

小麦优化灌溉技术

安顺清 编著



农业出版社

小麦优良灌溉技术

安顺清 编著

气象出版社

(京) 新登字 046 号

内容简介

小麦优化灌溉技术是国家重点科技成果推广项目。本书介绍了其基本原理及研制过程,详细说明了推广应用该技术的具体步骤和方法,并介绍了已推广该技术的某些地区所取得的重大经济效益,最后给出了在我国应用彭曼公式计算农田可能蒸散量的方法以及有关参数的表格。可供广大气象台站人员、农业和水利部门的技术人员以及有关院校的师生参考使用,也可供农村知识青年学习参考。

小麦优化灌溉技术

安顺清 编著

责任编辑 庞金波

* * *

气象出版社 出版

(北京西郊白石桥路 46 号)

* * *

中国科技情报研究所印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

开本: 787×1092 1/32 印张: 1.125 字数: 24 千字

1991 年 10 月第一版 1991 年 10 月第一次印刷

印数: 1—1500 定价: 0.90 元

ISBN 7-5029-0749-1/S·0091

前 言

水资源不足是我国的基本国情之一，尤其在我国北方地区，水资源不足与农业生产发展的矛盾极为尖锐。据研究，在华北地区一年的干旱，如果不采取农业增水节水措施，作物就要明显减产；连续两年的干旱，即使采取多种农业增水节水措施也不能保证农业用水，对农业生产的影响更大。因此，在我国北方地区要想保持农业持续稳定的发展，必须走节水农业道路。

小麦优化灌溉技术就是针对小麦生长期间缺水这一重大问题，经过多年、多地较严格的大田试验研究得到的。在华北地区大范围推广的结果表明，它是一种简便易行的节水、节能、高产稳产的小麦科学灌溉技术。广泛地推广这种优化灌溉技术对节约用水、降低农业生产成本、缓解水资源的紧缺形势和保证今后农业的进一步发展将会起到重要作用。

为了加速科技成果转化成为生产力，把一大批先进、成熟的科技成果推入国民经济建设主战场，动员成千上万的科技工作者和全社会力量在农村、工矿企业中，大范围、大面积组织实施推广，尽快形成一定的规模和效益，促进科技与经济的紧密结合，国家科委于1990年开始组织实施《国家科技成果重点推广计划》。经过专家评审，小麦优化灌溉技术已被国家科委首批列入《国家科技成果重点推广计划》中，自1990年开始到1993年止，滚动推广3000万亩。该项目的技术依托单位是国家气象局气象科学研究院。编写这本小册子的目的就是配合各地区推广这一技术，把该技术的

有关技术特点和应用方法介绍给大家，以便于应用。当然，由于该技术只是在华北地区几个点试验得到的，而各地麦区自然条件和社会经济条件差异又较大，各地在应用本技术时，首先需要结合本地情况进行试验，然后才能大面积推广。

由于时间较仓促，本书中可能会有不足之处，敬请读者批评指正。

编者

1991年5月3日

目 录

前言

一、小麦优化灌溉技术的基本内容和原理·····	(1)
二、推广小麦优化灌溉技术的重要意义·····	(2)
三、小麦优化灌溉技术的由来·····	(5)
四、小麦优化灌溉技术的实施方法 ·····	(16)
五、小麦优化灌溉技术的推广应用情况及前景 ·····	(23)
附录：彭曼公式计算可能蒸散量方法 ·····	(26)

小麦优化灌溉技术是国家重点科技成果推广项目。在推广了该技术的地区，大家已经比较了解，而在广大未推广该技术的地区，人们一定会感到陌生。不禁要问，什么是小麦优化灌溉技术？它的原理是什么？怎样推广？推广应用效果如何？……为了回答上述问题，编写了这本小册子供大家参考。

