.72
汇流速度 (m/s)	0.84	0.51	0.32
最大汇流量(m ³ /s)	6.39	4.7	2.6
平均流量(m ³ /s)	4.64	3.35	1.53
径流总量 (m ³)	39337	26468	12572
最大含沙量(kg/m ³)	120	100	140
侵蚀量(t/(km ² ·a))	2900	1753	1445

雨水集流调控率相对较高是因为雨水集流工程布

置在流域的上部，且集流效率较高的地方，而梯田布置在流域下游主沟道左右平缓地带，原本产流量产沙量就不大，因此调控作用相对较差。这说明流域土地利用采用何种措施以及各种措施布设的位置、组合方式对流域的径流调控作用影响较大。这同时说明利用该模拟技术研究小流域不同土地利用的优化方案是可行的。

4 结语

黄土高原小流域土地利用优化模型设计比尺由几何相似、降雨相似、水流运动相似、泥沙运动相似、土壤水运动相似等组成；验证与初步试验结果表明，在正态条件下，满足几何相似、降雨相似、水力侵蚀产沙输沙相似及床面变形相似等条件下所建造的燕沟康家圪崂小流域模型，采用几何比尺为 100 时，其降雨、汇流、产沙及输沙是基本符合实际情况的，可以作为水力侵蚀调控试验，优化土地利用方案，推求水土资源高效利用实现措施的工具。

【参 考 文 献】

[1] 高建恩，地表径流调控与模拟试验研究[D]，中国科学院，

- 2005: 70-79
- [2] 高建恩、吴普特等, 黄土高原小流域水力侵蚀模拟试验设计与验证[J], 农业工程学报, 2005 (21) 10
- [3] 沈冰, 李怀恩, 江彩萍. 论水蚀实验的相似性研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 9:94-96
- [4] Mamisao J.P. Development of Agricultural Watershed by Similitude[R]. M. Sc. Thesis, Iowa State College, 1952:10-30
- [5] Chery D L. Construction, Instrumentation, and Preliminary Verification of a Physical Hydrological Model[R]. USDA- ARS and Utah State Univ. water research lab. Report. Logan, Utah, USA., 1965:5-10
- [6] Grace R A, Eaglson P S. Similarity Criteria in the Surface Runoff Process[R]. MIT, Hydrodynamic Lab, Technical Report No. 77, 1965:30-42
- [7] Yen B C, Chow V T. A laboratory Study of surface Runoff due to Moving Rainstorms[J]. Water Resources Research, 1969, 5 (5): 27-35
- [8] 朱咸, 温灼如, 利用室内流域模型检验单位线的基本假定, 水利学报, 1957. (2): 7-10
- [9] 蒋定生, 周清, 范兴科, 小流域水沙调控正态整体模拟试验[J]. 水土保持学报, 1994, 6:25-30
- [10] 袁建平, 雷廷武, 蒋定生等, 不同治理度下小流域整体模型试验[J], 农业工程学报, 2000 (1): 22-25
- [11] 石辉, 田均良, 刘普灵, 小流域坡沟侵蚀关系的模拟试验研究[J], 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997 (3): 30-33
- [12] К и р п и ч е в М. В. Т е о р и я П о д о б и я А Н С С Р [M], 1953: 6-18
- [13] 李昌华等, 论动床河工模型试验的相似率[J], 水利学报, 1966, 4: 1-10
- [14] 王兴奎、钱宁、胡维德, 黄土丘陵沟壑区高含沙水流的形成及汇流过程[J], 水力学报, 1982 (7) :26-35

Study on Optimizing Method for Land Use in Small Watershed

Gao Jianen, Yang Shiwei, Wu Pute

(Institute of Soil and Water Conservation Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest A&F University, National Engineering Center of Water Saving Irrigation at Yangling, Yangling Shaanxi China, 712100)

Abstract: During ecological environmental construction in Loess Plateau, because it is difficult for land using type to optimize through experiment, the design result is unreasonable to some extent. Aiming at the problem, based on similarity theory and hydrodynamic principles of rainfall, runoff and infiltration, the article put forward a set of design mean and experimentation technology, which can optimize the using type of soil and water resources. The verifying experiment results show that when the geometric scale is 100, the movement of rainfall, flow, sediment production and transportation is consistent between the real Kajiagelao small watershed in Yan'an and its normal model which complies with the similarities of geometric, rainfall, flow, sediment production and transport as well as bed deformation etc. It indicates that the technology can be used to design land using type, prevent soil erosion, optimize controlling measures and utilize water and soil resource efficiently.

