

中等专业学校教材

农田水利学

(第二版)

陕西省水利学校 曲达良 主编

水利电力出版社

【中等专业学校教材】

农田水利学

（第二版）

陕西省水利学校 曲达良 主编

水利电力出版社

中等专业学校教材

农田水利学

(第二版)

陕西省水利学校 曲达良 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 14.5印张 325千字

1979年11月第一版

1985年10月第二版 1985年10月北京第三次印刷

印数18181—30800册 定价2.55元

书号 15143·5867

前 言

本书是依据1982年8月水利电力部教育司颁发的中等专业学校《农田水利学》教学大纲，对1979年12月出版的中专《农田水利学》教材进行修订编写的。在编写过程中，我们曾广泛地征集了各水利学校对原教材的使用意见，力求做到充分加强基本理论的阐述，并尽可能地反映我国农田水利建设中的先进经验和科学知识。

全书共十章。除第一章绪论外，二至八章是农田水利学的基本内容，主要介绍灌溉排水的基本理论、灌水新技术，对旱、涝、渍、洪地区的规划治理及井灌规划等。第九、十两章，介绍了灌区的用水管理和经营管理，以体现对农田水利建设“加强经营管理，讲究经济效益”的重要性和现实性。

参加本书编写的有东北水利水电学校赵明华（第一、四、十章）、江苏省扬州水利学校陈珍平（第五、六、七章）及陕西省水利学校曲达良（第二、三、八、九章）。全书由曲达良主编，湖南水利电力学校许逢辰主审。

初稿完成后，由参加1983年全国中专农田水利学讲习班的各校代表，提出了许多宝贵意见。在本书编审过程中，还得到安徽水利电力学校王永盛及黑龙江水利工程学校李桂贞等同志的热情帮助和指导，在此一并表示衷心的感谢。

对于书中错误和不妥之处，热忱地希望广大师生及读者批评指正。

编 者

1984年3月

目 录

前 言

第一章 绪 论	1
第一节 我国农田水利事业的发展	1
第二节 农田水利学的研究对象与内容	3
第三节 我国农田水利区划	4
第二章 灌溉用水量	6
第一节 作物田间需水量	6
第二节 农作物的灌溉制度	12
第三节 年灌溉用水量的确定	24
第三章 灌水方法	31
第一节 地面灌溉	31
第二节 地下灌溉	40
第三节 喷 灌	42
第四节 滴 灌	52
第四章 灌溉规划	57
第一节 灌溉水源与取水枢纽	57
第二节 灌溉工程水利计算	61
第三节 灌溉渠系布置	66
第四节 渠系配套建筑物	74
第五节 渠道设计流量	78
第六节 渠道的断面结构设计	88
第七节 渠道防渗	102
第五章 排涝规划	107
第一节 除涝标准和除涝措施	107
第二节 排水系统规划	112
第三节 排涝流量计算	115
第四节 排水沟道设计	123
第六章 防渍规划	130
第一节 渍害及其成因	130
第二节 防渍措施	132
第三节 农田地下排水系统	134
第四节 控制地下水的田间排水沟	141
第七章 防洪规划	145
第一节 防洪标准和防洪措施	145
第二节 蓄水防洪工程	147

第三节	排水防洪工程	151
第四节	堤防工程	156
第八章	井灌规划	160
第一节	地下水资源的利用	160
第二节	地下水储量及平衡计算	162
第三节	井型选择与单井结构	167
第四节	井区规划	174
第九章	灌区用水管理	179
第一节	灌区计划用水	179
第二节	渠系测水	190
第三节	灌溉试验	201
第十章	灌区经营管理	209
第一节	灌区经营管理的基本知识	209
第二节	水费的计算与征收	211
第三节	技术经济指标	220
第四节	综合经营	223

