北方地区主要农作物灌溉用水定额

段爱旺 孙景生 刘钰 肖俊夫 刘群昌 齐学斌 等 编著

中国农业科学技术出版社

北方地区主要农作物灌溉用水定额

段爱旺　孙景生　刘　钰
肖俊夫　刘群昌　齐学斌　等编者

中国农业科学技术出版社

图书在版编目（CIP）数据

北方地区主要农作物灌溉用水定额/段爱旺，孙景生等编著 .—北京：中国农业科学技术出版社，2004.8
ISBN 7-80167-681-5

Ⅰ.北… Ⅱ.①段…②孙… Ⅲ.作物-灌溉水-用水量-中国 Ⅳ.S274

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 071428 号

责任编辑	杜 洪
责任校对	李 敏
出版发行	中国农业科学技术出版社 邮编：100081
	电话：（010）62145303，68919709；传真：68919698
经 销	新华书店北京发行所
印 刷	北京奥隆印刷厂
开 本	787mm×1092mm 1/16 印张：14.25
印 数	1～1 000 册 字数：400 千字
版 次	2004 年 8 月第 1 版，2004 年 8 月第 1 次印刷
定 价	80.00 元

《北方地区主要农作物灌溉用水定额》编写人员

主　编：段爱旺

副主编：孙景生　刘　钰

撰　稿：前　言　段爱旺

第一章　段爱旺

第二章　孙景生

第三章　刘　钰

第四章　孙景生

第五章　刘　钰

第六章　刘群昌

第七章　齐学斌　王景雷　樊向阳

第八章　肖俊夫　张寄阳

第九章　段爱旺　王景雷

统　稿：段爱旺　孙景生

前　言

我国是世界上水资源严重短缺的国家之一，在北方地区缺水更为严重。专家们普遍认为，水资源严重短缺将是我国农业生产在21世纪所面对的基本形势，并且将呈不可逆转的态势继续加剧。在这样的形势下，对有限的水资源实行科学的开发利用和调配管理，并大力发展节水灌溉，将是缓解我国北方地区水资源紧缺状况，保证农业生产持续稳定发展的重要途径和措施。

实施水资源科学调配，大力发展节水灌溉，均需要有严格的理论体系和充足的基础数据作为支撑和保证，作物灌溉用水定额即属于这类基础数据。作物灌溉用水定额的确定需要考虑多方面因子的影响，包括作物种类、生育时期、气象条件、灌溉方式、采用的非工程节水措施、可利用的水资源量等等，因此是一个较为复杂的过程。本书写作的主要目标即是为北方地区主要农作物灌溉用水定额的制定提供先进的理论体系和充足可靠的基础数据。

本书是以水利部南水北调规划设计管理局（下称调水局）下达的研究项目“北方地区主要农作物灌溉用水定额的研究”的研究成果为基础编撰而成的。根据调水局提出的“北方地区水资源总体规划第一阶段工作大纲”的要求，专题研究项目“北方地区主要农作物灌溉用水定额的研究”的考虑范围为黄河、淮河、海河流域和西北内陆河区域，重点是黄河、淮河和海河流域，其中重中之重是华北地区。研究的主要目标是搞清楚这些地区（即规划的南水北调工程的主要服务区域）农业生产的水分供需现状及未来的发展需求趋势，为南水北调工程的科学论证及以后的规划、设计和管理提供必要的基础数据。专题的主要任务是以已有的研究成果为基础，通过系统的研究和分析，为回答以下一些问题提供必要的理论模式和基础数据，包括：作物正常生长需要多少水？自然降雨能供给多少水？有多少水需要通过灌溉来补充及需要在什么时候补充？各种节水工程的田间灌溉效率是多少？各类非工程节水措施的节水潜力有多大？在供水不足条件下如何使有限水量得到最大效益的利用？作物缺水量在区域内的分布状况如何？等等。

本书的作者均系项目的主要完成人。在项目的实施和本书的编撰过程中，作者广泛吸收了国内外有关作物需水量与灌溉用水定额制定方面的最新研究成果，系统地阐述了作物灌溉用水定额的确定方法，详细介绍了参考作物需水量、作物系数、有效降水量、地下水利用量等方面的最新研究进展和计算模式，保证了书稿的系统性和先进性。