Key words: Loess Plateau; Small Watershed; Land Use; Optimization; Simulative Experiment

南水北调东线农业面源污染现状及综合防治对策

张玉华¹, 刘东生¹, 徐哲¹, 万小春¹, 王青立², 方放²

(1 农业部规划设计研究院, 北京 100026; 2 农业部科教司资源环境处, 北京 100026)

摘 要: 南水北调东线工程大多是利用现有的湖泊和河道进行调蓄和输水, 目前这些湖泊和河道的水污染问题突出。本文在对南水北调沿线农业面源污染状况进行初步调查的基础上, 对农业面源污染防治存在的问题进行了分析, 并提出了南水北调东线农业面源污染的综合防治对策。

关键词: 南水北调 东线 水质 农业面源污染 防治对策
中图分类号:

0 引 言

水是地球和人类的生命之源。充足的、清洁的水源是保障社会文明和经济发展的前提。2002 年 10 月, 党中央国务院审议并通过了《南水北调工程总体规划》, 举世瞩目的南水北调工程将历史性地由规划阶段转入实施阶段。为保护工程沿线生态环境和水质安全, 2003 年国务院批准了东线工程治污规划, 要求 2007 年实现东线第一期工程输水干线水质全线达到地表水Ⅲ类水质标准, 江苏省进入输水干渠的化学需氧量控制在 2 万吨以内, 氨氮量控制在 0.1 万吨以内; 山东省进入输水干渠化学需氧量控制在 4.3 万吨以内, 氨氮量控制在 0.43 万吨以内^[1]。中央和沿线各省投入巨资建设污水处理厂、垃圾填埋场等点源污染控制工程。随着工程建设的开展和点源污染治理的加强, 农业面源污染问题日益凸显, 逐渐成为南水北调工程沿线水体的主要污染源。因此, 综合防治南水北调工程沿线农业面源污染, 是沿线生态环境和水质安全的重要保证, 是南水北调工程成功的关键因素之一*

1 南水北调东线农业面源污染现状及存在问题

1.1 农业面源污染现状

目前, 包括中国在内的许多国家的点源污染已得到进一步控制, 其治理正进入高层次的系统化管理, 而非点源污染(面源污染)由于随机性强、成因复杂、潜伏周期长, 因而防治十分困难^[2]。甚至在发达国家, 与对点源污染控制的政策研究相比, 对非点源污染控制的研究是相当有限。农业面源污染是指在农业生产和农村生活过程中, 由于不合理使用或无序排放造成的化肥、农药、农膜、生活垃圾、畜禽粪污等污染物质流失而造成的水资源污染和土壤质量衰退。我国 85% 的国家直接控制管理的湖泊富营养化问题严重, 其中面源污染占我国东部湖泊污染负荷的 50% 以上^[3]。

为了摸清南水北调工程沿线农业面源污染现状, 2005 年 1 月到 9 月, 农业部科教司组织沿线各省农业环保部门对沿线种植业、畜禽养殖业、水产养殖业、农村生活垃圾和污水等方面情况进行了调查, 基本摸清了化肥、农药等农用化学品、秸秆、农村生活垃圾

和污水等污染物造成的农业面源污染现状, 具体情况见下表。

表 1 南水北调东线农业面源污染统计 单位: 万吨, 万公顷

	种植	化肥	农药	畜禽	畜禽	生活	生活	作物	水产养	水土
	面积	用量	用量	粪便	污水	垃圾	污水	秸秆	殖面积	流失
江苏	110	120	0.6	3406	32000	912	36480	1536	27.3	5.3
山东	709	303	4	7000	63000	1451	58040	3983	13.3	261
合计	819	423	4.6	10406	95000	2363	94520	5519	40.6	266

据调查, 项目区绝大部分地区农村生活污水、生活垃圾和畜禽粪污没有得到无害化处理, 农作物秸秆的资源化利用率达到 60~80%, 化肥的利用率为 30%~40%, 农药的有效利用率为 20% 左右。由此可见, 大量农业生产与农村生活污染物流失到水体、大气和土壤环境中, 产生的面源污染十分严重。