一、小麦优化灌溉技术的基本内容和原理

小麦优化灌溉技术是针对农业干旱缺水和小麦传统灌溉制度浪费水的现象而研究出来的一种可省水、省电、省工、省钱、稳产高产的科学灌溉技术。其基本内容是：在华北地区，对冬小麦而言，麦田底墒充足的一般气候年份，在小麦需水关键期和干旱期，浇 1—2 次水即可获得亩产 300—350 公斤；在生产水平高的地区，灌 3 次水可获得亩产 400—450 公斤，土壤性质为壤土，每次灌水量为 $50\text{m}^3/\text{亩}$ 。对春小麦来说，在一般年份（根据在内蒙古临河市试验研究的结果），浇 3 次水可获得亩产 350 公斤，每次灌水量为 $50\text{m}^3/\text{亩}$ ，土壤性质为壤土。

上述小麦优化灌溉技术的基本原理是：根据小麦的耗水规律、全生育期最佳耗水量、不同生育阶段需水量的差异、土壤水分的时间和空间变化特点、小麦的干旱指标和适宜水分指标及麦田水分动态平衡模式和干旱预报模式等确定小麦的适宜灌溉期和灌溉量，以充分利用麦田土壤贮水和自然降水。在保证小麦正常生长所需水分条件下，减少麦田水分的无效消耗，确保小麦需水关键期和干旱期的用水，使有限的

水资源发挥最大的经济效益。

该技术的主要特点是，不需要工程投资，只是根据麦田土壤水分、小麦生长状况和气象观测资料，应用有关模式进行计算就可进行。它能够较精确地、及时地发现麦田的旱情，并能在早期对旱情进行预报，从而能不失时机地进行灌溉。该技术简便易行，投资少，节水效益和经济效益明显，符合国情，适宜大范围推广应用。在应用该技术的同时，还可促进电子计算机技术在农业生产中的应用，提高科学种田水平。

二、推广小麦优化灌溉技术的重要意义

小麦是我们的主要食品，是蛋白质和热量的重要来源。我国小麦种植范围广泛，每个省市都有，只不过种植面积不等而已。据 1988 年统计，全国小麦播种面积约 4 亿 3 千 1 百多万亩，占全国粮食作物播种面积的 21%，总产量占粮食作物总产量的 25%。从小麦生育期中的水分条件看，淮河以南长江以北地区，水分条件适合小麦生长，是我国小麦高产产区之一；江南丘陵地区雨水过多，小麦病虫害和倒伏现象经常发生，小麦品质也差，不适宜小麦生长；在淮河、秦岭以北的广大地区，降水量少，不能满足小麦对水分的需要，小麦产量的高低与灌溉有密切的关系。

华北地区是我国小麦主要产区，种植面积大，仅河南、山东、河北、北京、天津这 5 个省市就有 1 亿 7 千 2 百多万亩，相当于全国小麦播种面积的 40%，小麦总产量占全国产量的 48%，平均亩产为全国平均的 1.2 倍。该区属半湿润地区，年平均降水量为 500—600mm。由于人多、地多，

城市密集，工农业发达，水资源严重不足，人均水资源占有量为 430m^3 ，每亩耕地水资源占有量为 242m^3 ，大大低于全国平均水平，是我国贫水区之一。80 年代以来，华北地区连续严重的干旱使水资源的危机更加突出，供需矛盾十分尖锐，成为制约该区经济发展的重要因素之一。就农业来说，由于降水较少，且时间分布不均（70—80% 的降水量集中在 6—9 月份），满足不了各种作物的需水要求，尤其是冬小麦生育期内的降水量与需水量匹配度很低，冬小麦的水分亏缺量较大，要使小麦获得丰收必须进行灌溉。但是，长期以来人们受“浇水越多，产量越高”“地皮不干，产量翻番”观点的影响，盛行着全生育期内要浇 5—6 次水的灌溉制度，这不仅造成了水的大量浪费，而且导致了生态环境的恶化。在 80 年代的干旱期中，大部分地区河川断流，水库干涸，地下水大幅度下降。在京广铁路沿线，地下水位由开采初期的 2—3m 下降到现在的 8—10m；东部平原地区深层地下水水位现在正以每年 2—3m 的速度下降，迫使提水机具更新，机井报废。邯郸地区因过量开采地下水，1987 年地面出现 12 条裂缝。沧州地区因过量开采地下水，水中含氟量高，使不少人患有氟骨症。天津市超采地下水造成地面下沉。北京市从 70 年代以来地下水开采量超过补给量 60% 以上，地下水位下降了 10—20m，形成了面积达 1000 平方公里的漏斗区。在山东省渤海沿岸地区，由于从 70 年代中期开始持续干旱，地面水源枯竭，过量开采地下水，导致地下水水位大幅度下降，从而造成海水倒流，井水浸染，被迫封井。此外，华北地区每年有 40 多亿吨的污水排放量，绝大部分未经处理就排入河道和渗入地下，水质污染严重，随着河流入海水量的减少，平原地区生态环境趋于恶化。上述种种情况

