

现代农业水资源利用 开发与保护

盛平 黄光辉 主编



气象出版社

现代农业水资源利用 开发与保护

盛 平 黄光辉 主编

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代农业水资源利用开发与保护/盛平,黄光辉编著.北京:
气象出版社,2005.8
ISBN 7-5029-2383-7

I. 现… II. ①盛…②黄… III. ①农业资源:水资源—资源利用②农业资源:水资源—资源开发③农业资源:水资源—资源保护 IV. S27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094632 号

气象出版社出版

(北京海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcbs@263.net

责任编辑:张 斌 终审:周诗健

*

北京奥德普数码科技有限公司印刷

气象出版社发行

*

开本:787×1092 1/16 印张:15 字数:360 千字

2006 年 1 月第一版 2006 年 1 月第一次印刷

定价:50.00 元

加強科學研究，
提升水利現代化水平。

王勉 2005年11月22日

上海市松江区水务局党委书记王勉题词

序

水既是环境要素,也是人类赖以生存的基本条件。由于水的理化特性,它在生态与环境表现得特别活跃。随着社会经济的不断发展与人口的日益增长,当今水资源的开发利用具有两重性:一是水被利用于人类的需要而得到的效益;二是水利用后水质变化引起某些环境问题而付出的代价。全面衡量得失利弊,既讲求经济效益又重视生态与环境效益,是现代水资源研究的特点与趋势。

上海市作为现代国际大都市,在我国国民经济中具有举足轻重的地位。上海地处长江三角洲,受海洋和东南季风的影响,降雨量丰沛。虽然水量比较丰富,但优质水较少,因此,上海已被列为全国 36 个水质型缺水城市之一。从某种意义上讲,水资源的质量与水资源的数量具有同等重要的地位。为了满足水资源的各种功能,不仅需要保证水资源具有足够的数量,而且必须保证一定的质量标准。能否提供足够数量和一定质量的水资源,在很大程度上将制约着上海市 21 世纪经济目标的实现。

加入世贸组织后,上海市的农业进一步调整和优化农业结构。2000 年,上海市政府决定在市郊 10 个区县和农场系统,分别各建一个市级现代化农业园区。通过现代农业园区的辐射示范作用,分别建设若干个区县级、乡镇级现代农业园区。至 2010 年,市郊各级、各层次现代农业园区建设总面积可达到 100 万亩,重点发展种源农业、生态农业、设施农业、创汇农业。随着现代农业园区建设不断发展,经济作物种植面积大幅度增加,特别是创汇农业以种植出口花卉和绿色“无公害”蔬菜为主,不但限制使用农药和化肥,并对灌溉用水的水质也有很高的要求。因此,需要开辟新的优质灌溉水源,改善农业园区的水环境条件。目前上海陆域河道污染严重,除加强污水治理外,在很长一段时间里,需借助水质较好的上游水源和长江口水源进行调水以改善河道污染状况。这种调水对少数骨干河道有一定的作用,但对面广量大的农村河网,却“远水难解近渴”,成效甚微。上海要改变一方面利用已污染的水进行灌溉,一方面又将洁净的雨水排放掉的不合理现象。因此,对本地的雨水资源利用,应在水资源开发

中引起重视,并注意保护集雨区环境,以解决上海市陆域水质型缺水问题。

上海农业已逐步从城郊型农业向现代都市型农业转变,农业产业结构有了较大的调整,过去适用于种植水稻为主的农田水利工程标准已不适应现代都市农业的要求,必须重新制定抗灾标准。为建设现代都市农业,在防洪保安全、水资源优质供给、满足现代农业生产要求等方面,提出一整套标准体系,这些还需要进行大量的试验研究工作。

本书所涉及的内容比较广泛,既有水文和农业方面的专题讨论,亦有排灌工程设施的研究成果;既有理论上探讨,又有实践经验介绍。总之,本文集的出版,无疑对现代农村水利标准体系建设和水质型缺水城市雨水利用,都将起到一定的推动作用。同时,对其他省市有关同类的同类水利问题,也可作为借鉴。