1.2 南水北调东线水质状况

淮河流域水环境监测中心 2003 年对南水北调东线工程输水干线的 19 个断面进行了 11 次水质监测。监测项目包括: 水温、pH、溶解氧(DO)、高锰酸盐指数、化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD5)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)、铜(Cu)、锌(Zn)、氟化物(F⁻)、硒(Se)、砷(As)、汞(Hg)、镉(Cd)、六价铬(Cr⁶⁺)、铅(Pb)、氰化物(CN⁻)、挥发酚、阴离子表面活性剂等共 21 项。 在全年监测结果中, Ⅲ类水质断面占 42.5%, Ⅳ类占 18.7%, Ⅴ类占 12.4%, 劣Ⅴ类占 26.4%^[4]。下面以氨氮指标为例, 说明输水干线黄河以南段污染物变化情况。

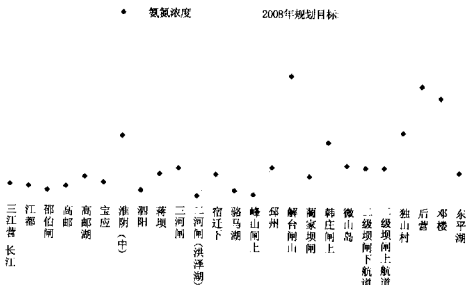


图 1 2003 年 11 月东线输水干线氨氮沿程变化曲线
从上图可以看出, 输水河道的部分断面氨氮指标超过了 2008 年规划目标的 1 倍以上。

* 收稿日期: 修订日期:
作者简介: 张玉华(1963-), 女, 高级工程师, 北京市. 农业部规划设计研究院, 邮政编码:100026.

1.3 沿线农业面源污染防治存在的主要问题

1.3.1 对农业面源污染危害的严重性认识不足

2002 年,国家计委、水利部会同国家环保总局和建设部共同编制了东线工程治污规划,规划提出一期工程中投资 140 亿元,建设 135 项城市污水处理工程、33 项截污导流工程、38 项工业结构调整工程、150 项工业综合治理工程及 13 项流域综合整治工程等,共 5 类 369 项。而农业面源污染由于其具有隐蔽性、分散性、潜伏周期长等特点,其危害的严重性未能得到应有的重视,无论是在舆论引导还是在政策配套、资金投入上,与点源污染均有很大差距。

1.3.2 基础性工作不到位

2005 年,农业部科教司自筹部分工作经费,部署沿线各省农业环保站开展了农业面源污染调查工作,基本摸清了畜禽粪便、秸秆、垃圾等生产与生活污染物总量情况。但农业面源污染对南水北调工程东线水体的贡献率、农业面源污染综合治理模式、农业面源污染防治补偿机制等基础性研究工作有待加强,沿线农业面源污染监测预警系统尚未建立,基础工作薄弱。

1.3.3 末端控制仍为南水北调东线治污主体工程

目前,南水北调面源污染防治主要采用截污导流、人工湿地等末端控制工程。根据山东省人工湿地建设规划,山东省将在两湖(南四湖、东平湖)流域建设和修复 30 多万亩的人工湿地工程,计划总投资 7.5 亿元。2005 年山东已开展菏泽东鱼河、泰安洸府河宁阳段、济宁微山、枣庄薛城小沙河控制单元截污导流工程的前期工作等。但是,对提高农业面源污染的源头控制能力建设,特别是针对蔬菜种植、农村畜禽养殖及水产养殖造成的水体富营养化的控制,相关投资少之又少。

2 南水北调沿线农业面源污染综合防治对策

2.1 提高思想认识,加强组织领导:

农业面源污染防治涉及农业、林业、环保、工商、水利等多个部门。一般来说,环境保护和污染治理应在环保部门职责范围内,但农业面源污染发生在农业生产的产前、产中与产后的各个环节,涉及到千家万户农民,具有分散性、随机性和隐蔽性等特点,与工业及城市点源污染治理不同,需全过程控制。因此应提高思想认识,进一步明确各部门职能,加强组织领导,多部门合作,形成农业面源污染综合治理合力,以取得事半功倍的效果,实现输水干线清水廊道目标。

