

ShuidaoGaochanGaoxiaoyi
GuangaiYuanliyufangfa

水稻高产高效益 灌溉原理与方法

朱庭芸 著



辽宁科学技术出版社

水稻高产高效益灌溉 原理与方法

朱庭芸 著

辽宁科学技术出版社

(辽)新登字4号

水稻高产高效益灌溉原理与方法

Shuidao Gaochan Gaoxiaoyi Guangai Yuanli Yu Fangfa

朱庭芸 著

辽宁科学技术出版社出版

(沈阳市和平区北一马路108号 邮政编码 110001)

辽宁省新华书店发行 沈阳新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 6 7/8 字数: 130,000

1994年4月第1版, 1994年4月第1次印刷

责任编辑: 栾世禄 周文忠 版式设计: 于浪

封面设计: 邹君文 责任校对: 王春茹

印数: 1—2,704

ISBN 7-5381-1844-6/S·259 定价: 5.00元

作者通信处: 110161 沈阳市东陵路120号

沈阳农业大学 113 栋 106 号

前 言

水稻灌溉，从表面上看是一单项技术措施，实际上它是一项边缘性、综合性和生产性极强的、与很多增产因素密切相关的生产活动，是水稻高产高效益栽培的核心技术。

为帮助稻农、生产管理人员和农业、水利科技人员充分、有效、合理地利用水资源，实施水稻高产高效益灌溉，笔者根据多年来从事灌溉管理和教学科研工作中总结农民先进的灌溉经验，以及与同行们一起在水稻优化灌溉方面取得的科研成果，就当前水稻灌溉中有待解决的问题，撰写了本书。书中内容主要包括：水稻高产高效益灌溉的重要意义；水稻灌溉的基本知识；水稻灌溉技术分析；水稻高产高效益灌溉的理论、基本经验和技術措施；水稻优化灌溉和不同条件下的管理技术，以及水稻灌溉用水的简易量测方法等。

本书撰写过程中，紧紧围绕水稻高产高效益这个中心，力求结合实践阐述其原理，普及兼顾提高，密切联系实际。本书可供稻农、稻区农业科技人员、灌区管理人员在生产实践中参考使用，也可供各级农业管理干部和大、中专农业、水利院校师生阅读参考。

在本书出版之际，对与笔者长期合作共事的赵正宜副研究员表示感谢。

限于水平，书中难免有不当和错误之处，敬请读者予以批评指正。

朱庭芸

1993年12月

目 录

一、水稻高产高效益灌溉的重要意义.....	1
(一) 灌溉是保证水稻高产的重要措施	1
(二) 高产高效益灌溉是我国发展水稻的 必由之路	3
(三) 提高灌溉技术是实现稻作现代化的需要	5
二、水稻灌溉用水量与高产高效益.....	9
(一) 稻田耗水量与灌溉用水量	9
(二) 水量与产量的关系.....	18
(三) 高产高效益的衡量方法与标准.....	23
三、水稻的基本灌水方法与灌溉技术	28
(一) 水稻的基本灌水方法.....	28
(二) 水稻的灌溉技术.....	33
(三) 稻田灌排调节网.....	38
(四) 高产稻田的地下水位控制.....	47
四、水稻节水增产的理论基础和基本经验	55
(一) 水稻的水分生理特性.....	55
(二) 水稻要求的最适土壤水分状况.....	62
(三) 灌溉对水稻生育的促进与控制.....	66
(四) 保持有利的水盐动态与平衡.....	72
五、高水效的水稻优化灌溉	75
(一) 优化灌溉的内涵与特点.....	75