本书的编写立足于为北方地区主要农作物灌溉用水定额的制定提供理论基础与数据保障。因此在确保书稿具有较强的理论性和系统性的基础上，还充分考虑了北方地区农业生产的现状与需求，比如考虑了灌水方式及灌区类型的多样化，非工程节水措施的广泛应用，以及实施非充分灌溉的迫切需要等，最终将灌溉需水量确定为田间出水口处需要放出的水量，从而增强了书稿内容与生产实践需要的联系。书中所介绍的作物灌溉用水定额的确定方法与模式，以及提供的大量基础数据，对于正在我国北方地区广泛开展的水资源总体开发利用规划和节水灌溉活动均具有十分重要的指导意义。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

全书共分九章。第一章“作物灌溉用水定额的主要影响因子及确定方法”，详细论述了确定灌水定额所要考虑的因子以及确定作物灌水定额所要采取的步骤和使用的方法。第二章、第三章、第四章和第五章分别为“参考作物需水量”，“作物系数”，“有效降水量”和“地下水利用量”，在广泛吸收国际上最新的研究成果和计算模式的基础上，详细论述了参考作物需水量、作物系数、有效降水量和地下水利用量的基本概念和计算模式，并利用1951～1998年共计48年的气象资料，以61个水资源三级分区代表点为基础，计算确定了黄河、淮河、海河及西北内陆河地区、20种（类）作物在4种水文年型（P＝25%，50%，75%和95%）下的作物需水量和缺水量值。第六章“非工程节水措施及节水潜力”，对目前生产上使用的非工程节水措施的节水效果进行了系统的总结分析，并以水资源三级分区代表点为基础，给出了各区域适宜的非工程节水技术模式及其节水潜力。第七章“不同灌溉方式的田间水利用系数”，以灌溉试验和典型调查数据为基础，结合北方地区各省区的统计数据，确定了目前生产上使用的主要灌溉方式和不同灌区类型下的田间水利用系数。第八章“作物用水量－产量关系模型”，根据过去的灌溉试验研究成果，为各三级区的主要作物选配了较为适宜的用水量－产量关系模型，包括全生育期用水量－产量关系模型和分生育阶段用水量－产量关系模型，为实施非充分灌溉制度，充分合理利用有限的水资源提供了依据。第九章“北方地区主要作物缺水量区域分布”，对北方地区主要作物的缺水量分布状况进行了系统的分析，不但分析了北方地区降水量、需水量及缺水量的变化规律，还分析了几个代表点逐旬缺水量的年内变化过程，以及不同作物之间缺水量的差异性。根据各三级区代表点的缺水量资料，本章还绘制了20种（类）作物的缺水量值在分析区域内的等值线图，可供北方地区进行灌溉工程的规划设计及水资源规划利用工作时查阅使用。

本书的主要读者对象为从事农田水利工程规划设计、区域水资源利用规划及灌溉水管理工作的科技人员，同时可供农业、地理、气象等有关专业领域的科研人员参考，还可作为高等院校农田水利工程专业的教学参考书使用。

在本书的撰写过程中，得到了许多同志的大力支持。他们或是对书稿的编写提纲提出了建设性的意见，或是对书稿进行了仔细的审查修改，或是主动承担了其它的工作以使作者能有更多的时间和精力投入书稿的写作。此外，在本书的编写过程中，还参考和引用了大量的国内外有关文献，使用了许多省区的灌溉试验资料和统计资料。作者深知，没有这些支持和帮助，书稿是不可能顺利完成并付印的。为此，作者在此向给予大力支持和无私帮助的人们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，加之时间仓促，因此书中难免有疏漏和不当之处，垦请读者同仁批评指正。

段爱旺

2004年5月18日

目　录

前　言

第一章　作物灌溉用水定额的主要影响因子及确定方法 …… (1)

第一节　影响作物灌溉用水定额的主要因子 …… (1)

一、气象条件 …… (1)

二、作物因子 …… (2)

三、降水状况 …… (3)

四、可利用水资源状况 …… (4)

五、灌溉系统状况 …… (4)

六、其它因子 …… (6)

第二节　确定作物灌溉用水定额过程的层次分解 …… (7)

一、作物在正常生长发育条件下需要多少水 …… (7)

二、自然生长条件下作物缺多少水 …… (7)

三、采用各类非工程节水措施后作物还缺多少水 …… (8)

四、为了将确定的作物缺水量均匀地灌至作物根区，需要调用多少灌溉水量 …… (8)