中国科学院院士: 刘昌明

二〇〇五年十一月二十八日

前 言

农业是国民经济基础,水利是农业命脉。加强农业基础设施建设,首先要加强水利基础设施建设,特别是要加强农田水利科技的投入。建国以来,特别是党的十一届三中全会以来,上海郊区水利事业取得了可喜的进步。在水利科技方面也取得了很大的进展,郊区相继建成了上海佘山农田水利试验站和青浦区水利技术推广站,推动了上海郊区水利科研和技术推广工作。其中上海市佘山农田水利试验站在建站二十年来的发展中取得了长足的进步,共承担了地下排水暗管埋深和间距研究、低洼圩区治渍工程措施与合理布局研究、低洼圩区中低产田改造、水稻高产节水灌溉研究、地下排水标准研究等 26 项科研课题,其中市级课题 10 项,区级课题 7 项。获市级三等奖 3 项,区级一等奖 2 项和三等奖 1 项。取得了丰硕的成果。2003 年,上海市佘山农田水利试验站被水利部列为 31 个全国灌溉试验中心站之一。在 1980 年代后期该站重点围绕郊区低洼地涝渍灾害,探索综合治理的途径,开展农田水利综合科学实验和推广应用水利新技术,并积累了大量的实验数据资料,主要研究成果于 1990 年出版了《低洼地渍害与治理试验研究》一书;1990 年代初,配合上海市农业现代化建设,深入开展低洼地治理技术研究,主要研究成果于 1995 年出版了《低洼地水分参数与农业开发利用》一书;1990 年代后期,水资源问题已成为影响农业可持续发展的主要制约因素,为此,试验站将近年来有关水资源的主要研究成果,汇编成这本《现代农业水资源利用开发与保护》。本书共分四个专题,收集了 31 篇专题研究报告。

第一编为水分参数的测定与分析,讨论了蔬菜田水量转换中各种水分参数(降水、入渗、径流、水面蒸发、蒸散、地下水)的测定、计算及成果分析。为节约水资源、减少水资源污染、发展自动化灌排技术、进行水资源评价、编制节水规划、灌溉用水管理、改善农田土壤环境起到重要作用。

第二编为排灌工程技术,讨论了节水灌排工程技术中的滴灌系统设计技术问题,喷灌规划设计决策系统,分析了节水灌溉综合效应评价指标;探讨了新材料高性能土壤固化剂在水利工程中,特别是在防渗渠

道中的应用;探索了灌溉泵站的射流—离心泵联合供水的经济性分析,小型机电灌区多媒体计算机辅助设计系统,为发展节水灌溉工程技术作了分析研究。

第三编为灌溉水资源开发利用。进入 21 世纪,人类社会遇到了前所未有的水问题的挑战。因此,雨水利用必将成为 21 世纪水资源可持续利用的重要途径之一。本编对上海地区雨水资源利用率作了计算分析,讨论了雨水利用中技术问题,分析了不同材料蓄水池对水质变化的影响,对酸雨的修复利用也作了分析研究。本研究成果为科学合理地利用雨水资源提供了科学的理论依据和实践方法。

第四编为水资源保护。水是维护人类生存环境不可缺少的要素,应予以妥善的保护,使水资源成为永远保障社会和经济可持续发展的要素。本部分从中心城镇水利规划的生态理念、水土流失对河道水质的影响出发,在信息化加强水资源管理等方面开展对水资源保护的研究。

本书的出版希望能对现代农田水利技术的发展起到推动作用。感谢中科院院士刘昌明教授对研究工作的评议与指导,并在百忙中为本书作序。感谢上海市松江区水务局党委书记王勉为本书题词。