(二) 水稻的优化灌溉模式·····	78
(三) 优化灌溉的性能指标和操作要求·····	81
(四) 促控结合的水肥管理·····	85
(五) 优化灌溉的节水增产作用·····	92
(六) 应用优化灌溉实例·····	97
(七) 有限供水条件下的经济用水·····	100
六、涝洼盐碱地种稻的灌溉·····	104
(一) 涝洼盐碱地的特殊性·····	104
(二) 涝洼盐碱稻田的泡田洗盐·····	108
(三) 涝洼盐碱稻田的水分管理·····	111
(四) 掌握水盐动态, 除涝治碱结合·····	114
(五) 采用灌排新技术综合治理·····	119
七、特殊水质的灌溉·····	124
(一) 咸水和碱性水灌溉·····	124
(二) 污水灌溉·····	132
(三) 冷水灌溉·····	142
八、水稻旱种的灌溉·····	148
(一) 水稻旱种发展概况·····	148
(二) 水稻旱种灌溉制度·····	150
(三) 旱种水稻的生理特性和需水规律·····	153
(四) 水稻旱种的经济效益·····	157
九、水稻灌溉用水的简易量测方法·····	159
(一) 灌溉排水的观测和计量·····	159
(二) 井灌水泵出水量测定·····	165
(三) 土壤水分及主要物理性质的测定·····	170
(四) 土壤水势(土壤水分张力)的测定·····	179
(五) 田间水质化验·····	184

一、水稻高产高效益灌溉的重要意义

(一) 灌溉是保证水稻高产的重要措施

天然降水很难在时间和数量上适合农作物需水的要求。因此利用人工方法供给水量，弥补天然降水之不足，调节土壤水分状况，创造高产的土壤环境，以保障作物的生育和高产，是灌溉的基本任务。灌溉的重要性更可从水对水稻的作用得到说明：

1. 水是稻体的重要组成部分 稻体内含水量是相当大的，水稻鲜重的四分之三是水，其中叶片含水占叶重的 80—95%，根部为 70—80%，只有风干成熟的种子含水量较少，约占粒重的 10—15%。一般说来，水稻比陆稻含水量大，低湿淹水遮荫条件下生长的水稻比干燥向阳湿润灌溉的水稻含水量大。幼嫩且生长旺盛的器官比衰老坚实的部分含水量大。水稻体内细胞只有在充分吸水后，才能保持其固有的形态，使植株挺立，叶片伸展，有利于接受阳光和与周围环境进行气体交换，正常的生理活动才能得以保证。

2. 水是光合作用的原料 光合作用是水稻以叶绿素利用太阳光能，同化水和二氧化碳制造碳水化合物，并释放氧气的过程。水稻的叶子像一座“绿色工厂”，在这个奇妙的“工厂”中，叶绿素好比“车间”，太阳光是开动机器的动力，水和二氧化碳是“原料”，其产品是糖、淀粉等有机物质。这

些物质不仅为水稻生长所需要，也为人类生活所必需。

3. 水是稻体内运输养料的“血液” 动物体内营养物质的输送靠血液，稻株体内养料的输送靠水分，可以说，水就是稻体内运输养料的“血液”。施到田里的肥料，必须首先溶解在水里变成土壤溶液，才能被稻株的根部吸收；叶片制造的碳水化合物要通过水分的运转输送到消费和贮藏器官里去；种子发芽，要把种子里贮藏的营养物质加以水解后，才能输送到幼芽中去，以供幼苗生长的需要。如果稻体内缺水，就会阻碍上下物质的运输，影响水稻生长。

4. 水有调节稻株体温的作用 水稻叶子由于吸收太阳辐射量引起叶温过高，这是有害的。蒸腾作用从叶面的气孔蒸发掉大量水分，同时水稻根系从土壤中源源不断地吸取水加以补充。在这一过程中，水分运动不仅起到输送养分的作用，而且又带走了部分热量，从而调节了体温，使叶片不致因太阳的强烈照射而“灼伤”。

5. 水可以调节水稻生活的环境 土壤水、肥、气、热等肥力因素中，水起着决定性的作用。通过调节土壤水分，可使土壤肥力向着有利于水稻生育的方向发展。这是因为土壤中的有机物养料必须经过微生物作用溶于水中，才能被水稻吸收。土壤微生物的活动，又受着水分、空气和热状况的制约。土壤水分过少，不仅水稻受旱，而且养分得不到溶解，不能为水稻吸收利用。水分过多，又会使好气性微生物的活动受到抑制，有机物养料得不到释放，而且土壤通气不良，温度降低，不利于水稻生长发育，所以说土壤水分是影响土壤肥沃性的主要因素之一。在另一方面，又因为水有很大的热容量（比空气大 3300 倍），灌溉后土壤热容量也随着增大。又因为水的导热性强，白天在灌溉的土壤上太阳辐射热能很快