2.2 建立南水北调农业面源污染预警监测体系

根据南水北调沿线农业面源污染发生的特点,在现有基础上建设和完善国家、省、地(县)三级监控网络与体系,建立固定监测点,开展农业面源污染监测,及时、准确、快速掌握农业面源污染状况和变化趋势,为预防和治理农业面源污染提供科学依据。

2.3 开展农业面源污染防治关键技术研究

开展农业面源污染关键技术研究是有效防治农业面源污染的重要基础。农业面源污染关键技术研究应从以下几个方面入手。一是制定农业生产限定性技术标准、病虫害综合防治与水肥管理措施,建立农业清洁化、无害化生产技术体系,综合运用生态环境控制技术,研究建立农业生产产前、产中和产后全过程农药、化肥、重金属等污染物控制技术体系;二是开展畜禽粪便、农作物秸秆等农业废弃物的资源化、无害化处理技术攻关,使农业废弃物资源循环利用,减少污染源;三是研究、集成水土流失治理、人工湿地建设等综合技术体系,减少污染物向水体的迁移。四是研究、集成以源头控制为主、末端治理为辅的综合防治技术模式,从减少农药化肥的使用量、减少畜禽养殖、水产养殖污染物排放量等污染源入手,同时结合水土流失治理、人工湿地建设等末端治理工程,全过程控制,以实现 2007 年“南水北调”工程投入运行之前有效控制沿线农业面源污染的目标。

2.4 增加资金投入,建立农业面源污染防治基金

南水北调工程农业面源污染防治是实现南水北调工程清水廊道的重要保障,各级政府应将农业面源污染防治经费纳入财政预算,保证农业面源污染防治工作的顺利进行。同时本着“谁污染谁治理”的原则,对农药、化肥、农膜生产企业和畜禽水产养殖大户征收污染补偿费,建立农业面源污染防治基金,用于农业面源污染的监测与防治,形成农业面源污染防治的长效机制。

3 结语

南水北调工程是缓解我国北方地区水资源短缺,实现水资源合理配置,保障经济社会可持续发展,全面建设小康社会的重大战略性基础设施。为保障南水北调工程输水水质安全,党中央、国务院做出了“先节水后调水、先治污后通水、先环保后用水”的指示,沿线点源污染治理工程已全面展开。目前,南水北调沿线农业面源污染问题已得到农业部有关部门的高度重视,部署农业部规划设计研究院编制了《南水北调沿线农业面源污染防治规划》,为南水北调工程农业面源污染防治打下良好基础。

【参 考 文 献】

- [1] 国务院批转南水北调办等部门关于南水北调东线工程治污规划实施意见的通知,国函[2003]104 号
- [2] 李宝贵,尹澄清,单宝庆.非点源污染控制与管理研究的概况与展望.农业环境保护,2001,20(3):190-191
- [3] 中国可持续发展研究会.生态安全敲响警钟,保护环境刻不容缓.Cssd.acca21.org.cn
- [4] 许新宜,姚建文,郭乔羽.南水北调东线工程黄河以南段输水干线水质状况前景分析
www.cws.net.cn/Journal/nsbd/200402/05

The Study on the Agricultural Non-point Pollution along the East Line of SNWT

Zhang Yuhua¹, Xu Zhe¹, Liu Dongsheng¹, Wang Qingli², Fang Fang²

(1 Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100026, China; 2 Ministry of Agriculture, Beijing 100026, China;

Abstract: The existing lakes and watercourses along the east line of SNWT, whose water is polluted seriously, are mainly used for water-translation. In this paper, the current status of the Agricultural Non-point Pollution along in the East Line of SNWT was briefly analyzed on the basic of spot visiting and investigation and integrated countermeasures against Non-point pollution was brought about.

