



水稻灌溉的理论与技术

朱庭芸
主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

S511.07

责任编辑 王勤

封面设计 王鹏

ISBN 7-80124-784-1



9 787801 247841 >

ISBN 7-80124-784-1/TV·397

定价：21.80 元

水稻灌溉的理论与技术

朱庭芸 主编

水利部科技专著出版基金资助项目



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是作者根据多年在生产、科研、教学第一线工作的心得体会,并参考国内外水稻灌溉的先进经验,运用农业、水利、土壤等综合性科学知识论述了水稻灌溉的一些理论问题和实用技术,提供了节水型稻作的灌溉实践经验和重要科研成果,以及改善灌区环境质量的水资源优化开发和水管理技术。基本反映了我国水稻灌溉科学技术最新成就和现状。主要内容有:水稻灌溉的生物学基础;水稻的灌溉用水量;水稻灌溉节水提高生产力的研究;水稻灌溉的发展与现状;水稻节水高产栽培灌溉技术的新进展;水稻的灌溉水质;稻田排水的再利用;特殊生态环境下的灌溉;特殊水质的灌溉;水稻灌区水资源优化开发运用等十章。

本书可供不同水平从事水稻生产和灌溉的科技人员,灌区管理人员学习、参考,亦可供从事农业、水利、水资源的专业人员和管理干部以及有关大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水稻灌溉的理论与技术/朱庭芸主编. -北京:中国水利水电出版社, 1998

ISBN 7-80124-784-1

I. 水… I. 朱… II. 水稻-灌溉 N.S511.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 17928 号

书 名	水稻灌溉的理论与技术
作 者	朱庭芸 主编
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sale@waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京密云红光照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	850×1168 毫米 32 开本 14 印张 373 千字 2 插页
版 次	1998 年 10 月第一版 1998 年 10 月北京第一次印刷
印 数	0001—4200 册
定 价	21.80 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

版权所有·翻版必究

编 审 人 员

主 编 朱庭芸（教授）

审 稿 冯友松（教授级高工）
高佩文（教授）

各章编撰人员

第一至四章 朱庭芸、迟道才（硕士、讲师）

第五至七章 朱庭芸

第八至九章 赵正宜（研究员）、朱庭芸

第十章 赵正宜 /

出 版 说 明

书籍是人类进步的阶梯。科技图书集聚着科学研究和发明创造的成果，凝结着人们生产活动、科学实验的实践经验和聪明才智。当今，在振兴中华的“四化”建设中，要把科学技术转化为现实的生产力，科技图书的出版是一个重要的环节。它担负着传播科技信息，扩大科技交流，推广科技成果，普及科技知识，培养科技人才，积累科学文化，提高全民族科技意识和劳动者素质的重任，是科技事业的一个重要组成部分。

改革开放以来，我国的科技出版事业取得了飞速的发展。但在还很不完善的社会主义市场经济中，科技图书出版的合理经营机制尚未形成，“出书难、买书难、卖书难”一直困扰着许多科技人员和出版工作者。特别是一些专业性很强的科学专著，发行范围有限，出版更为困难，影响了科学技术的发展。广大知识分子在不断呼吁，出版界也竭力探索解决这一问题的途径。1985年以来，中央领导同志和中宣部曾多次指示，要求国家和各主管部门筹款，为专家学者撰写学术专著建立出版基金。其后，从中央到地方各类出版基金陆续建立，有力地推动了学术专著的出版。

水利在我国具有悠久的历史，对治国安邦起着重要的作用。新中国建立40多年来，水利建设事业取得了举世瞩目的成就，已成为我国国民经济的基础设施和基础产业，是发展工农业生产的命脉。为了支持水利科技专著的出版，以适应我国水利科研、设计、建设、管理、教学的需要，水利部于1991年9月5日向全国发布了《水利部科技专著出版基金试行条例》，拨出专款用于资助科技专著的出版，并相应地建立了出版基金评审委员会和办公室。

本出版基金主要用于资助有明显社会效益而印数较少的水利优秀科技著作的出版，包括：学术水平高、内容有创见、在学科

序 言

水稻是我国最主要的粮食作物，也是我国最重要的灌溉作物之一。水稻产量解决了我国一半以上人口的主食。建国40余年来，我国北方地区在低洼、沼泽、盐碱等条件下发展稻作，水稻面积的扩大、产量和效益的提高，也取得了举世瞩目的成就。但我国是一个水资源相当贫乏的国家，许多稻区遭受缺水威胁，严重地影响了水稻的发展。