第一章 绪 论

第一节 我国农田水利事业的发展

自古以来，农田水利一直是人类与水旱灾害作斗争，发展农业生产，变水害为水利，使水为人民生活、生产服务的重要措施。农田水利事业的发展，不仅是农业和社会文化进步的重要标志，也是社会生产力发展的一个重要方面。因此，农田水利的发展史，可以说是劳动人民不断和水旱灾害作斗争的历史。根据历史文献记载的推测，大禹治水反映了我国悠久的治水历史。公元前二十一世纪，黄河流域一带就有了某些原始的治水技术，并出现了用于灌溉排水的“沟洫”。公元前十六世纪以后，从商代的甲骨文可以看到农田沟洫的文字记载。“沟”，就是灌溉渠，“洫”，就是排水沟。公元前七世纪以后，春秋战国时代开始出现了较大规模的渠系工程。例如南方的楚国兴建了芍陂（今安徽省寿县安丰塘），它是在原有湖泊的基础上构筑成周长约百里的水库，引蓄淝河的水进行灌溉，这是我国有历史记载的最早蓄水工程。公元前四世纪魏国的西门豹和人民一起在邺（今河北临漳）修建了十二条渠道，引漳水灌溉，这是早期引水灌溉的典型。秦朝（公元前三世纪）李冰父子领导人民，兴建了我国古代最成功的第一个大型水利工程——都江堰。两千多年来，这项工程一直为农业生产服务，至今仍灌溉着成都平原八百多万亩农田。这个引水枢纽的规划、设计、施工都具有较高的科学性与创造性，充分显示了我国劳动人民的聪明才智。此外，我国古代较大的灌溉工程还有陕西引泾水的郑国渠，广西的灵渠以及宁夏的秦渠、汉渠、唐徕渠等，都是历史上很早的渠道。其它如遍布南方地区的塘坝工程、华北各省的水井、新疆的坎儿井，也是我国人民自古以来与干旱作斗争的重要手段。这些都是历代广大劳动人民所创造的伟大业绩，它在我国水利史上将永放光辉。

近代著名农田水利学家李仪祉在陕西省主持水利工作期间，修建了泾惠渠、渭惠渠和洛惠渠等大型灌区。这些灌区不仅进行了正规的规划、设计和施工，而且始终重视科学管理，积累了一套灌区建设和管理的经验，并发挥着巨大的效益。

我国是个水旱灾害频繁的国家。据不完全统计，从公元前二百零六年到一九四九年的二千一百五十五年间，我国发生较大的水灾一千零九十二次，较大的旱灾一千零五十六次，平均几乎每年都有一次水灾或旱灾。水旱灾害对于中华民族的生存和发展是一个严重的威胁。由于我国的自然条件和社会条件，使水利在历史上占有特定的地位，成为中华民族生存和发展的一个重要条件，成为治国安民的一项重要措施。我国悠久的农田水利史，值得我们今天借鉴。在奴隶制向封建制过渡的春秋战国时期，出现了历史上水利建设的第一次高潮；西汉武帝时期，文治武功，十分兴盛，出现了朝庭内外“争言水利”的局面；

盛唐时期,农田水利建设又一次出现高潮;北宋王安石变法时期颁布了《农田利害条约》,即农田水利法,出现了“四方争言水利”的形势;明朝开国之初,朱元璋派国子监的生员到全国各地倡导水利;清朝的所谓“康乾”盛世,对农田水利也是比较重视的。相反,如果水利失修,严重的水旱灾害,往往造成社会的动荡不安。

建国后,在党的领导下,农田水利事业呈现了崭新的局面。社会主义制度的优越性,不仅使农田水利事业的发展具有空前的规模,而且基本上控制了水旱灾害,水利资源也得以综合利用。建国后多年实践证明:大力改善农业生产条件,提高农田抗灾能力,是农业持续增产和实现农业战略目标的重要保证。建国以来,国家对农田水利建设一直是重视的。花费了大量人力、物力和财力,修建了大批水利工程,每年平均发展灌溉面积一千五百万亩,为每年平均增产粮食一百二十亿斤提供了水利保证。目前,我国的七亿亩左右的灌溉面积占全国耕地面积不到二分之一,而粮食产量却占三分之二。一九四九年,我国耕地面积十四点六八亿多亩,现在是十四点八五亿亩,增加不多,而粮食总产从一千一百多亿公斤,增加到三千五百亿公斤,棉花从四点四五亿公斤增加到三十五多亿公斤,这主要是依靠复种和提高单产,而增产同发展农田水利,提高抗御水旱灾害能力有密切关系。解放初期,全国仅有低标准灌溉面积二点四亿亩,当时有水稻田三点四亿亩,其中有灌溉设施的不到二亿亩,可以说大部分没有水源保证。现在水田增加到三点八亿亩,绝大部分靠灌溉,亩产由一九四九年的一百二十六公斤增加到三百八十三公斤。当然,这是各项农业生产措施的综合效果,但如果没有水源保证,水稻要达到这么高的产量是不可能的。全国旱田水浇面积,由一九四九年四千八百多万亩,增加到三点四亿亩。旱田一旦变为水浇地,亩产要增加一、二倍,甚至三、四倍。这充分证明,水利确是农业的命脉。时至今日,农田水利工程还为城市和工业提供了用水,改善了环境,并解决和缓和部分地区用水十分急迫的状况。这又说明,水利不仅是农业的命脉,也可以说是国民经济的命脉。