刘晓涛 高允础
2005 年 12 月 17 日

目 录

序	刘昌明
前言	刘晓涛 高允础

第一编 水分参数的测定与分析

上海菜区主要土质人工模拟降雨入渗试验研究	盛 平	洪嘉琰(3)
上海主要菜区排涝模型的研究	盛 平	洪嘉琰(15)
大棚蔬菜滴灌试验与耗水量估算	王培兴 盛 平	洪嘉琰(24)
夏黄瓜耗水规律与耗水系数研究	盛 平	钱永清(37)
小白菜耗水量观测研究	盛 平 许 净	钱永清(42)
现代农业园区出口创汇蔬菜灌溉制度研究	盛 平 黄光辉	钱永清(46)
上海郊区主要农作物适宜的地下水埋深试验研究	盛 平 吴琴全	钱永清(57)
油菜各生育期适宜的地下水埋深试验研究	盛 平	钱永清(66)
上海郊区夏涝程度与“三菜”灾损关系的试验研究	洪嘉琰 盛 平 吴琴全等	(70)
夏番茄受淹程度与灾损关系的试验研究	盛 平	钱永清(77)
夏黄瓜受淹程度与灾损关系的试验研究	黄光辉 盛 平	(81)
黄瓜滴灌效益数模分析	秦德刚 王培兴	(86)

第二编 排灌工程技术

上海市郊菜区滴灌系统设计的探讨	秦德刚 王培兴	(95)
上海市郊菜区滴灌系统过滤器的选用	钱 伟 王培兴	(98)
高性能土壤固化剂在水利工程上的应用	盛 平 钱永清 吴琴全	(104)
节水灌溉综合效应评价指标的选取与分级研究	吴景社 康绍忠 王景雷	(110)
喷灌工程规划设计决策支持系统的研究	吴伟峰 金兆森	(118)
射流-离心泵联合供水泵站的经济性分析	方跃骏 姚凯文 陆宏圻	(125)
小型机电灌区多媒体计算机辅助设计系统的研究	刘静森 金兆森	(130)

第三编 灌溉水资源开发利用

水质型缺水城市雨水资源的利用	秦德刚 盛 平	(139)
绿色农业园区雨水利用率研究	高昊旻 盛 平 李 林	(144)
上海地区酸雨的研究与利用	王 晖 盛 平 秦德刚	(152)
不同材料蓄水池对水质影响研究	盛 平	(159)

第四编 水资源保护

上海乡村河流岸坡人工模拟降雨土壤侵蚀试验研究	盛 平 黄光辉	(179)
平原河网地区水土流失的现状与治理模式的探讨	桑保良	(188)

2010 年松江水质达到欧洲标准的对策	黄光辉 盛 平 许 净	(194)
上海地区陆面蒸散发估算的研究	盛 平 洪嘉琰 张立新	(205)
中心城镇水利规划的生态理念	朱 强	(213)
中小河道及其水环境整治的探讨	崔军峰	(218)
对上海郊区水利信息化建设的思考	王 卫	(222)
以水利信息化推动水利现代化	黄毅华	(226)

第一编

水分参数的测定与分析

上海菜区主要土质人工模拟 降雨入渗试验研究

盛 平 洪嘉珏

本试验旨在探明上海菜区主要土质在前期不同墒情、不同强度暴雨下的人渗规律和人渗、径流系数，为建立暴雨受淹分布、灾情程度的定量评估计算模型提供实验参数；同时也为不同土质菜区的水利工程规划设计提供科学依据。