五、在资源性缺水时，如何合理调配有限的水量，使其取得最大的灌溉效益 …… (9)

第三节　确定作物灌溉用水定额的五个步骤 …… (9)

第四节　基础数据及其它材料的准备 …… (11)

一、北方地区区域划分及代表点的选择 …… (11)

二、作物种类的选择确定 …… (14)

三、作物生育时期的划分和起止日期的确定 …… (18)

四、气象资料的收集整理 …… (18)

五、其它资料的收集整理 …… (19)

第五节　确定北方地区作物灌溉用水定额的原则和方法 …… (19)

一、制定北方地区主要农作物灌溉用水定额的原则 …… (19)

二、利用各章提供的方法和基础数据确定作物灌溉用水定额 …… (20)

参考文献 …… (22)

第二章　参考作物需水量 …… (23)

第一节　作物需水量的定义与估算方法 …… (23)

一、作物需水量的定义 …… (23)

二、影响作物需水量的主要因子 …… (24)

三、作物需水量的估算方法 …… (26)

第二节　参考平面的选择与参考作物需水量的计算方法 …… (28)

一、参考平面的选择与参考作物的确定 …… (28)
二、参考作物需水量的估算方法与比较分析 …… (29)
三、参考作物需水量的新定义 …… (30)
第三节 计算参考作物需水量的彭曼-蒙特斯方法 …… (30)
一、彭曼-蒙特斯（Penman-Monteith）公式的推导 …… (30)
二、彭曼-蒙特斯公式中各参数的计算 …… (32)
三、参考作物需水量对气象要素的敏感性分析 …… (35)
四、估算缺测的气象数据 …… (36)
第四节 彭曼-蒙特斯方法与修正的彭曼方法的对比 …… (38)
一、问题提出 …… (38)
二、计算公式的对比 …… (38)
三、计算结果的对比 …… (40)
四、计算结果间的相关分析 …… (41)
五、对比分析结论 …… (42)
第五节 北方地区各代表点参考作物需水量的计算 …… (42)
第六节 典型年参考作物需水量的确定与年内分配 …… (44)
一、典型年降水量与参考作物需水量的确定 …… (44)
二、各代表点典型年降水量与参考作物需水量的年内分配 …… (45)
参考文献 …… (50)
第三章 作物系数 …… (52)
第一节 作物系数的变化规律 …… (52)
第二节 分段单值平均作物系数法 …… (53)
第三节 双值作物系数法 …… (56)
一、基本作物系数 K_{cb} …… (56)
二、土面蒸发系数 K_e …… (56)
第四节 计算方法的检验 …… (58)
第五节 北方地区各分区主要作物的作物系数计算结果 …… (60)
第六节 结论与建议 …… (80)
参考文献 …… (80)
第四章 有效降水量 …… (81)
第一节 有效降水量的定义及主要影响因子 …… (81)
一、有效降水的定义 …… (81)
二、控制有效降水的过程 …… (81)
三、影响有效降水的因子 …… (83)
第二节 有效降水量的估算 …… (85)
一、实时估算方法 …… (85)
二、经验公式法 …… (88)
三、北方地区各代表点有效降水量的估算 …… (92)
参考文献 …… (93)

第五章　地下水利用量 …… (94)
第一节　土壤水分运移通量模型的检验 …… (94)
一、试验材料与方法 …… (94)
二、WAVE 模型简介 …… (95)
三、WAVE 模型的验证和率定 …… (99)
第二节　根区底部通量的动态模拟 …… (103)
第三节　根区临界储水量（W_c） …… (104)
第四节　根区稳定储水量（W_s） …… (105)
第五节　地下水潜在上升补给通量（G_{max}） …… (106)
第六节　地下水补给通量（G）与根区土壤储水量（W）的关系 …… (107)
第七节　$G \sim W$ 关系检验 …… (108)
第八节　利用 $G \sim W$ 关系计算不同土质区地下水上升补给强度 …… (109)
第九节　结论与建议 …… (110)
参考文献 …… (110)
第六章　非工程节水措施及节水潜力 …… (111)
第一节　概述 …… (111)
一、非工程节水措施在农业节水中的地位 …… (111)
二、非工程节水措施的分类 …… (112)
三、非工程节水措施的应用作物种类 …… (112)
四、非工程节水措施的节水潜力分析方法 …… (113)
第二节　耕作保墒措施的节水潜力 …… (114)
一、耕作保墒措施的节水机理 …… (114)
二、耕作保墒措施的节水潜力 …… (115)
第三节　地面覆盖蓄水保墒措施节水潜力 …… (117)
一、秸秆覆盖蓄水保墒措施节水潜力 …… (117)
二、地膜覆盖保墒措施节水潜力 …… (121)
三、化学保墒措施节水潜力 …… (126)
第四节　节水栽培措施节水潜力 …… (127)
一、抗旱节水高产品种节水增产效果 …… (127)
二、科学施肥措施节水增产效果 …… (127)
三、模式化节水高产栽培措施节水潜力 …… (128)
第五节　化学制剂调控措施节水潜力 …… (130)
一、抗旱剂一号和翠竹牌生长素节水潜力 …… (130)
二、钙-赤（Ca－CA）合剂节水潜力 …… (132)
第六节　节水灌溉管理措施节水潜力 …… (132)
一、节水型灌溉制度节水潜力 …… (132)
二、调亏灌溉制度节水潜力 …… (134)
三、水稻科学灌溉节水措施节水潜力 …… (135)
第七节　非工程节水综合措施节水潜力 …… (138)