三十多年来的实践,农田水利已从单纯搞灌溉、排水工程,发展到以建设旱涝保收高产稳产田为目标的山、水、田、林、路综合治理,将治水与改良土壤密切结合起来,不仅要治理地表水,而且要求控制地下水和土壤水。在建设农田排灌系统时,要求平田整地,沟、渠、路、林、闸、站、桥、涵配套。一九八一年五月召开的全国水利会议提出了“把水利工作的着重点转移到管理上来”。一九八三年全国水利会议上,又进一步明确了“加强经营管理,讲究经济效益”为水利建设方针。在这之后,农田水利建设注重了投资效益和经济效益的研究,不少单位按照企业要求进行经营管理,取得了很好的经验。由于进一步加强和完善了农田水利责任制,扭转了长期以来重建设、轻管理的弊病,充分发挥了现有工程的实效。

应当指出,农田水利建设的现状,远不能适应新时期的要求。现有许多农田水利设施已经“老化”,需要逐步更新、改造。全国灌溉面积这些年一直徘徊在七亿亩左右。有的地方在实行责任制后,工程管理没有跟上去,农田水利设施遭到破坏,灌溉保证率下降。现有工程除险、配套任务很重,灌溉、除涝标准低以外,许多有条件的农田还缺少灌溉设施,三分之一的易涝面积尚未进行初步治理,有一亿亩的盐碱地、冷浸田等低产田还有待改造。此外,农田水利在各地发展还很不平衡,有的地方水资源条件较好,但灌溉面积

占耕地的比重和人均灌溉面积都比较低；有的地方水利基础比较好，但农田水利方面仍有许多工作要做。

农田水利科学技术是在不断发展的。农田水利建设和管理，又是由社会经济条件决定和制约的。这些条件也是在不断变化和发展着。因此，要发展农田水利事业，必须不断研究新情况，解决新问题，才能使农田水利事业不断向前推进。

兴修农田水利的根本目的，过去是、现在仍然是不仅要坚持为粮棉增产服务，还要为林、牧、副、渔业和多种经济服务，而且要在建设和管理中，力求以最小的投资取得最大的经济效益。对水土资源要实现综合利用；对盐碱、沼泽、干旱、荒漠要尽快解决；合理用水，科学用水，要尽快落实新的灌排技术的推广。一些农田水利科学技术发展较快的国家，已把治水扩大到大气圈中，实行人工催雨以增加降雨量；人工化云以减轻暴雨威胁；原子能、电子计算技术、宇宙航测技术已开始灌排中得以应用；灌排管理也多实现了自动化，用现代工业装备排灌工程已被广泛采用。因此，我们必须认真总结我国悠久的农田水利建设的成就，借鉴国外的经验，在生产实践中推陈出新，不断完善和发展农田水利学的内容，运用现代科学技术，积极开展农田水利科学研究工作，把农田水利事业推向一个新的阶段。

第二节 农田水利学的研究对象与内容

农田水利学是研究农田水分状况和地区水情变化规律及其调节措施的科学；以消除水旱灾害和利用水利资源，为发展农业生产服务。

降水量少而不均，是我国自然条件的一个显著特点。全国多年平均降水量仅630mm，比全球834mm和亚洲陆面740mm都少。不均，一是降水量在时程上分配不均匀，一般汛期降水量占全年降水量的60~80%；二是年际之间不均匀，丰水年和枯水年降水量相差悬殊，往往相差几成到几倍；三是在地区分布上不均匀，长江以南地区降水量多达1200mm以上，而东北、华北、西北大部地区在400~600mm之间，有的还低于200mm。降水量少而不均的特点，决定了要发展农业生产，必须发展农田水利，发展灌溉、排水事业。农田土壤中水分少了要灌溉，土壤中水分多了就要排除，以调节农田水分状况。

对于灌溉，要求适时、适量，以保证作物需水。对于排水，不仅要适时、适量，还要求与降低地下水位和排除盐分措施相结合。

农田水利还有改变和调节地区水资源的作用，通过引、蓄、调、排、配套挖潜、经营管理等措施达到地区之间用水的平衡。引、蓄、调等措施乃是通过渠道、水库等工程设施，改变水量在地区上和时间上的分布不均匀。

农田水利学是一门跨学科的科学，它的主要内容是灌溉和排水。对不同地区影响农业生产的水利问题，如防洪、治碱、水土保持、山区丘陵区治理等也是农田水利学应涉及的范畴。由于三十多年来，农田水利工程已具有相当规模，对这些已成工程的管理是十分重要的课题。因此，农田水利除含有上述内容外，还必须包括农田水利工程的管理（工程管理、用水管理、经营管理与组织管理）。