Key words: SNWT East Line water-quality Treatment measure Agricultural Non-point Pollution

现代节水农业技术研发趋势及我国节水农业战略思考

吴普特 冯浩 牛文全 赵西宁 马理辉

(西北农林科技大学 中国科学院水利部水土保持研究所 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 本文在分析现代节水农业技术研发趋势基础上, 结合我国节水农业技术发展需求, 从分析我国战略水安全与粮食安全所引发的农业用水矛盾出发, 对我国发展节水农业的总体思路进行了思考。提出到 2020 年即近十五年内, 在不增加农业总用水量的前提下, 依靠科学技术大力发展现代节水高效农业, 通过提高农业用水利用率和作物水分利用效率可基本满足我国粮食安全用水需求的重要观点。在此基础上, 进一步提出为实现上述目标近期我国节水农业领域应研究的若干重点, 主要包括生物节水技术、非常规水利用技术、现代灌溉技术与装备、化学保水制剂与产品、数字化智能输配水技术与装备和区域节水农业技术系统。

关键词: 生物节水技术; 节水灌溉技术; 非常规水资源; 旱作高效用水; 技术集成

中图分类号: S1

0 引 言

众所周知, 刚刚过去的 20 世纪是人类有史以来发展速度最快的 100 年, 世界人口增加了 4 倍, 工业生产总值增加了 50 倍, 但水资源消耗却增加了 200 倍! 这种以资源过渡消耗而换来经济快速增长的发展模式, 导致全球用水量已逼近水资源开发的最大潜力! 如何缓解日益严重的全球性水资源危机, 已成为 21 世纪世界各国普遍关注的重大战略性问题。*

进入二十一世纪后, 随着干旱缺水态势不断加剧, 人口增长、城镇化和经济快速发展, 我国用水矛盾日益尖锐。农业是我国节水潜力最大的行业, 发展现代节水农业是确保我国粮食安全、水安全和生态安全的重大战略举措已经成为共识。

分析我国现代节水农业发展现状与技术需求, 可以得出我国现代节水农业发展正处在一个传统技术升级与高技术发展相互交织的关键时期。如何在这一关键时期确定我国现代节水农业技术研发重点和发展方向对我国

节水农业的发展, 以及对确保我国战略水安全、生态安全与粮食安全均具有重要意义。本文在分析现代节水农业技术发展趋势的基础上, 结合我国现代节水农业技术发展和需求, 提出我国未来现代节水农业技术的主要研发重点。

1 现代节水农业技术发展趋势

1.1 应用生物技术充分挖掘植物本身节水潜力

生物节水技术的发展重视改良利用作物的抗旱耐旱性及水分高效利用性。技术发达国家, 十分重视利用转基因技术、植物抗旱基因的挖掘和分离、基因聚合技术培育抗旱节水作物品种, 如澳大利亚、以色列的小麦品种, 以色列和美国的棉花品种、加拿大的牧草品种, 以色列、西班牙的水果品种等。这些品种不仅具备节水抗旱性能, 还具有稳定的产量性状和优良的品质特性。我国的中国农业科学院, 中国农业大学, 西北农林科技大学等单位也分别应用基因定位、分子标记、基因克隆和转基因遗传改良等技术, 研究作物高效用水生理机理及调控技术, 已初步建立了可操作性强的科学筛选鉴定技术方法与指标体系, 并培育了一批抗旱节水型作物新品种。

基于植物生理需水调控的非充分灌溉技术, 如调亏

* 收稿日期: 修订日期:

作者简介: 吴普特 (1963—), 男, 陕西武功人, 博士, 主要从事现代节水农业与水土保持研究, 陕西省杨凌区邠城路 3 号, 西北农林科技大学教授, 中国科学院水利部水土保持研究所基地研究员, 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心主任, 邮编: 712100, Email: Gjzwpt@vip.sina.com

灌溉 (RDI)、分根区交替灌溉 (ARDI) 和部分根干燥 (PRD) 等作物高效用水技术, 可明显提高植物水分利用效率。已在以色列、葡萄牙、澳大利亚、土耳其、摩洛哥等国及我国部分地区进行推广, 与传统灌溉方式相比, 可大量减少灌溉水量、降低蒸腾但作物产量并不降低。西北农林科技大学, 中国农业大学, 中国农科院新乡灌溉研究所等在此方面研究较多, 提出并完善有关充分灌溉理论, 以及作物控制性根系分区灌溉技术。

1.2 非传统水资源开发利用技术成为本研究领域关注的热点

天然降雨、污水、微咸水以及海水资源等统称非传统水资源。非传统水资源的开发利用已成为现代节水农业研究的热点问题。新型集雨材料、污水灌溉技术及其对农产品品质的影响, 咸水、微咸水资源以及海水资源开发利用研究已成为国际上现代节水农业领域关注的重点内容之一。