这本书的编写是非常及时的。它是一本少见的论述水稻灌溉的技术专著。很有特色，有独到见解，使用的资料是比较新的。作者抓住了水稻灌溉这一边缘学科的本质，以节水增产为核心，结合我国实际，从稻作的需水到田间供水和水资源的优化开发，全面系统地阐述了水稻的灌溉理论与技术，具有农业和水利结合、理论与实践结合，以及我国传统水稻灌溉经验与现代科学技术结合等特点。基本反映了我国水稻灌溉科学技术的现状和科研最新成就。这本书不仅会促进各地水稻灌溉技术的改进和提高，也将对我国优质、高产、高效节水型稻作的发展起到积极的推动作用。

科学技术是第一生产力，无疑是要靠人在生产实践中实现的。因此提高劳动者的科学文化素质至关重要。为了贯彻落实我国“九五”计划中“科教兴国”的战略方针，建议各地水稻灌区以此书作为教材或参考书，对科技人员和生产管理人员进行短期的灌溉技术培训和研讨，以提高其业务水平和灌区的生产力水平，使有限的水、土资源得到更合理、更充分，更好地利用，促进可持续发展。

楊振懷

一九九七年九月二日

上居领先地位的水利基础学科理论专著；反映水利重大科研成果或填补我国水利科技某个空白领域的学术专著；在水利工程技术和经济管理方面有重大科学和实用价值的专著；对我国水利科技发展有重要参考价值的国外水利科技著作的中译本。申请者在已有详细编写提纲和部分样稿时，即可向本基金办公室提出申请。

本出版基金申请项目的评审，坚持“专家评议，公平竞争，择优支持”的原则，其做法是：对所有申请项目，先由基金办送请三名同行专家评议，然后再提交评审委员会讨论、评选。对被通过的申请项目，即转入中国水利水电出版社的计划，由基金赞助出版。

我们希望本出版基金的实施对推动水利科技的进步和人才培养，对促进水利建设事业的发展，会起到积极的作用。为此，我们热切地希望水利界的学者、专家，能潜心将自己的创见和经验撰写成专著，踊跃向本出版基金提出申请出版，为繁荣我国的水利科技事业添砖加瓦，奉献自己的才智和力量。

水利部科技专著出版基金委员会

1997年11月

前 言

这是一本水稻灌溉的专著。

作为一个水利工作者，1950年我便来到辽河下游东北四大灌区之一的盘山农场（后来发展为盘锦灌区），从事种稻改良盐碱土的水利建设、科研和灌区管理工作。为了把水管好用好，实现水稻高产稳产，我曾渴望得到一本水稻灌溉方面的书以指导工作，但是终未找到。40多年过去了，我已进入老年，在指导青年教师和学生时，愈加感到需要有这样一本书，于是萌生了编写《水稻灌溉的理论与技术》的想法。

灌溉是一门边缘学科，是一门介于水利工程技术与农学、土壤学之间的科学。对于水稻灌溉来说，尤其如此。在灌区管理和水稻生产中，我注意到这种边缘性的影响。存在的问题往往是水利工作者缺少水稻栽培知识和土壤知识，农业工作者缺少水利技术知识，由于学科分工和职业专业化的局限性，这就不容易做到（或很好地做到）水稻节水增产和满足有效利用水资源、发展高效永续灌溉农业的要求。这种矛盾在科学技术高度综合、高度互相渗透和高度互相依附的当今社会已经显露无遗。也可能是这个原因，导致当前已出版的农业读物和水利读物，还没有一本全面论述水稻灌溉的专著。因而进一步加强和坚定了编写此书的信念。把水利技术与农业技术融为一体，以比较综合性的科学知识来填补水稻灌溉边缘性的空白，这无疑是一项很有意义的工作，对我国稻作的发展将大有裨益。但我深知实现这一构想，并非易事，谨愿作为抛砖引玉，使水稻灌溉这门边缘学科在更多人们的关注和努力下，不断充实提高，日臻完善。与我一起工作的同行们完全同意我的上述观点，有的积极参加了此书的编写工作。大家抱着奉献此书（具有不同于一般水稻书籍特色的这本书），为我国“九

五”科教兴农效力的信念，经过艰苦拚搏，终于完稿了。灌溉是水稻高产栽培的核心技术，如果它能对各地灌区管理和水稻生产起到促进作用，我们便深感欣慰了。

本书涉及到水稻灌溉的一些理论问题和实用技术，提供了节水型稻作的灌溉实践经验和重要科研成果，以及改善灌区生态环境质量的水资源开发运用和水管理技术。有关资料主要是作者多年在生产、科研、教学第一线的经验体会，同时参考了国内外水稻灌溉的先进经验，并注意到将我国宝贵的传统经验与现代科学相结合，基本上反映了我国水稻灌溉技术的最新成就。