劳动人民与水旱灾害做斗争的实践经验，是农田水利学的丰富源泉。几千年来，劳动人民在生产实践中，不断与水旱灾害作斗争，积累了极其丰富的经验，这些经验丰富了农田水利学的内容。譬如从农作物的田间需水、田间工程、灌排系统的建立、灌水技术的不断更新，到合理的科学用水；从以灌溉为中心的流域开发，到包括灌溉为主，兼顾发电、航运、防洪等综合利用的流域开发，从单一河流的流域开发推向跨流域调水；从解决冲积平原灌区次生盐碱化的明沟排水，发展到暗沟以及井排等等，都是由于生产的发展，使农田水利学增添了新的内容。特别值得提及的是，把水利建设的立足点放在环境水利上，以生态环境的动态评价作为准则，这是近代水利的一个新发展，大规模的水利建设都必将程度不同地改变着设施区内的水量平衡、水热平衡，影响生态平衡，改变自然景观的面貌。其结果可以是建设性的，也可以是破坏性的，即具有兴利与为害的两重性。工业和城市生活污水废物的排放使环境污染；丘陵山区的开发，加重了水土流失；灌溉土地的沼泽、盐碱化，破坏了水土资源；过量开采地下水，带来了大面积地下水位大幅度下降，造成地面下沉、土壤干旱；滨海地带海水入侵（地下的、地面的）、水库建设造成淹没等都改变了当地的水热平衡，地下水状况等。从环境水利来说，这些都是不可忽视的问题。今天，水利进入以单项设施为基础，在流域内形成系统，跨流域调水建立区域体系的年代，有可能把不同类型地区的水利问题，纳入这类大系统中求得解决。这就要从水资源的状况出发，以洪济旱、借旱消洪，洪、涝、旱统一治理。

第三节 我国农田水利区划

由于我国降雨及水资源分布的特点，决定了我国水利工作的艰巨性、长期性和复杂性。这也决定我国各地农田水利措施具有很大的差别。因此，要因地制宜，实行分区治理。如果从我国的东北到西南划一条斜线（海拉尔——兰州——拉萨），那么，此线以东，年平均降水量大于400mm，这是我国的主要农业区，其中东北，华北及西北黄土高原大部为400~600mm，黄淮之间为600~800mm，是我国主要旱作农业区；秦岭到淮河以南大于800mm，长江以南大于1200mm，是我国主要水稻产区。此线以西，年平均降水量低于400mm，除一部分灌区外，进行种植业生产已很困难，主要是牧区；国际上称年降水量少于500mm的地区为少雨区，少于250mm的称之为无灌溉便无农业区。我国降水量在500mm以上的地区约占国土面积的50%，是湿润和半湿润区。降水量少于500mm的少雨区，即干旱半干旱区，约占国土面积的50%，其中干旱区占国土面积的30.8%。

一九七九年以来，国家要求各地开展水利化区划研究工作，并要求各省、市、自治区按各自的自然经济条件，特别是水土资源条件和洪、涝、旱、碱、渍等灾害情况，在总结经验的基础上，按照社会主义现代化大农业的发展要求，进行水利化区划。考虑国民经济各部门的需水量与可供水量，分区进行水资源供需关系分析，估算其余缺程度，借以提出不同类型地区水资源的合理利用方式，以期明确实现水利化的方向、重点和步骤，科学地、因地制宜地指导水利建设，做到严格按照客观规律与经济规律办事。

在全国一级的水利化分区中，以地形、地貌、气候和地理位置为主，将全国划分为十个一级水利化区，即（一）东北山丘平原区；（二）淮海山地平原区；（三）内蒙草原区；（四）黄土高原区；（五）江淮丘陵平原区；（六）川陕山丘盆地区；（七）东南沿海区；（八）云贵高原区；（九）西北内陆区；（十）青藏高原区。其中（一）至（四）区位于秦岭、淮河以北的我国北方旱作农业区，主要问题是干旱少雨，水土流失严重，水资源不足。（五）至（七）区是位于秦岭、淮河以南的我国南方水田农业区，是全国人口、耕地、农、林、渔分布集中的地区，主要水利问题是旱、洪、涝。（八）至（九）区则属我国西部地广人稀，以牧为主的地区，主要水利问题是开源节流。

第二章 灌溉用水量

研究灌溉用水量及其在设计年内的变化过程，是进行农田灌溉工程规划、设计和管理工作的重要依据。灌溉用水量的确定，必须按照各种农作物的需水特性，制定合理的灌溉制度，满足作物高产稳产对农田水分状况调节的要求。