污水灌溉条件下作物需水量和耗水量的计算模型以及对污水灌溉响应的产量模型、污水灌溉对植株、土壤及地下水环境的影响已取得较大进展。初步形成了依据作物蒸腾强度和土面蒸发强度调控污灌量的污水灌溉优化模式。美国 45 个州开展了污水回用于农业的工作, 全国城市污水再生回用总量约为 $94 \times 108 \text{ m}^3/\text{a}$, 其中 60% 用于灌溉; 以色列建有 200 多个污水回用工程, 污水利用率达 70%, 约 $2/3$ 用于灌溉, 占总灌溉水量的 $1/5$; 突尼斯 2000 年再生水的灌溉用水量达到 1.25 亿 m^3 ; 约旦污水灌溉面积近 10700 hm^2 ; 印度自 80 年代以来, 每年用于农田灌溉的污水占城市污水量的 50% 以上; 墨西哥城 90% 的城市污水回用于农田灌溉, 灌溉面积达 90000 hm^2 。国内浙江大学、河海大学、中国水利水电科学研究院以及武汉大学等开展污水利用过程中有害物质在土壤以及作物中的累积效应研究工作, 提出污水的灌溉方法和理论, 但与国外先进国家相比差距较大。

在微咸水利用方面, 西班牙等国设有咸水灌溉站,

研究和试验咸水灌溉的技术和理论。以色列科学家发现棉花、西红柿、西瓜等一些农作物, 可用浓度高达 0.45% 的咸水实施滴灌, 且果实更甜并耐保存。在美国的亚利桑那州, 科学家也发现棉花、大麦、甜菜、西红花等作物在用咸水灌溉时产量并不下降, 甚至有所提高。国内也开展了相应的实验研究, 如南京农业大学、中科院地理与资源科学所以及中国农业大学, 主要利用现代控制技术, 研究微咸水对作物品质以及土壤的影响, 正在研究提出微咸水的利用技术和灌溉模式。但我国咸水和微咸水灌溉的试验研究起步较晚, 技术还不够完全成熟。

在雨水利用技术方面, 国际雨水利用技术已从过去经验的总结, 向现代高技术应用和工业化技术产品生产方面转变, 比如德国塑料窖体的工业化批量生产和应用, 另外以色列、印度、日本、澳大利亚等国充分利用 GIS 等技术, 研究和开发雨水利用理论、方法。我国在雨水利用新技术、新材料方面以及雨水利用技术应用方面走在了世界前列。国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心、中国科学院石家庄现代化研究所, 研究提出了多种化学、生物及固化剂集流材料和集流新技术, 研发了新型雨水存贮窖体结构和材料, 并且应用计算机技术、信息技术初步建立了区域雨水资源利用智能决策系统。目前, 我国拥有自主知识产权的农田雨水高效利用技术处于世界前列, 已经初步形成了相对成熟的配套技术体系与技术标准, 在全国范围内推广应用面积达 3000 多万亩, 也使得我国成为该项技术在全球范围内应用面积最多的国家。

1.3 信息技术、智能技术与 3S 技术不断推进节水管理高效化和现代化

作物水分监测与信息采集、作物生长决策模拟模型开发、支持农田信息实时采集的各种传感技术和传输技术已引起广泛关注。计算机管理系统使灌区灌溉用水管理实现了由静态用水向动态用水的转变, 水量实时调控研究正在逐步兴起。灌区用水管理系统已逐步转向将数

据库、模型库、知识库和地理信息系统有机结合的综合决策支持系统。

美国根据作物水分蒸发量,研究作物耗水与气象之间的关系,进而确定农田土壤水分变化和适宜的灌水期与灌水量。较为广泛地使用地面红外线测温仪,测定作物冠层或叶面温度以及周围空气温度,确定作物需水程度,同时,还采用飞机航测和卫星遥测进行监控。灌区管理初步实现了自动监测与控制,如美国加州灌区,农场主用一部手提电话机即可指挥系统的运行或改变程序,即使在国外,也可通过国际长话联机指挥。