严重地威胁着该区经济的发展和人民的生命安全。

未来华北地区水资源的形势又将怎样呢？根据各方面的研究和预测，虽然气候变化会使各年降水量有所不同，但总的趋势是干旱化将加重，水资源的供求矛盾将更加尖锐，如果不采取有力的措施，将会对国民经济发展和人民生活水平的提高产生十分不利的影响。因此，必须及早做好准备，加强节水意识，各部门都要做好节水工作。

农业是用水大户，农业耗水量占总耗水量 80% 以上，节约农业用水是缓解水资源严重亏缺局面的重要途径。目前，华北地区水的开源节流仍具有较大的潜力，并非无源可开，无水可节。比如从水库和河川中来的灌溉水在渠道输水过程中有 60% 左右被损失掉，提高灌溉水的有效利用率尚有很大的余地；夏季多雨的汛期，有不少雨水以地面径流形式汇入江河，进入海洋，其中就有一部分可以通过地面拦截和挖回灌井等措施被贮存在地面水库和地下水中，以备干旱期使用，做到以丰补歉；城市排放的污水和废水目前利用率很低，如果经过一级处理后作为农业灌溉用水，则是稳定的水肥资源；作物的不合理灌溉制度和大水漫灌方式也造成水分的大量浪费，改进灌溉制度，根据作物需水规律和天气条件科学用水，既可以节约灌溉用水，对作物的生长发育和产量的提高也有良好的作用。另外，进入农田中的水分也并非都能最有效地被作物利用，其中有相当大的一部分被散失到空气中，成为无效消耗，从而降低了土壤水分的有效利用率。采取秸秆还田、薄膜覆盖等技术可以减少这方面浪费。

党中央和国务院对解决我国水资源不足的问题给予高度重视，提出发展节水型经济，走节水农业道路的指示，各部门纷纷开展节水研究。1990 年 5 月，国家科委社会科技发

展司、农村科技司、科技成果司、农业部科技司、水利部科教司等单位联合发文征集有关农业节水技术项目，结果征集了150多项，并从中筛选出52项先进的节水技术供推广应用，小麦优化灌溉技术就是这52项中的一项。在这52项先进农业节水技术中，有不少是节水工程技术，如低压管道、渠系衬砌、喷灌、滴灌等技术，这些技术在减少灌溉水的渠系输送损失方面是有效的，但并不能解决什么时候浇，浇多少水的问题。另外在推广应用这些节水技术时，需要较多的投资，在目前我国经济实力还不是很雄厚的情况下，大范围推广这些技术尚有一定困难，只能在经济条件较好的地区推广。小麦优化灌溉技术不需要搞工程，且投资少，简便易行，效益明显，符合国情，能够大面积推广。华北地区是我国主要产麦区，小麦耗水量占农业总耗水量30%多，因此推广小麦优化灌溉技术对于农业节水具有重要的意义。

三、小麦优化灌溉技术的由来

小麦优化灌溉技术是由国家气象局气象科学研究所、河南省气象局农业气象试验站、山东省泰安市农业气象试验站、内蒙古巴盟农业气象试验站等8个单位经过多年的大田试验研究取得的。1983年9月，河南省气象局农业气象试验站和山东省泰安市农业气象试验站分别在巩县和泰安建立了较现代化的农田水分试验场。在试验场内设有30个试验小区，每个小区长4m，宽2.5m，面积为 10m^2 。为了防止各小区之间土壤水分的水平交换，小区与小区之间用玻璃钢（巩县）、砖加水泥（泰安）进行隔离；在地上部分安装一个大型的活动防雨棚，不降雨时把大棚移到试验小区外面，降