第一节 作物田间需水量

一、作物田间水量的消耗

作物的田间水量消耗包括：叶面蒸腾、棵间蒸发和深层渗漏等方面。

作物通过根系从土壤中吸收的水分，除少部分（不到0.2%）使作物获得养分被作物吸收外，绝大部分（99.8%）则通过作物叶面的气孔源源不断地蒸腾到大气中，这部分水分的消耗，称为叶面蒸腾。棵间蒸发是指植株间土壤或水面的水分蒸发。作物生育期棵间蒸发和叶面蒸腾二者互为消长，一般作物生育初期植株小，地面裸露大，以棵间蒸发为主，随着植株叶面覆盖率的增大，叶面蒸腾逐渐大于棵间蒸发，到作物生长后期，作物生理活动减弱，蒸腾耗水逐渐减少，棵间蒸发相对增加。深层渗漏是指土壤水分超过了田间持水率，向根系吸水层以下的土层产生渗漏的现象。旱地的深层渗漏是无益的，而且会造成水分和养分的流失浪费。水稻田有适当的渗漏量，可以促进土壤通气，改善还原条件，消除有毒物质，促进根系生长。

叶面蒸腾和棵间蒸发合称为腾发，二者消耗的总水量称为腾发量，因为腾发量和作物生长关系密切，通常也把腾发量称为“作物田间需水量”。一般叶面蒸腾量占作物田间需水量的60~80%，而棵间蒸发量约占20~40%。由于深层渗漏水量的大小与土壤性质、水文地质条件等因素有关，和腾发量的性质完全不同，所以，一般不计入作物田间需水量中。通常把水稻的作物田间需水量与渗漏量的总和称为“田间耗水量”。这样区分可以使我们把水、旱作物田间需水量的概念统一起来，也便于对不同土壤和水文地质条件下的水稻灌溉用水量进行估算、比较和评价。

二、作物的需水规律

研究和掌握作物需水规律是进行合理灌排、适时适量地满足作物需水要求、确保高产稳产的重要依据。

（一）作物需水量的影响因素

影响作物需水量的因素很多，主要有气象条件、土壤条件、作物种类及农业技术措施等。

1. 气象条件 气温、日照、空气湿度、风速和气压等气象条件对作物需水量都有很大影响。气温高、日照强、空气干燥、风大时，叶面蒸腾和棵间蒸发都会增大；反之，

则小。

2. 土壤条件 土壤含水量和土壤的物理性质对作物需水量有明显影响。在一定的土壤湿度范围内，作物需水量随着土壤含水量的增大而增大。在地下水位高的地方，上升毛管水达到作物根系吸水层时，土壤湿度就大，作物需水量也大。土壤的砂性或粘性过高、土壤缺乏团粒结构等都会使作物需水量增大。

3. 作物种类 不同种类的作物，本身形态构造和生长季节均不相同。生长期长、叶面积大、生长速度快、根系发达的作物，需水量就大；含蛋白质或油脂多的作物（如油料作物），比含淀粉多的作物（如甘薯等）需水量要多。同一类作物不同品种之间，需水量也有差异，耐旱和早熟品种需水量较少。

4. 农业技术措施 农业技术措施对作物需水量也有一定的影响。例如：密植使叶面蒸腾量大大增加，施肥促使作物生长茂密，也使叶面蒸腾量增大。在这种情况下，棵间蒸发量虽有所减少，但腾发量的数值还是增大了。不过，合理密植和施肥能使作物产量显著增长，从而单位产量的需水量反而减少。另外，适时进行中耕松土，对减少棵间蒸发有很好的效果。

上述因素在不同地区和不同年份里变化很大，它们之间又互有联系，作物需水量受它们的综合影响，情况十分复杂。但是，气象条件是主要影响因素，而气象条件的变化有其大致的幅度和规律，因此，作物需水量也呈现出一定的变化范围和规律。例如：北方比南方多，干旱年比湿润年多，生长期长的作物比生长期短的作物多。

（二）作物生育阶段的需水特性

作物在生长发育期间，各生育阶段的需水特性各不相同，一般是生育初期日需水量较少，随着作物的生长发育，日需水量也逐渐增加，开花结实时最大，到作物快要成熟时，日需水量又逐渐减少。这种中间多、两头少的需水过程是各种作物需水量变化的一般规律。我国南方水稻生长期早、中、晚稻的需水规律见图2-1。

（三）作物需水临界期

在作物全生育期中，对缺水最敏感、影响产量最大的时期，称为作物的需水临界期或作物需水关键时期。如果这个时期缺水，作物生长发育会带来严重危害。不同作物的临界期不同：水稻一般在孕穗期至开花期；小麦在拔节期至灌浆期；棉花为开花至幼铃形成期；玉米在抽穗至乳熟期。

农业生产上，可根据各种作物需水临界期不同的特点，合理安排作物布局，使用水不致过分集中。在干旱缺水的情况下，可优先灌溉面临需水临界期的作物，以充分发挥水的增产作用，做到经济、合理、科学地用水。