美国、澳大利亚等国已大量使用热脉冲技术测定作物茎秆的液流和蒸腾,用于监测作物水分状态,并提出土壤墒情监测与预报的理论和方法,将空间信息技术和计算机模拟技术用于监测土壤墒情;根据土壤和作物水分状态开展的实时灌溉预报的研究进展较快,一些国家已提出几种具有代表性的节水灌溉预报模型。发达国家的灌溉水管理技术正朝着信息化、自动化、智能化方向发展。特别是近年来已开展的基于田间水肥等生产要素的巨大差异性研究,利用 GPS 和 GIS、RS 和计算机控制系统,精确准确调整灌水施肥的精准灌溉技术研究,为最大限度地优化各项农业投入,充分挖掘田间水肥差异性所隐含的增产潜力创造了条件,大大提高了灌溉系统的运行性能与效率。中国农业科学院新乡灌溉研究所、西北农林科技大学、中国水利水电研究院一直在开展作物水分监测技术和信息采集技术的研究,并提出了数字节水的概念和发展思路,研究开发了一系列节水灌溉综合决策系统,在生产实践中产生了一定的效益,但与发达国家差距较大。

1.4 先进制造技术和新材料技术促进了节水灌溉产品开发和升级换代

多功能化、低能耗化、环保化、智能控制化是节水灌溉系统发展的新趋势。发达国家利用先进的制造技术和新材料,加快了产品的开发进度,改善了产品的性能,尤其是快速先进制造技术在节水灌溉技术领域中的应

用,大大地缩短了产品开发周期。通过制造工艺的改进和新材料的应用,微灌技术正在向低能耗、高性能方向发展,在此方面我国提出了微压滴灌系统研究思路,喷灌技术正在向多功能可控灌方向发展。

随着自动化控制技术、监测技术和精量控制技术的应用,灌溉系统逐步向智能化,高精度方向发展。利用新材料和先进制造技术提高微灌系统的抗堵塞性,利用现代生物技术、信息技术和监测技术提高灌溉和施肥的精确性是其主要发展方向。以色列、美国、荷兰等对不同作物的施肥灌溉制度和微灌施肥专用液体肥料进行了 20-30 年的研究,取得了丰富的成果,已研制出针对多种经济作物水肥高效利用的专家管理系统。在节水灌溉产品快速开发平台技术中,提出的高精度快速成型专用设备是快速成型领域研究的热点。我国的国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心以及西安交通大学教育部先进制造重点实验室、华中科技大学等利用先进的激光快速成型制造技术,研究开发节水灌溉产品,提出了新低压滴灌系统的开发思路,开发了一系列灌溉控制系统和设备,中水新华灌溉排水公司应用新材料和新技术,开发了高强度中大口径塑料加筋输水管材。目前随着各国对节水农业投入的增加节水灌溉设备的开发速度和技术进步十分迅速,美国的 RAINBIRD 以色列的 NETAFIM 公司、PLASTRO 公司等及我国的新疆天业集团、山东莱芜塑料厂等开发出了系列化的喷微灌节水设备,技术性能可靠、使用寿命较长。尤其是新疆大田膜下棉花滴灌系统在干旱内陆河灌区应用面积已达到 500 万亩,使我国成为世界上大田采用滴灌技术规模最大的国家。

化学保水剂及地膜广泛使用,是效果非常理想的节水灌溉材料,国外从煤炭提取的保水剂,有极好的吸水性。从纤维素中提取聚丙烯酰胺可通过木质纸浆得到,丙烷三重混合结构的保水剂结构稳定,不宜水解。今后将继续在保水剂材料、加工工艺及应用效果和方法方面开展深入研究。地膜覆盖是农业增产的一项重要技术,但同时也产生了严重的“白色污染”问题,发展可降解地膜能够较好的解决地膜污染。国外提出一种聚苯乙烯