沈阳农业大学杨守仁教授、盘锦市副市长刘洪滨高级农艺师，对本书的编写给予了热情鼓励和积极支持，中国水利水电出版社对出版此书也做了很大努力，在此一并表示衷心的感谢。

限于水平，书中难免有缺点和错漏之处，恳请读者批评指正。

朱庭芸

1998年1月

目 录

序 言

前 言

第一章 水稻灌溉的生物学基础	1
第一节 水稻的需水特性	1
第二节 水稻的需水量	9
第三节 水稻的耐盐碱性	25
参考文献	37
第二章 水稻的灌溉用水量	38
第一节 稻田耗水量	38
第二节 灌溉用水量	44
第三节 水稻的灌溉制度	54
第四节 水量、产量、灌溉效益	68
参考文献	73
第三章 水稻灌溉节水与提高水稻生产力的研究	74
第一节 节水型稻作的实践	74
第二节 水稻灌溉的节水潜力	79
第三节 灌溉对水稻需水量的影响	86
第四节 水稻要求的最适土壤水分状况	92
第五节 灌溉对水稻生育的促进与控制	98
参考文献	106
第四章 水稻灌溉技术的发展和现状	108
第一节 概述	108
第二节 水稻的基本灌水方法	110
第三节 稻田水分状况调节	115
第四节 稻田的非常水深（耐淹允许水深）	124
第五节 高产稻田的地下水位控制	129
第六节 田间工程（稻田灌排调节网）	136

参考文献	149
第五章 水稻节水高产栽培灌溉技术的新进展	151
第一节 水稻浅湿灌溉	151
第二节 水稻控制灌溉	183
第三节 水稻优化灌溉	197
参考文献	228
第六章 水稻灌溉的水质	230
第一节 自然水的化学成分和分类	230
第二节 灌溉水的质量和评价	234
第三节 咸水灌溉	257
参考文献	268
第七章 稻田排水的再利用	269
第一节 稻田排水再利用的重要性	269
第二节 稻田排水、灌溉回归水的水质	273
第三节 稻田回归水的可利用量	292
第四节 利用稻田排水应注意的问题	296
参考文献	298
第八章 特殊生态环境条件下的灌溉	299
第一节 种稻改良盐碱土的灌溉	299
第二节 水稻旱种的灌溉	326
参考文献	341
第九章 特殊水质的灌溉	343
第一节 冷水灌溉	343
第二节 污水灌溉	359
第三节 磁化水灌溉	380
参考文献	407
第十章 水稻灌区水资源的优化开发和运用	408
第一节 地上水、地下水联合运用	408
第二节 地下水库的概念和工作原理	416
第三节 水稻灌区地上水、地下水联合运用的数学模拟	422
参考文献	438

第一章 水稻灌溉的生物学基础

水稻具有与旱作物不同的生物学特性。日本从 20 世纪初便开始对水稻进行了生物学研究^[1]，并为改进栽培技术提供了有用的知识。前苏联在 60 年代初召开过全苏“灌溉农业生物学基础问题”学术讨论会议^[2]，对作物的水分状况的理论研究和灌溉工作的基本方向作了深入的讨论。

本章不准备涉及众多已知的生物学内容，而是将重点放在与灌溉有关的水稻的生理生态与水分的关系上：水稻的需水特性，水稻的需水量和水稻的耐盐碱性。

第一节 水稻的需水特性

虽然世界上种稻已有了几千年历史，但是对水稻的需水量进行科学研究则始于 19 世纪末期。日本从 1898 年开始进行水稻需水量的研究。20 世纪初，我国的孙辅世经过 8 年试验提出了中熟籼稻和晚稻的需水量大致范围。与此同时，国外也开始了水稻水分状况的研究，前苏联的马克西莫夫（Н. А. Максимов）（1914～1916）对水稻的水分生理进行系统研究，认为在决定水稻特性的环境因素中，应该把水放在第一位。50～60 年代，前苏联科学院植物生理研究所的耶律琴（П. С. Ерычин）进行了水稻水分的研究，前后达 15 年之久，他著有《水稻灌溉的生理基础》一书，这是最早详细研究水稻与水分关系的专著。1955 年日本户刈义次和山田登等编著的《作物生理生态》一书，用了大量篇幅论述水稻的水分生理。斯里兰卡的彭拉姆帕鲁马（F. N. Раппагпегума）所著的《渍土壤的化学与水稻生长的关系》（1959 年）一书，是近代渍水土壤化学的权威性著作。从 60 年代开始，我国不少农业科研人