三、作物田间需水量的确定

影响作物田间需水量的因素很多，而且这些因素之间有着错综复杂的关系，到目前为

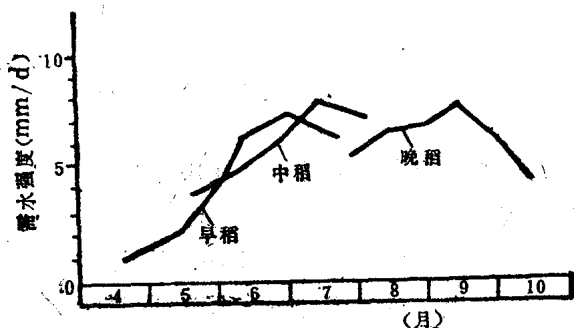


图 2-1 早、中、晚稻需水规律图

止尚无完善的计算方法。在生产实践中，一方面是通过田间试验的方法直接测定作物田间需水量；另一方面常常采用某些经验公式估算作物田间需水量。

(一) 全生育期作物田间需水量的确定

目前在国内广泛使用的经验公式有以下两个。

1. 以水面蒸发为参数的需水系数法（简称“ α 值法”） 国内外大量的灌溉试验资料表明，气象因素是影响作物田间需水量的主要因素，而各种气象因素都与当地的水面蒸发量之间有较为密切的关系，因而水面蒸发量就和作物田间需水量之间存在了一定程度的相关关系。为此，可以用水面蒸发量作为参数，估算作物田间需水量。计算公式为：

$$E = \alpha E_0 \quad (2-1)$$

式中 E ——全生育期作物田间需水量（mm）；

α ——需水系数，根据试验资料确定；

E_0 ——与 E 同时段的水面蒸发量（mm）。一般采用80cm口径蒸发皿的蒸发值。

这种估算方法所用的水面蒸发资料容易取得，而且在水稻种植区， α 值比较稳定，如长江流域中下游地区各种水稻全生育期的 α 值变化在0.97~1.22之间。我国各地广泛使用这种方法估算水稻的田间需水量。旱作物的 α 值变化较大，因此较少采用此法估算旱作物的田间需水量。

应当注意：在采用上述方法估算作物田间需水量时，由于水面蒸发资料在灌溉试验站使用的是80cm蒸发皿实测值，当借用当地或附近地区气象观测资料时，气象部门采用的是20cm蒸发皿，因此必须进行换算，近似的可以利用下述换算公式计算：

$$E_{80} = 0.8 E_{20} \quad (2-2)$$

式中 E_{80} 、 E_{20} ——相应于80cm和20cm直径蒸发皿观测的水面蒸发量（mm）；

0.8——换算系数，如当地有实测的数值，则采用实测值。

在选用 α 值推求不同地区作物田间需水量时，还必须注意该地区的非气象条件（如土壤、水文地质、农业技术措施、水利措施等）与被选用地区近似，以免计算成果产生较大的误差。

2. 以产量为参数的需水系数法（简称“ K 值法”） 作物产量是影响作物田间需水量的各个因素综合作用的结果。因此，在一定的气象条件下和一定范围内，作物田间需水量将随产量的提高而增加，如图2-2所示，但是田间需水量的增加并不与产量成比例。由图中还可以看出，单位产量的需水量随产量的增加而逐渐减小，说明当作物产量达到一定水平后，要进一步提高产量不能仅靠增加水量，必须同时改善作物生长所必需的其他条件，例如采用先进的农业技术和提高土壤肥力等措施。

苏联A·H考斯加可夫提出如下计算公式：

$$E = K Y \quad (2-3)$$

式中 E ——作物田间需水量（ m^3 /亩）；

K ——需水系数（ m^3/kg ），即在一定的自然条件下，单位产量所消耗的水量，根据试验资料确定；

Y ——作物产量 (kg/亩)。

国内曾广泛使用这个公式估算旱作物的田间需水量,也进行了不少试验研究工作,对 K 值的确定提出了许多很有价值的成果。北京水利水电科学研究院在分析了河南、山东及北京市对冬小麦的田间需水量试验资料的基础上,提出需水系数和产量之间存在着以下关系:

$$K = C / \sqrt{Y} \quad (2-4)$$

将上述关系式代入公式(2-3),则得到下式

$$E = C \sqrt{Y} \quad (2-5)$$

式中 Y ——冬小麦的产量 (kg/亩);

E ——冬小麦田间需水量 (m^3 /亩);

K ——需水系数;