合成可降解地膜，表面是接枝聚合物，新的制造技术能精确控制药物水解降解地膜，非常灵活和可调的原料配方使其有广泛用途。近年来，法国、美国、日本、英国等开发出抗旱节水制剂（保水剂、吸水剂）的系列产品，在经济作物上广泛使用，取得了良好的节水增产效果。法国、美国等将聚丙烯酰胺（PAM）喷施在土壤表面，起到了抑制农田水分蒸发、防止水土流失、改善土壤结构的明显效果。美国利用沙漠植物和淀粉类物质成功地合成了生物类的高吸水物质，取得了显著的保水效果。我国在节水制剂与材料研发方面已初步解决了秸秆纤维的溶胀和交联技术使研发的产品耐盐性大大提高。保水剂的非离子高分子齐聚物接枝工艺和螯合剂处理技术取得了较大创新，使产品的吸盐水率达到 40 倍。全降解农膜研究工作在微细化淀粉原料制备和生产工艺方面取得重大突破。

1.5 注重区域节水农业综合技术集成，选择适宜的节水发展模式

在发展节水农业的过程中，各国均十分重视工程节水、农艺节水、生物节水和管理节水的有机结合与集成，重视节水农业的综合效益，发展与国家经济水平、水资源数量相适应的节水农业技术模式。

以埃及、巴基斯坦、斯里兰卡、印度等为代表的经济欠发达国家由于受其经济条件和技术水平的限制，节水农业的发展主要采用以渠道防渗技术和地面灌水技术为主，配合相应的农业措施以及天然降水资源利用技术的模式。而以以色列、美国、日本、澳大利亚等为代表的经济发达国家节水农业的发展主要采用以高标准的固化渠道和管道输水技术、现代喷微灌技术与改进地面灌水技术为主，以色列基本实现了全程管道化输水灌溉全部采用喷微灌技术美国喷微灌所占总灌溉面积的比例达 50% 以上。

2 我国节水农业战略思考

随着未来我国人口高峰期的到来，由于经济社会发

展以及生态环境需水的竞争和挤占，农业用水必须维持零增长或负增长，这与未来我国粮食安全用水需求构成一对尖锐矛盾，如何解决这一矛盾，是思考未来我国节水农业技术发展方向的前提和出发点。

2.1 现实需求与一对难以调和的矛盾

从国家水安全战略角度考虑，未来 30 年我国农业用

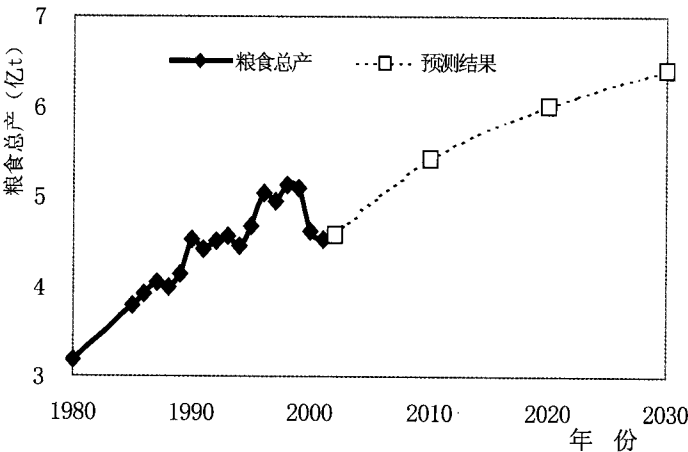


图 1 我国历年粮食产量及预测曲线

水只能维持零增长或负增长，水利部已将此作为一项重要工作目标。也就是说我国农业用水量在未来 30 年将不能超过现状用水量或小于现状用水量。我国现状年供水能力约为 5600 亿 m³，其中农业用水量约为 4000 亿 m³，工业用水量约为 1000 亿 m³，生活用水量约为 600 亿 m³。农业用水中大约 90% 用于农田灌溉，即 3600 亿 m³，这即为我国农田灌溉用水量上限。从我国粮食安全战略角度考虑，到 2020 年我国粮食总产量需达到 6.0 亿吨（图 1）。2004 年我国粮食总产量约为 4.7 亿吨，历史最高产量约为 5.0 亿吨（1998 年），考虑到我国耕地面积因经济建设而不断减少的现实情况，并综合考虑技术进步因素，到 2020 年达到生产 6.0 亿吨粮食生产能力，即在 2004 年基础上增加 1.3 亿吨的粮食，尚需增加农业用水约 1200 亿 m³。

这样就形成了二个现实需求，即满足国家战略水安全必须确保我国农业用水量维持零增长或负增长，但要满足我国粮食安全战略需求必须增加农业用水量约