员开展了水稻水分生理研究，其中著名的有崔滋、倪文等。同时，我国各大型灌区开展了水稻需水量、水稻灌溉制度、灌溉技术和灌溉计划用水等试验研究。到了 80 年代初期，农业出版社出版了沈阳农业大学杨守仁教授的著作《水稻专题讨论文集》(1980 年)，《国外农学——水稻》编辑部出版了国际水稻研究所学术讨论会的论文集《土壤与水稻》(1981 年)。这两本书基本上反映了现代世界水稻栽培的研究成果，其中许多内容与水稻灌溉有关。

国内外种植水稻的实践和前人的研究表明，水稻的需水与旱作物有明显的不同。下面介绍水稻需水特性。

一、半水生性⁽³⁾

水稻祖先野生稻起源于东南亚低洼沼泽地带，由于原先沼泽地带干湿交替环境的特点，使水稻在演化过程中具有了对水旱的双重适应性。其种植范围极广，南到南纬 35 度的阿根廷南部，北到北纬 53 度的中国黑龙江省北部的漠河，均有水稻栽培。根据植物与水分的关系，植物分类学上常把植物分为水生植物、旱生植物和中生植物三大类。研究水稻的许多学者称水稻为“中生植物”或“多型性植物”，这在一定程度上反映了水稻与水关系的多样性。称水稻为水生植物显然是不确切的，因为世界上淹水栽培最普遍的是浅水稻，所谓水层通常不超过 10~15cm，有些地区更浅，不超过 5~10cm，而且有时还需晾田或晒田。只在南亚有小部分栽培在 1m 水深中的深水稻。在非洲南部种植最多的却是陆稻。由此称水稻具有“半水生性”(semi-aquatic)是恰当的。

水稻的茎叶内部有通气组织，使它有可能把日间光合作用所产生的氧气和夜间从空气中吸入的氧气输送到根部，除了满足根的代谢作用外，还可将剩余的氧气排到根的周围，以供土壤有机质的分解。同时也使水稻能在被水层隔断了空气的土壤中生长。这种通气构造为水稻的半水生性提供了生理基础。

二、喜水喜温性

淹水栽培的水稻比旱种产量高。即使是陆稻，在有水层时也生长得比较好，这说明了水稻的喜水性。

喜水与喜温有关。水稻的最低发芽温度是 $10\sim 14^{\circ}\text{C}$ ，分蘖期最适温度为 $26\sim 27^{\circ}\text{C}$ ，在 20°C 以下便会停止分蘖。孕穗期不能低于 25°C ，开花时最适温度为 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，过高则花粉干枯，过低则花蕊不开裂，影响授粉。由于水比空气有大得多的热容量和导热率，其比热比土壤约大 $2\sim 5$ 倍，土壤水分的容积热容量比空气大 3000 倍，导热率比空气大 25 倍，因此在灌溉条件下，可使稻田的水温、土温比较平稳，对水稻生长有利。水稻不耐气温的突变，淹灌水层可缓和早春过低的气温，大陆性气温较大的变幅和夏季的过高温。群众素有“以水调温”的经验。一般规律是浅水增温，深水保温，先进的灌溉技术，可以显著地改善稻田的热状况。

三、生理需水

生理需水是指稻株通过根系从土壤中吸入体内的水分，以满足个体生长发育和不断进行生理代谢所消耗的水量。其中较大的消耗是水稻的蒸腾作用。在各种作物中，水稻的生理需水并非最多。从蒸腾系数（生成 1g 干物质生理所需水分的克数）看，水稻一般为 $250\sim 350$ ，与小麦、棉、大豆等 C_3 作物相近（《中国稻作学》P194；《实用水稻栽培学》P232）。为了维持蒸腾作用的进行，水稻的根从土壤吸收水分，通过茎秆到叶片气孔扩散到大气中去，连续不断地进行着这种单向的水的流动。蒸腾过程中每消耗 1g 水要带走 2244J 热量，从而避免稻株受高温伤害。

在水稻的生长发育过程中，水是细胞原生质的主要成分，一般水稻植株鲜重的 $3/4$ 以上是水，其中叶片含水量为 $80\%\sim 95\%$ ，根是 $70\%\sim 90\%$ 。水稻体内细胞只有在充分吸水后，才能保持其固有的形态，使植株挺直，叶片伸展，以进行正常的生理活动。水是光合作用的原料，又是输送养分的工具和水稻体内一切生化反应的介质，另外，还直接参与有机质的合成、分解、运输与代谢等。