雨时推到小区上面，防止雨水进入小区。各小区的土壤水分通过人工灌水进行控制，灌水量用水表测定。水分试验有以下 5 种土壤水分处理，即土壤含水量占田间持水量 $< 40\%$ 、 $40—55\%$ 、 $55—80\%$ 、 $> 80\%$ 和自然降水（对照）。每种水分处理有三个重复。为了研究小麦不同生育时段与土壤水分的关系，上述水分处理分别在拔节—抽穗、抽穗—成熟期进行。在整个试验过程中，系统地观测了各种水分处理的土壤水分、小麦生长状况、各种生理生态特征和气象条件。土壤水分观测是从小麦播种开始一直到收割，每 10 天观测一次。在巩县，用中子测湿仪分层观测到 2m 深，在泰安用取土钻分层观测到 1m 深。小麦生长状况和生理生态观测项目有发育期、高度、密度、叶面积、叶片含水率、干物质累积率、灌浆速度、光合强度和气孔阻力等。到收割时，经各种水分处理的小麦单收单打，得出产量数字。在试验小区外面还安装两台水力式蒸散仪，一台测定可能蒸散量，另一台测定实际蒸散量，每天进行观测。气象条件是利用位于试验场旁边的地面气象观测站的资料。试验进行了 4 年，到 1987 年小麦收割时结束。通过对这些观测资料的分析研究，得到了与小麦节水灌溉有关的一系列结果。首先对小麦的耗水规律更加清楚，明确了小麦产量与全生育期耗水量呈抛物线关系，就是说在小麦产量较低时，产量随着耗水量的增加而直线增加，当耗水量增加到一定程度后，小麦产量随着耗水量的增加而缓慢增加，当耗水量再继续增加时，则产量呈下降趋势。这种关系说明，在小麦生长过程中并不是浇水越多越好，超过一定限度反而减产。从而否定了“耗水越多，产量越高”、“地皮不干，产量翻番”的片面观点。也许有人会说，那些高产小麦不都是在充分供水条件下

取得的吗？这话也不错。目前，国外小麦单产最高纪录是1965年在美国的华盛顿州其蒂帕斯县（Kittitas County）取得的。其产量数字是14100公斤/公顷，相当于每亩940公斤。这一记录超出美国小麦平均产量的7倍，是我国小麦平均产量的5倍。它是在什么样的条件下取得的呢？据文献记载：这片麦田刚开垦没几年，开垦前长有艾灌丛，土壤有机质含量为2—4%；所种小麦为白色软质品种，每公顷使用130公斤氮（8.7公斤/亩），25公斤磷（1.7公斤/亩）和56公斤钾（3.9公斤/亩）；每公顷播种量为90—95公斤（6—6.5公斤/亩）；一共灌7次水，灌溉量大。但是最为重要的是该地具有高产的环境条件，白天晴朗，光照强，夜间冷，昼夜温差大，有利于营养物质的累积，不利于病虫害和倒伏发生。同样的道理，我国小麦高产记录并不是出现在东部平原地区，而是在青藏高原的香日德农场，该场于1978年获得小麦1013.1公斤/亩的产量，比美国的最高记录还多73.1公斤/亩。这也是与青藏高原地区光照强，昼夜温差大，空气干燥有关，在这种条件下充分浇水不会引起病虫害和倒伏。而东部平原地区则不具备这些条件，浇水多了反而造成减产。另外在肥料不很足的情况下，浇水多了往往造成前期旺长，而在形成产量的后期因前期消耗养分过多缺乏后劲，从而影响产量。华北地区水资源充足的地方毕竟不多，大部分地区水资源缺少，想多浇也不行。鉴于此，就需要考虑使有限的水资源发挥最大经济效益问题。