1 试验条件与研究方法

1.1 试验装置

根据水量平衡原理：有防侧渗措施采用雨量可控的人工模拟降雨装置，主要有供水箱、转子流量计（稳定雨强）、喷雨管和集流槽等部件组成（图1）。

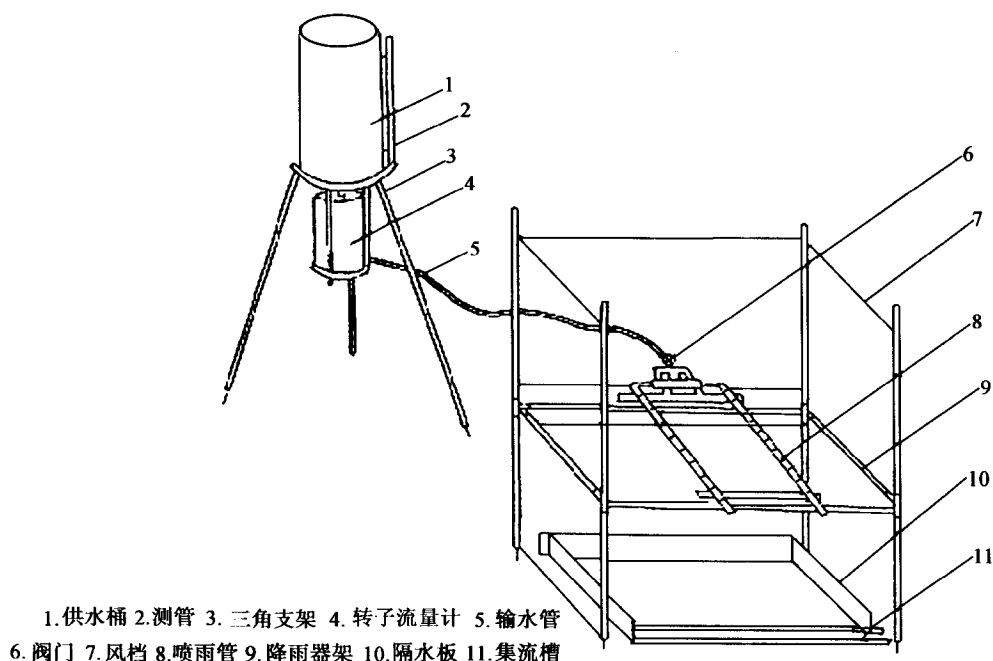


图1 小型人工模拟降雨装置示意图

该装置为移动式，可进行不同雨强条件下入渗试验，降雨面积为 1 m^2 ，四周以隔板板围拦防止侧渗。降雨由转子流量计保持恒压水头，通过供水阀门、喷头数量与不同喷头孔径控制雨量和雨强，利用摇杆均匀摆动喷雨管，以趋近天然降雨的面分布，在截流槽端点测流，以体积法获取地表径流资料，再用降雨量减去径流量取得入渗资料。

1.2 试验处理及设计

入渗率是单位时间内通过地表单位面积渗入土壤中的水量。它主要与土壤质地、雨前土壤含水率、降雨强度有关。因此本试验将土壤墒情、雨强、土质作为试验因子。

1.2.1 土质

根据上海市土壤质地分布图,上海菜区主要代表土质是中壤和重壤,约占90%,部分是轻壤和黏壤。为此,共布设6个点:

中壤:主要分布在浦东、嘉定、闵行、宝山区,松江也有少量面积分布,该土质占的比重最大,现将嘉定区江桥园艺场和松江区叶榭园艺场作为该土壤的试验点。

重壤:主要集中在青浦、南汇及松江、奉贤、闵行区,考虑南汇、奉贤与青浦、松江在成土母质和土壤垂直剖面,新老菜田耕作程度方面的显著差异,故分别在南汇新场园艺场(新菜区)及青浦白鹤园艺场(老菜区)和松江大港园艺场(新菜区)各设一个试验点。

黏土:市郊西部菜区较集中,选在松江区佘山农田水利试验站菜地试验。

轻壤:主要集中在宝山菜区,因相对其它土质,暴雨造成的灾害较轻,故本课题没有考虑设试验点。

1.2.2 土壤墒情

土壤墒情分为湿土和干土两种处理。湿土为相对前期多雨,土壤含水率在田持(水量)左右;干土为相对前期少雨或无雨,土壤含水率为田持60%~70%。试验期各点实测土壤含水率,详见表1。

表1 各试点实测土壤含水率(干土重%)

墒情	试点	松江叶榭	嘉定江桥	青浦白鹤	松江大港	南汇新场
	深度(cm)					
干土	5		26.3	13.8		23.8
	10	28.4	28.0	18.4	26.9	27.9
	20	28.6	24.8	20.0	24.7	25.0
	30	26.9	25.7	21.5	23.7	22.4
	40	21.2	26.3	22.7	28.6	21.5
	50	25.8	27.1	23.6	26.5	20.6
	平均	26.2	26.4	20.0	26.1	23.5
湿土	5		36.7	38.9	39.6	
	10	36.9	34.9	35.6	35.4	35.7
	20	32.9	33.7	32.4	33.6	41.4
	30	29.6	29.5	23.8	25.4	36.8
	40	23.5	28.9	24.8	28.0	26.3
	50	28.0	30.7	24.7	27.7	24.8
	平均	30.2	32.5	30.0	30.0	34.1