传递到土壤深处，夜间当地面散热冷却时，土壤深层热量可补给地面。因此灌溉的土壤通过水分调节，可以缓和土温的变化。水分的这一特性对改善水稻生活环境有重要作用。

以上各点说明了水对水稻生长发育的作用，但只有适宜的水分才会产生有利的影响。在水稻生育的一定时期，水分过多或不足，对水稻生育都是不利的。

（二）高产高效益灌溉是我国发展水稻的必由之路

我国水资源总量 2.7 万亿立方米，居世界第六位，但人均占有水量只有 2695 立方米，为世界人均水量的 1/4，居世界第 88 位，所以说我国水资源并不丰富，而且水资源的分布与利用极不平衡。

我国降水量分布的总趋势是由东南沿海向西北内陆递减，同我国的耕地分布状况很不一致。从河川径流量的分配来看，长江流域和长江以南的径流量占全国的 82%，地下水资源占全国的 70%，但土地和耕地面积占全国的 36%，人口占全国 54%，因此，水量多而有余。北方黄、淮、海三大流域、东北和西北诸河的径流量只占全国的 18%，地下水资源占全国的 30%，而土地和耕地面积却占全国的 64%，人口占 46%。其中尤以海河、滦河、淮河和辽河流域更为突出，人均水量仅为全国的 1/8—1/5，缺水非常严重。

此外，由于受季风气候的影响，我国降水量时空分布极不均匀，年际变化也很大，常有旱涝交错发生，并持续出现少水年和多水年。这种时程分配上的不均匀性在缺少水资源的北方地区更甚。

我国到本世纪末实现小康型的发展战略目标，要求粮食总产达到 5000 亿公斤，为此农田灌溉面积要达到 8 亿亩，主

要分布在北方。这意味着农业用水在原有基础上还要增加灌溉面积 8000 万亩，对开发利用水资源提出了更高的要求。目前，我国水资源紧缺状况日益突出，特别在北方，水已成为工农业发展的重要制约因素。

我国农业灌溉用水量约占全国总用水量的 84%。灌溉水中的浪费现象是既普遍又严重的，因而发展节水农业（包括节水型稻作）便是一项重要的战略任务。水稻的灌溉用水量比其他农作物多，所以水稻高产高效益灌溉便是当前面临的重要课题。我国已有水稻面积近 5 亿亩，水稻是我国的主要灌溉作物，其产量大约能解决全国一半人口的主食。水稻又是人们喜欢的细粮作物，富含蛋白质，商品价值高。但我国北方地区和南方的丘陵地区因水源不足，大面积水稻陷于不同程度的缺水威胁，严重限制了水稻生产的发展，使许多宜稻地区不能扩种水稻，已有稻区也承担很大风险，常因干旱减产甚至绝收而被迫改种旱田。

我国农业正在向集约化经营发展，向专业化、商品化生产转化，在水稻生产上重视灌溉管理和灌溉技术，对于提高单产、增加总产、提高经济效益具有重要意义。节水的意义不仅在于把已有的稻田种好，还要发展更多的灌溉面积，即在节约用水的前提下，实现高产高效益。科学实践已经说明，愈是高产愈要节制用水，只有节水增产才有高效益。目前，水稻生产费用中水电费一项占有很大比重（约为 10—30%），节水不仅能降低水稻生产成本，而且节水与节能同步，在我国水源、能源都十分紧张的情况下，有着重要的社会、经济和生态综合效益。