C ——经验系数,北京西郊 $C=15.06$;山东打渔张灌区 $C=10.75$;河南人民胜利渠灌区 $C=10.5$ 。

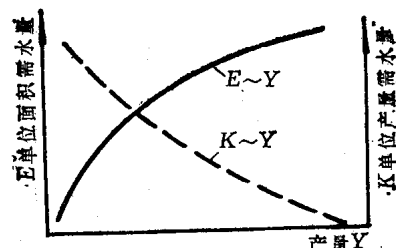


图 2-2 作物田间需水量与产量关系示意图

在作物田间需水量研究方面,国内外的科学工作者除了以试验资料为依据,建立了许多经验公式外,还正在研究用能量平衡的方法计算作物田间需水量,而且已经取得了一些可喜的成果。因为作物叶面蒸腾是水从液态转化为气态的过程,这个转化需要消耗一定的能量,主要能源来自太阳辐射,太阳辐射到达地面的能量,或被反射,或被贮存于土壤,或被消耗于腾发及植物的光合作用等;所以,有可能通过能量平衡计算,求出腾发所消耗的能量,再把这个能量折算成水量,即作物田间需水量。这种方法理论上比较严密,尽管至今尚未达到十分完善的程度,但已被公认为一种研究作物田间需水量的重要途径。

(二) 作物各生育阶段田间需水量的确定

作物各生育阶段的田间需水量,它定量地反映出作物需水的变化过程。当已知作物全生育期总需水量时,可以借助于需水模系数,把总需水量按生育阶段进行分配。需水模系数是作物某一个生育阶段的田间需水量占全生育期总需水量的百分数。

作物生育阶段田间需水量和全生育期田间需水量的关系可用下式表示:

$$E_i = K_i E \quad (2-6)$$

式中 E_i ——某一生育阶段的作物田间需水量;

K_i ——某一生育阶段的作物需水模系数(%) ;

E ——作物全生育期田间需水量。

需水模系数也受气象条件、作物种类、农业技术措施等因素的影响而变化,一般应通过科学试验取得具体数值。在引用外地资料时,必须注意与当地的自然条件基本相似、农业技术措施大体相同,方可参考采用。表2-1列出了一些地区水稻需水模系数的试验成果。

各生育阶段作物需水强度的确定,可以通过绘制作物田间需水量累积曲线得到。各个生育阶段累积田间需水量的计算,可由累积需水模系数值乘以全生育期田间需水量求得。例如:

表 2-1

水稻各生育阶段需水模系数表

(单位: %)

生育阶段	地 区 水稻种类	广 西 (南宁)		湖 南 (韶山灌区)		江 苏 (句容)	江 西 (鄱阳湖地区)	
		双 早	双 晚	双 早	双 晚	中 稻	双 早	双 晚
返 青 期		11.87	4.16	11.52	5.19	6.60	11	9
分 蘖 前 期		15.39	20.94	7.84	16.55	23.40	15	12
分 蘖 后 期		13.22	21.83	6.70	20.27	12.00	18	28
拔 节 孕 穗 期		21.93	24.20	23.40	18.88	28.70	14	20
抽 穗 开 花 期		10.79	6.32	11.70	16.68	16.80	15	11
乳 熟 期		9.97	7.40	11.80	8.64	12.50	14	10
腊 熟 期				13.40	10.14			
黄 熟 期		16.83	15.15	13.64	3.65	0	13	10
全 生 育 期		100	100	100	100	100	100	100

幼苗期:

$$E_{\text{幼苗}} = K_{\text{幼苗}} \cdot E$$

幼苗至分蘖期:

$$E_{\text{幼} \sim \text{分}} = K_{\text{幼} \sim \text{分}} \cdot E$$

幼苗至孕穗期:

$$E_{\text{幼} \sim \text{孕}} = K_{\text{幼} \sim \text{孕}} \cdot E$$

幼苗至开花期:

$$E_{\text{幼} \sim \text{开}} = K_{\text{幼} \sim \text{开}} \cdot E$$

幼苗至成熟期:

$$E_{\text{幼} \sim \text{成}} = K_{\text{幼} \sim \text{成}} \cdot E$$

绘出作物田间需水量累积曲线, 如图 2-3 所示。各生育阶段曲线的斜率, 即表示这一阶段的需水强度。需水强度是进行合理排灌、调节土壤水分状况的重要依据。作物田间需水量累积曲线, 在采用图解法设计作物灌溉制度时, 是一项很重要的资料 (水稻田尚须考虑稻田渗漏量)。

例 2-1 某灌区在规划设计中, 为计算设计年双季早稻田间需水量, 引用附近一灌区试验站资料: 设计年早稻全生育期 (4 月 25 日至 7 月 18 日) 需水系数 (α) 为 1.06, 早稻各生育阶段需水模系数如表 2-2 所示, 全生育期水面蒸发量为 335mm。试确定早稻全生育期田间需水量及各生育阶段累积田间需水量。