1.2.3 雨强

根据上海菜区1981~1995年历年5~1440分钟不同历时最大降水量实际值,以及用

耿贝尔极值分布函数估算降水极值出现的可能最大值和菜区现时排涝能力综合分析确定,各点雨强控制范围见表 2。

表 2 人工模拟降雨入渗试验实际雨强控制范围

试点	雨强 (mm/min)	雨时 (min)	雨量 (mm)
嘉定江桥	0.31~2.04	30~150	40~140
松江叶榭	0.51~1.70	40~180	36~112
青浦白鹤	0.48~2.59	40~120	34~233
松江大港	0.51~1.70	55~180	31~153
南汇新场	0.31~2.87	30~150	16~141
佘山试验站	0.53~2.63	30~65	21~91

1.3 试验实施

试验于 1996 年 4~5 月分别在嘉定、青浦、南汇等试点进行,同年 8 月在松江佘山农田水利试验站菜田进行;1998 年 5 月分别在松江大港、叶榭进行,试验时土壤墒情按先干后湿进行。同时还对各试点土壤含水率进行测定和土壤水分特征曲线进行率定。

2 试验结果与分析

2.1 不同土质的暴雨入渗系数及稳渗率

2.1.1 入渗系数

降雨渗入土壤中的水量占降雨量的比例称为入渗系数。试验数据表明:轻质土、耕作年限长、雨前土壤偏干、暴雨强度小则入渗系数大;反之入渗系数小。从各雨强平均入渗系数来看(表 3),土质的影响在干土时,各土质的入渗系数差异较小,在 0.59~0.74 之间;湿土时土质的影响较大,各土质的差异较显著,如黏、重壤入渗系数仅为 0.23~0.49,而中壤入渗系数仍达 0.56~0.59。同时还看出,同是重壤的菜田,如青浦白鹤(老菜区)入渗系数要比南汇新场(新菜区)在湿土时大一倍多,说明土壤耕作性的好坏对入渗的影响也是很大的。

表 3 不同土质入渗系数

墒情	试点	土质	各雨强条件下 入渗系数	平均入渗系数
干土	嘉定江桥	中壤	0.55~0.95	0.74
	松江叶榭	中壤	0.53~0.93	0.73
	青浦白鹤	重壤	0.41~0.95	0.69
	佘山试验站	黏壤	0.40~0.92	0.65
	南汇新场	重壤	0.36~0.83	0.59

续表

墒情	试点	土质	各雨强条件下 入渗系数	平均入渗系数
湿土	嘉定江桥	中壤	0.39~0.84	0.59
	松江叶榭	中壤	0.34~0.88	0.56
	青浦白鹤	重壤	0.29~0.90	0.49
	佘山试验站	黏壤	0.17~0.69	0.42
	南汇新场	重壤	0.15~0.36	0.23

2.1.2 稳渗率

当入渗进行到一定时间后,入渗率趋于一稳定值(或称稳渗率)。该值相当于地表含水率(θ_0)的导水率(K_0),显然 $K_0 < K_s$, K_s 为土壤饱和导水率。试验结果表明:稳渗率与土壤含水率关系不大,但与土质的轻、重有一定的关系,即中壤土的稳渗率大于黏、重壤土。同一土质(重壤)由于耕作性的差异对稳渗率的影响也较大,如青浦白鹤老菜区比南汇新场新菜区稳渗率要大2.6倍(表4)。

表4 不同土质稳渗率 (mm/min)

试点	土质	稳渗率 0~50 cm 土层平均值
嘉定江桥	中壤	0.22
松江叶榭	中壤	0.24
青浦白鹤	重壤	0.18
佘山试验站	黏壤	0.08
南汇新场	重壤	0.05

由此可见,各菜区稳渗率之间差异主要与土质、耕作性有关,这说明在相同强度暴雨条件下,土质黏重、耕作性差的菜田,相对来说容易积水成涝。

2.2 入渗过程的特征分析及数学模拟

2.2.1 入渗的阶段性及特点

入渗过程受雨强和土壤渗透特性的制约。当降雨强度小于土壤入渗率时,全部降雨入渗土壤,不产生地表径流,此时实际入渗率等于降雨强度。当入渗率小于降雨强度,超出入渗率的水量则形成积水或地表径流,并以积水时刻为界(或称积水点),可分为初渗(自由入渗)和有压入渗(积水期入渗)两个阶段。