从另一方面看，我国土地资源人均占有相对数量少，今后可进一步开发利用的土地后备资源不多，耕地尤少。因此，

我国发展农业不能单纯从扩大面积来增加产量，主要应致力于挖掘现有农用土地的内涵潜力，提高单位土地面积产量。这就是说，我国水稻的发展要以提高经济效益为中心，以内涵为主，适当外延，主要靠加强管理，采用先进的生产技术。在灌溉上要节约用水，提高灌溉质量，实现高产高效益，在此基础上，积极扩大灌溉面积，总的指导思想应是“以最少的水源、能源消耗，获得最大的产品收益和环境质量的改善。”高产高效益灌溉是依据我国国情，具有中国特色发展水稻的必由之路。

（三）提高灌溉技术是实现稻作现代化的需要

以上关于灌溉对水稻的作用和我国水资源紧缺情况的阐述，基本上可以说明灌溉技术的重要性。我国要大力发展科学技术，加速实现稻作现代化，就有必要提高和改进灌溉技术。

1. 加快科技成果向现实生产力转化 科学技术是第一生产力，当今世界各国生产力的发展，综合国力的提高，在很大程度上都取决于科学技术的发展。国际经济竞争也越来越表现为科学技术和人才的竞争。农业生产增加产出建立在物资投入的基础上，但投入的物资能否高效发挥作用，都要由科学技术来保证，而且科学技术本身就可以转化为生产力。我们要想提高经济效益，增强综合国力，缩小与发达国家的差距，就要真正把发展科技放在十分重要的地位，加速科技成果向现实生产力转化，使经济建设转到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来。我国人多地少，水资源紧缺，今后发展水稻主要依靠在节水的前提下，提高单位面积产量，就取决于广大农民科学文化素质的提高和先进灌溉科技成果的

推广和应用。首先要更新观念，从传统的单纯凭经验管水中解放出来，破除“粗放农业”的观念，树立“科学管水”的思想，要接受新知识，学习新技术。各地农业、水利科研单位、农业技术推广部门和灌区的灌溉试验站，也要在继续深化科技体制改革的基础上，把引进和创新、应用与推广相结合，把发展优质、高效的节水型稻作作为科学技术工作的主战场，最大限度地提高水资源利用率，持续稳定地提高水稻产量。为此，必须大力开展岗位培训，不断提高基层农业干部的专业水平，提高广大农民运用农业新技术的能力。现代化稻作是知识密集型产业，每个劳动者都应懂得如何管好水，用好水，并要有一支技术熟练的管水队伍，才能保证灌溉质量，实现农业生产高产、优质、高效益的总目标。

2. 现代化稻作的灌溉要求 近 20 年来，我国水稻高产栽培技术有了较快的发展，亩产 500 公斤水平已经比较普遍，更高产水平的栽培技术也在不断研究和实践之中。高产、抗逆、优质品种的选育与推广；规范化、模式化栽培技术、节水型稻作的提出和应用；旱育稀植、营养诊断及配方施肥技术的进展；化学除草、机械化栽培等使劳动生产率的提高等等，说明我国现代化稻作已进入了新的阶段。尽管如此，与发达国家相比尚有差距。根据优质高效农业要求，水稻节水高产高效益栽培的任务是艰巨的。

当今世界面临人口、能源、环境三大问题，这些问题都直接与灌溉有关，历史已证明了灌溉对解决人类粮食问题的重要作用。现代化稻作对灌溉提出了下列要求：

(1) 单产高而且稳产：毛主席视察韶山灌区时指出：“要高产才算”，水稻单产高低是衡量灌区生产水平的首要标志。高产要靠综合措施，但水利条件和灌溉技术起到很重要的作

用。兴修水利，除害兴利，从根本上改善农业生产条件，是高产稳产的前提，加强灌溉管理，不断提高和改进灌溉技术，充分利用水、光、气、热等自然条件，创造良性循环的农田生态系统，是高产稳产的保证。