目前，在作物的水分条件与产量形成关系方面存在着两种观点：一种观点是，作物任何生育期、任何程度的缺水都将造成作物产量降低，为了获得高产，整个生育期必须保持充足的供水。另一种观点是，充足供水和适当控制水交替对

产量增加更为有效。根据有关研究，轻度缺水对作物叶片的扩张生长有影响，但并不影响叶片气孔的开张，从而对光合作用影响不大。作物体内的物质输送对水分亏缺反应不敏感，一定程度的土壤干旱往往会提高作物的产量。比如，干旱促进了小麦的灌浆进程，使初期灌浆速率加快，持续的干旱才对物质的输送起抑制作用。有人提出了“有限水分亏缺效应”，就是说水分亏缺不总是降低产量，早期适度水分亏缺对于某些作物尚有利于增产，小麦就属此类。有限水分亏缺引起作物增产的原因可归结为以下几个方面：一是改变了作物体内水分、养分的分配，使同化物从营养器官向生殖器官的分配增加，从而有利于经济产量的形成；二是刺激了腋芽、新叶和花的发育；三是由于氮素的重新分配促进了冠层上部大叶的发育。

根据不同麦田水分处理的产量、秸秆重量、水分利用效率和灌溉费用的综合经济评判，得到了华北地区小麦最佳耗水量为 340—370mm，其产量水平为 300—350 公斤/亩。在生产水平高的地区最佳耗水量相应增加。这一最佳耗水量比传统灌溉制度下的耗水量约少 120—150mm。当前华北地区小麦平均亩产也只不过 200 公斤/亩左右，最佳耗水量所达到的产量水平超过了实际平均产量水平。当然，实际平均产量低也与有些地区水肥不足有关。

众所周知，小麦不同生育期的植株状况和气候条件差异很大，所需要的水量也不同，苗期和后期需水少，拔节到乳熟期需水多。冬小麦和春小麦耗水量随时间的变化形式不同，冬小麦的变化曲线呈双峰型（见图 1），春小麦的变化曲线呈单峰型（见图 2）。这是因为冬小麦要越冬。而春小麦一直在较高温度条件下生长的缘故。

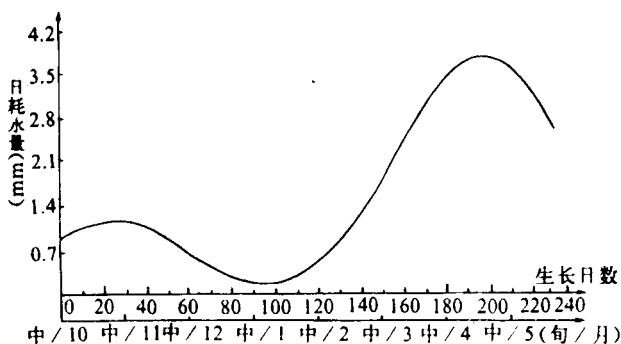


图1 冬小麦耗水量随时间变化

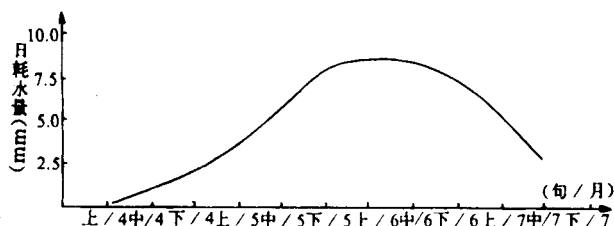


图2 春小麦耗水量随时间变化

从图1可以看出，在华北地区，冬小麦9月下旬到10月上旬播种，6月上旬到中旬成熟，整个生育期为240天左右，经历了秋季、冬季、春季和初夏季节。从播种到分蘖盛期的时间间隔为30-35天，在此期间气温较高，小麦叶面积逐渐增大，到分蘖盛期叶面积系数达到冬前高峰，小麦蒸腾水量和麦田地面的蒸发水量之和，即小麦耗水量在这时也达到冬前的高峰。以后随着气温逐渐下降，小麦生长缓慢，当气温下降稳定通过 0°C 时就停止生长，开始了漫长的越冬期。因为麦田土壤冻结，小麦叶干枯，地面蒸发水量和小麦