四、生态需水

生态需水是指水稻体外的群体间和生活的土壤环境的用水，

把水作为生态因子调节稻田湿度、温度、肥力和水质以及通气作用等所消耗的水量。从水分消耗的途径来分，除蒸腾而外，主要有棵间蒸发、土壤渗漏和稻田水分状况调节三部分。所谓棵间蒸发是指水稻棵间水面或土壤蒸发到大气中去的水分；土壤渗漏则是指由于受土壤重力水影响而发生的垂直渗漏和由于水势梯度而产生的侧向渗漏，是稻田耗水量的主要组成部分；稻田水分状况调节指稻田水层的有无、深、浅、干、湿等，属灌溉技术范畴。生态需水的作用具体来说表现在以下几方面。

1. 调节土温，改善稻田的热状况

前已述及，这是由水的热特性——比热、汽化热和热传导率决定的。

土壤三相水、气、土的比热分别为 1.0、0.24 和 0.18~0.23，以水的比热为最大。因此，白天在同样日照强度下，土壤和空气比水升温快，温度高；晚上气温下降时，土壤和空气比水降温也显著快，温度低。因白天水温较低、晚上水温较高，故水温昼夜变幅较小。所以，低温时灌水可以防寒，高温时灌水可以降温。

水的导热率大，湿田或地下水位高的田地，土温降低和增温缓慢。

水的汽化热大，1g 水由液态变为汽态，需吸收 2244J 热量（仅次于液氨），能使单位耗水产生最大的冷却效果，有利于减少蒸发和蒸腾耗水，并有利于保持田间和稻体内的稳定温度，减免高温伤害。热带地区，如在水稻抽穗结实期遇到高温，利用水的汽化热大的特性，采用喷雾灌溉就可以降温减少高温危害。

2. 改变土壤通气性

稻田土壤是具有三相体系的自然体，土壤水分的增减，直接影响到水相、气相的组成，关系到土壤空气含量的多少，影响到土壤微生物的生长及其活性，也影响到水稻根系的发育。因为根的生长、呼吸作用和土壤微生物的呼吸都有赖于土壤的通气性，土壤水与空气的状态和运动，以及土壤气体扩散作用与与大气间的气体交换。水分无论增加或减少，都会影响土壤微生物的生存和

繁殖，但增加土壤水分比减少土壤水分影响会更大。

3. 调节土壤肥力

稻田土壤在淹水条件下，发生化学、物理化学和生物化学等一系列变化，其结果是氧化还原电位降低，pH 值降低，土壤吸附能力和解吸能力变动引起水的铵态氮含量增加，土壤中磷、钾、铁、锰和二氧化硅的可溶性增加，还原状态下有机质的积累和锌、硫、铜等元素的有效性降低。由于有机质进行嫌气分解，释放能量少，分解过程极为缓慢，土壤有效养分减少。但是另一方面，由于稻田淹水却能提高生物的固氮作用，增加土壤肥力。如果使土壤干燥，然后再灌水，就会使微生物的活性旺盛，有机质分解加速，提高土壤有效养分的含量。

由上可知，淹水可以提高氮、磷、钾三要素的有效性。淹灌适时干田，可以增加有机质养分。如果长期淹水，由于土壤还原性增强，则会产生和积累大量有机酸和还原性有毒物质，如醇、酮等中间产物和硫化氢、甲烷、沼气等，对水稻有毒害作用。

4. 调节田间小气候

田间小气候是指田面上 2m 空气层的水、热状况和光照、通风状况等。它是维持水稻正常生长的重要环境条件。各地的经验说明，稻田的淹灌水层可以防止气温剧烈变化造成的危害。在正常情况下，浅灌的水层薄，水量少，水层的热容量小，太阳辐射能量使水温和土温增加较快。但是夜间浅水的覆盖作用差，散热较快，所以遇到冷天，深灌可以保温。另外，水稻的棵间蒸发和水层还起到保持和提高田间空气湿度的作用。

5. 遏制稻田杂草

稻田水层对一般旱生或半旱生杂草都有不同程度的淹灭效果。排水干田又能遏制某些沼生或水生性杂草的发生。因此，通过水层的调节在一定程度上可以减轻杂草的危害。

6. 调节渗漏，淋洗盐碱

影响稻田渗漏的因素可用达西定律表示，即

$$v = Ki$$