(2) 灌溉用水效率高：任何一种效率都是指可以从输入量得到的输出量而言。根据输入量和输出量的性质，灌溉效率可有不同的表示方法。水从水源通过灌溉系统到达田间被水稻吸收，经历了输水、配水和田间用水三个阶段，因此可分阶段将灌溉效率表示为输水效率、配水效率和田间用水效率。输水、配水效率主要取决于工程技术和渠系水调配、管理技术，田间用水效率则直接取决于灌溉技术。稻田的耗水量包括水稻蒸腾、蒸发和土壤渗漏所消耗的水量，因此，田间用水效率可表示为水稻田间耗水量与供给田间水量的比值，或以单位水量所生产的稻谷数量来衡量。良好的灌溉技术应使田间用水效率接近于1，单位水量生产的稻谷比较多，做到有效和经济使用水。

(3) 不断提高土壤肥力：目前我国不少灌区的水管理和灌溉技术仍然属于粗放型的。田间工程不完善、不配套，土地平整程度不高，不科学的大水漫灌、上下串灌仍然存在，灌水与高产栽培的实际需要相差很远，不仅不能有效地实行土壤水分调节，进行适时适量灌溉，还加大灌溉定额，浪费水资源。另外，深层渗漏和田间流失十分严重，土壤过度淋洗和冲刷，造成肥分损失、土壤板结退化，还抬高了灌区地下水位，或是过量抽引地下水，引起地下水枯竭，海水入侵。粗放灌溉更易造成旱涝不均的人为灾害。必须改变这种落后状态，保护和改良土壤，不断提高土壤肥力。

另一方面还要看到，农业生产是暴露于自然环境条件下

的生物再生产，受到自然界种种因素的影响，灌溉农业更是特别错综复杂的。灌溉的任务不仅是将适当的水分配到土壤中，以补充农作物生长中自然降水的不足，在干旱半干旱地区有着淋洗土壤盐分的作用，在湿润和半湿润地区还有改善作物根区土壤环境的意义，其中既有灌的问题，又有排的问题。绝大多数旱地农业的土壤改良问题，在灌溉地区也存在，甚至在灌溉条件下显得更为突出，而且许多问题是灌溉土壤所独有的。例如在管理不善情况下，水稻灌区存在土壤潜育化、次生盐渍化、沼泽化等。

目前，在世界上大部分地区，现代化灌溉技术在加紧研究、试验和推行之中，目的是使农业生产力得到稳定发展，建立永久性的高产稳产农业。但是许多地区落后的传统的习惯势力往往延误和干扰采用先进的灌溉技术，经常随意用水，或者不考虑作物的需要和土壤的反应而无效用水，引起水土资源的浪费。因此要大力提倡高产高效益灌溉，所有灌区都应实行精细的灌溉管理，区别土壤条件、水质条件，采取优化的灌溉制度和灌溉技术，同时综合运用各项先进的农业技术措施，改善稻田土壤生态系统和提高土壤水分效应，提高灌溉水的生产效率。

二、水稻灌溉用水量与高产高效益

农业生产的高效益同高产量密切相关，同时也体现在投入和产出的关系上。通过技术途径适当减少投入，是降低成本增加效益的关键。本书讨论水稻灌溉技术提出了高产高效益的要求，其重点在于如何有效地利用水资源，在节水的前提下增产，这是高产高效益灌溉的核心问题。节水与增产应是协调一致的关系，然而，大面积水稻生产中往往出现矛盾，即灌溉定额高，产量低，或是产量高，效益低。在生产上多重视育苗、插秧、施肥、灭草等技术环节，而对灌溉管理、灌溉技术有所忽视。从优质高效农业对稻区生产的要求来看，应该是在维护生态系统平衡的前提下，以最少的水源、能源消耗，获得最高的产量或纯经济收益。这就必须注意科学管水，降低灌溉定额，提高单产，降低成本。因此有必要了解稻田的耗水量和灌溉用水量，水量与产量的关系，以及高产高效益衡量的方法和标准。

（一）稻田耗水量与灌溉用水量

灌溉是人工补充天然降水不足以保证水稻需水的水利技术措施，也是满足水稻正常生长进行土壤水分状况调节的手段。为了有效地利用水资源，就需要了解水稻的田间耗水量和灌溉用水量。