蒸腾水量极少，所以此期是小麦整个生育期中耗水量最少的时期。以后当温度上升稳定通过 0°C 时，小麦开始返青，此时由于温度仍偏低，小麦植株也小，耗水量虽然比越冬期有所增加，但增加幅度不大。到小麦拔节期，气温急剧上升，小麦生长旺盛，叶面积系数急剧增大，麦田耗水量也急剧增加，至抽穗期达到高峰，到开花期和灌浆初期仍维持高耗水率，但进入灌浆后期，植株开始衰老，叶面枯黄，虽然气温很高，但麦田耗水量却急速下降，一直到成熟期。各生育阶段的耗水量占全生育期耗水量的百分比如下：冬小麦从播种至越冬始期的耗水量约占全生育期耗水量的 18—20%，越冬期占 5—9%，返青至拔节期占 12—17%，拔节至抽穗期占 26—27%，抽穗至成熟期约占 34%。可见从播种到拔节生育期时间虽然占全生育期的 75%，但耗水量却仅占全生育期耗水量的 40% 左右。而从拔节至成熟的生育期时间虽然仅占全生育期的 25%，但该期的耗水量却占全生育期耗水量的 60% 左右。说明从拔节期到成熟期是小麦需水的关键期，此期缺水对小麦的生长发育和产量影响明显。据研究，小麦抽穗初期遭受干旱，产量降低最甚，开花前 15 天是小麦对水分最敏感期，主要影响穗粒数。在适宜的水分条件下，穗数多少对产量影响最大，在干旱条件下，则每穗的粒数和粒重对产量的构成最为重要。在小麦营养生长阶段受旱则减少穗的潜在数量，在花形成期受旱则引起粒数减少，在以后阶段遇到干旱则麦粒小，千粒重低。所以在小麦拔节期以后，一定要保证水分供给。在水源有限的情况下，应优先保证此期供水。

内蒙古巴盟农业气象试验站在临河市对春小麦的水分试验结果表明，春小麦各生育阶段耗水量占全生育期耗水量的

百分比是：播种至出苗为 5.2%，出苗至拔节为 27.1%，拔节至乳熟初期为 47.5%，乳熟初期到成熟期为 20.2%。可见从拔节期到乳熟初期是春小麦的需水关键期，在此期间要保证水分的供给。

以上是从小麦耗水规律分析得到的小麦需水关键期，此期间要保证水分供给。那末此期土壤水分状况是怎样的呢？因为小麦植株体内的水分和气孔蒸腾水都是通过根部从土壤中吸取来的，所以在一般情况下土壤含水量的多少，直接决定着小麦水分供应的好坏。如果在小麦需水关键期土壤含有足够的水分，能够满足小麦正常生长的需水要求，那末就不需要灌溉。因此，分析土壤水分变化规律也是制订小麦优化灌溉方案不可缺少的部分。土壤水分随时间的变化与气候条件和作物的生长发育状况有关。多年土壤水分观测资料分析表明，在华北地区从 7 月到 10 月降水量多，进入土壤的水分多于失去的水分，这些多余的水分由浅到深逐渐累积，贮存在土壤中，形成一个“土壤贮水库”，此期为土壤增墒期。在一般气候年份，1m 深土壤贮存的有效水分有 100mm 左右，在多雨年份则大于 100mm。比如巩县，在多雨年份从地表到 1.3m 深的土层中，土壤有效含水量高达 194.7mm。这部分水对小麦生长是非常有用的底墒，俗话说，“麦收底墒水”是有道理的。因为它不仅为小麦苗期生长提供了足够的水分，而且也对春季的少雨干旱起着重要的调节作用。从使用中子测湿仪测定的 0—2m 深的土壤水分资料分析来看，不仅 0—1m 的土壤贮水可被小麦利用，在 1m 以下到 2m 深土层所贮存的水分供给小麦的也不少，大约有 120mm。众所周知，小麦是深根系作物，在抽穗期根系可达到 1.9m 深，少数可达到 2m，甚至更深，因此小麦可以直接利用这一部