(1) 初渗阶段

从降雨开始至地表饱和开始产流时,此阶段降雨全部渗入土壤,不产生地表径流。当土壤干燥时,由于地表处的含水率梯度绝对值在降雨开始时很大,此时土壤入渗率亦很

高，随着降雨历时延长，地表层土壤水分增加，土壤含水率梯度的绝对值不断减小，入渗率也由大逐渐减小，直至小于降雨强度时，地表才开始积水或产流。该阶段在异常特大暴雨情况下，可产生局部超渗产流，并能汇集成大片菜地暂时积水现象。

(2) 有压入渗阶段

当土壤表层形成薄饱和水层后，若降雨强度大于土壤入渗能力时，降到地面的雨水，部分入渗土壤，而超过入渗率的水量则形成积水或径流。此时，土壤入渗进入不稳定入渗损失阶段，入渗率由大变小，地表径流逐渐增大。待土壤层全部饱和时，在恒定雨强下径流保持常数，入渗不再随降雨历时的延长而变化，入渗率趋于稳定，进入稳渗期。

2.2.2 入渗过程数学表达式及模拟

由上分析可知，积水点是自由入渗与有压入渗两阶段的转折点。地表积水后，降水沿坡面漫流，形成地表径流。对任一时刻，入渗率是雨强与径流率之差。若设雨强为 $R(t)$ ，降雨时间为 t ， t_p 为开始积水时间，则入渗率 $i(t)$ 随时间的变化可用 Smith 入渗模型描述：

$$i(t) = R(t) \quad t \leq t_p \tag{1}$$

$$i(t) = K_s + A(t - t_o) - a \quad t > t_p \tag{2}$$

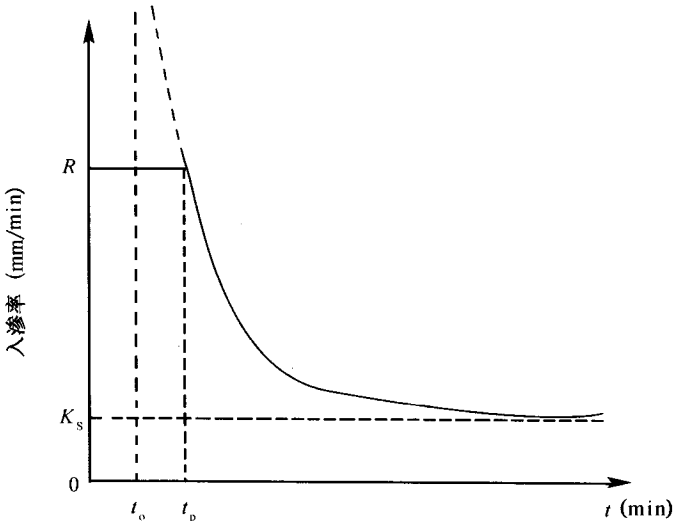


图 2 Smith 入渗模型的入渗率 i 与时间和 t 的关系

利用 Smith 入渗模型，需要确定四个参数： K_s 、 A 、 t_o 、 a ，这些参数与土壤质地、初始土壤含水率以及降雨强度有关。 i_∞ 为 $t \rightarrow \infty$ 时的入渗率，即稳渗率，理论上等于 K_s （土壤饱和导水率）。当 $t \rightarrow t_o$ 时， $i \rightarrow \infty$ ，故 t_o 为 (2) 式所示入渗曲线的渐近线相应的时间坐标（图 2）。

根据最小乘法原理，对每一场实际入渗率试验数据进行迭代求算，选取使得残差平方和达最小的 K_s 、 t_o 所对应的一组参数即为某场次试验曲线的最佳参数估计值。通过菜区 69 场次试验入渗率参数拟合结果，其中 40 场次相关系数达 0.92 ~ 0.99，18 场为