1. 稻田耗水量 水稻生长期內（自移栽算起）消耗于叶

面的蒸腾量和棵间（水面或土壤）蒸发量合称为腾发量。另外有一部分水构成水稻机体组织，但这部分水量很少，仅占1%左右，所以一般就把腾发量作为水稻的需水量。就灌溉水稻供水而言，除水稻腾发量而外，还要供给土壤渗漏和耕作所需要的水量，这些水量可总称为水稻的田间耗水量。以上水量因为是从移栽算起，因此不包括移栽前的泡田和洗盐水量。过去曾把水稻的腾发量、土壤渗漏量和耕作水量统称为水稻的需水量。这三部分水量的性质是完全不相同的。腾发量是水稻生长直接消耗的水量；土壤渗漏量是由土壤和水文地质条件所造成的水量消耗，与水稻本身消耗无直接关系；耕作用水量与土壤条件有关，但取决于所采取的农业技术措施，与水稻本身消耗也无直接关系。因此，把水稻的腾发量（叶面蒸腾和棵间蒸发）称为水稻需水量，把腾发量、土壤渗漏和耕作水量合称为水稻的田间耗水量是适宜的。

水稻的腾发量因气候、品种、栽培方式等不同而异。就气候而言，在干旱多风的条件下腾发量大，而湿润多雨的年份则腾发量小；就品种而言，一般生育期较长的晚熟品种腾发量要较生育期较短的早熟品种大；就栽培方式而言，插秧稻较水直播稻腾发量小，而大秧迟栽、地膜覆盖、旱直播苗期早长（水稻旱种）等栽培方式比常规插秧稻的腾发量小。水稻生长过程中不同生育期的腾发强度均有不同，而腾发量中的叶面蒸腾与棵间蒸发是互为消长的。一般蒸腾强度随着分蘖和绿叶面积的增加而增长，在孕穗期到抽穗期达到高峰，进入生育后期，随着成熟和绿叶面积的减少而变弱。棵间蒸发的变化同蒸腾相反，插秧初期，植株幼小，田面裸露，蒸发大于蒸腾，以后随着营养生长的进展，茎叶遮蔽增加，蒸发强度就逐渐减小。到了生育后期，随着茎叶衰退又稍有增大。

总的来说, 水稻腾发强度的变化过程与水稻叶面积指数(单位土地面积上叶面积与所占土地面积之比)的消长过程是一致的。大体是随着生育进展而增大, 孕穗到抽穗期达到高峰, 以后逐渐减小。从辽梗5号品种需水量资料(表2—1)可知, 全生育期的平均腾发强度为每昼夜4.50毫米, 最大腾发强度在孕穗到抽穗期达到每昼夜6.20—6.70毫米。腾发强度大

水稻优化灌溉腾发量、腾发强度

表2—1 品种: 辽梗5号 沈阳农业大学灌溉试验场

1988 (P=50%)

生育阶段 项目	返青	分蘖			孕穗	抽穗 开花	乳熟	黄熟	全生育期 (本田)
		始	盛	末					
日 期	5.17	5.21	6.4	6.27	7.3	8.2	8.11	9.11	5.17
	5.20	6.3	6.26	7.2	8.1	8.10	9.10	9.26	9.26
天 数	4	14	23	6	30	9	31	16	133
阶段腾发量 (毫米)	16.00	45.50	112.70	34.20	180.00	60.30	113.77	35.52	598
模比系数K (%)	2.68	7.61	18.85	5.72	30.10	10.07	19.03	5.94	100
腾发强度 (毫米/日)	4.00	3.25	4.90	5.70	6.00	6.70	3.67	2.22	4.50
最大日腾发量 (毫米/日)	5.00	5.42	8.48	6.57	10.92	10.39	8.75	4.27	

小也受栽培技术如密度、施肥水平和灌溉技术的影响。一般是随着密植程度和施肥水平的提高和灌水量的增大而增加。在各种供氮水平下, 淹水栽培的水稻腾发强度高于湿润灌溉处理。不同地区之间水稻腾发量可能有较大差异。但在同一地区年际间的变化相对来说是较稳定的。水稻各生育期腾发