表 2-2

早稻各生育阶段需水模系数表

生 育 阶 段	返 青	分 蘖	拔 节	抽 穗	乳 熟	黄 熟
需水模系数 $K(\%)$	4.4	26.4	21.0	15.6	24.0	12.6

解: 1. 求早稻全生育期田间需水量

利用“ α 值法”公式

$$E = \alpha E_0 = 1.06 \times 335 = 355 \text{mm}$$

2. 计算早稻各生育阶段累积田间需水量

返青:

$$E_{\text{返青}} = K_{\text{返}} \cdot E = 0.044 \times 355 = 15.6 \text{mm}$$

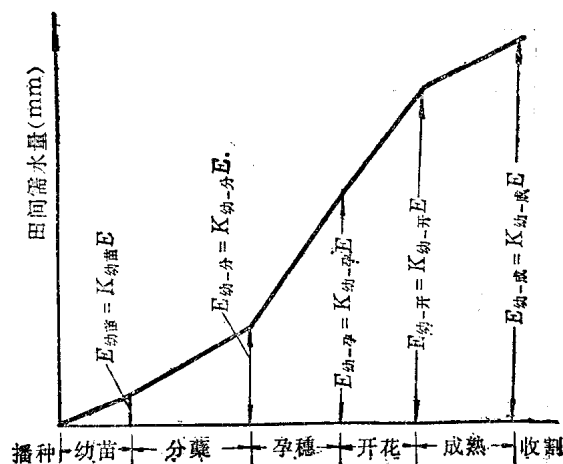


图 2-3 作物田间需水量累积曲线图

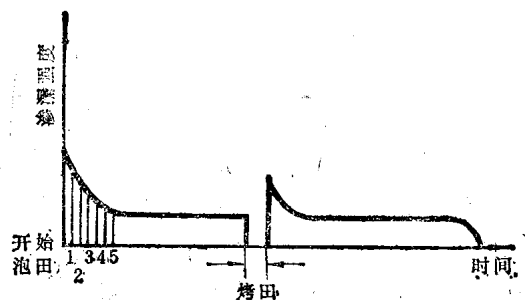


图 2-4 整个生育期稻田渗漏过程示意图

返青~分蘖:

$$E_{\text{返} \sim \text{分}} = K_{\text{返} \sim \text{分}} \cdot E = (0.044 + 0.264) \times 355 = 0.308 \times 355 = 109.3 \text{ mm}$$

返青~拔节:

$$E_{\text{返} \sim \text{拔}} = K_{\text{返} \sim \text{拔}} \cdot E = (0.308 + 0.210) \times 355 = 0.518 \times 355 = 183.9 \text{ mm}$$

返青~抽穗:

$$E_{\text{返} \sim \text{抽}} = K_{\text{返} \sim \text{抽}} \cdot E = (0.518 + 0.156) \times 355 = 0.674 \times 355 = 239.3 \text{ mm}$$

返青~乳熟:

$$E_{\text{返} \sim \text{乳}} = K_{\text{返} \sim \text{乳}} \cdot E = (0.674 + 0.240) \times 355 = 0.874 \times 355 = 310.3 \text{ mm}$$

返青~黄熟:

$$E_{\text{返} \sim \text{黄}} = K_{\text{返} \sim \text{黄}} \cdot E = (0.874 + 0.126) \times 355 = 1.00 \times 355 = 355 \text{ mm}$$

四、稻田渗漏量

稻田渗漏包括田面垂直渗漏和田埂旁侧渗漏。在较大面积稻田区域内，田埂旁侧渗漏的水量只是从一个格田进入另一个格田，对整个地段来说，水量并无损耗。以下着重叙述田面垂直渗漏，即田面渗漏。

田面渗漏是指稻田水分渗入犁底层以下，作物吸收不到的水分，它的大小取决于土壤、地质、水文地质和水田的位置等情况。一般长期淹灌的稻田，其渗漏过程如图 2-4 所示。开始泡田时，土壤尚未饱和，渗漏量最大，以后逐渐减小而趋于稳定；至晒田期，田面没有水层，田面渗漏停止；而在晒田后重新建立水层到黄熟落干这一时期内，水田渗漏强度的变化过程，则与泡田到晒田阶段的情况类似，所不同的，只是初期渗漏量的变化幅度可能较小，不稳定阶段的历时也可能较短。

稻田平均日渗漏量，一般为 2 ~ 3 mm 左右，但稻田土壤砂性大则渗漏量多，粘性泥土渗漏量则小。靠近河道、沟谷两旁地下水出流条件较好，稻田渗漏量也较大，而山谷、冲田、垅田由于承受上游土地及塍田的渗漏水，且地下水位高，则渗漏量较小。另外，深耕以后也会使原有“犁底层”受到破坏，渗漏量也会加多。目前在生产实践中，确定该值