第八节　结论与建议 …… (138)
一、结论 …… (138)
二、建议 …… (140)
参考文献 …… (140)
第七章　不同灌溉方式的田间水利用系数 …… (143)
第一节　地面灌溉条件下的田间水利用系数 …… (143)
一、北方地区田间水利用系数试验结果及分析 …… (143)
二、北方地区各水资源三级分区田间水利用系数的确定 …… (149)
第三节　其它灌溉方式的田间水利用系数 …… (152)
一、改进地面灌条件下田间水利用系数试验与分析 …… (152)
二、喷灌条件下田间水利用系数试验与分析 …… (153)
三、微灌条件下田间水利用系数试验与分析 …… (157)
四、水稻节水灌溉条件下田间水利用系数试验与分析 …… (158)
五、膜上灌条件下田间水利用系数调查与分析 …… (160)
参考文献 …… (160)
第八章　作物用水量－产量关系模型 …… (162)
第一节　作物用水量－产量关系模型建立的理论基础 …… (162)
一、作物用水量－产量关系模型的基本概念与研究进展 …… (162)
二、作物用水量－产量关系模型的理论基础 …… (163)
三、作物用水量－产量关系模型的分类 …… (163)
第二节　主要作物全生育期用水量－产量关系模型 …… (164)
一、作物全生育期用水量－产量关系模型的特性分析 …… (164)
二、作物需水系数与用水量关系分析 …… (164)
三、作物产量、需水系数与用水量关系分析 …… (165)
四、北方地区主要作物全生育期用水量－产量关系模型 …… (166)
第三节　主要作物分生育阶段用水量－产量关系模型 …… (172)
一、分生育阶段用水量－产量关系模型应用概况 …… (172)
二、Jensen 模型 …… (172)
三、北方地区主要作物的 Jensen 模型 …… (173)
第四节　北方地区各三级区作物用水量－产量关系模型选配说明 …… (179)
一、建立作物用水量－产量关系模型的资料来源 …… (179)
二、各水资源三级分区作物用水量－产量关系模型的选配原则 …… (179)
第五节　利用作物用水量－产量关系模型确定非充分灌溉制度 …… (181)
一、优化配水模型的建立 …… (181)
二、模型中有关参数的确定 …… (182)
三、模型求解 …… (183)
参考文献 …… (183)
第九章　北方地区主要作物缺水量区域分布 …… (186)
第一节　年降雨量和参考作物需水量在区域内的变化趋势 …… (186)

第二节　几个代表点水分状况的年内变化……（188）
第三节　不同作物缺水量差异分析……（189）
第四节　主要作物缺水量在区域内的分布趋势……（191）
一、冬小麦……（191）
二、春小麦……（192）
三、春玉米……（192）
四、夏玉米……（193）
五、水稻……（193）
六、棉花……（193）
七、薯类……（194）
八、瓜类……（194）
九、果树类……（194）
十、蔬菜类作物……（195）
十一、苜蓿……（195）
十二、其它作物……（196）
参考文献……（196）

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第一章　作物灌溉用水定额的主要影响因子及确定方法

第一节　影响作物灌溉用水定额的主要因子

这里讨论的作物灌溉用水定额，系指自然条件下为满足作物正常生长发育需求，从而获得较好的产量或经济效益，需要在作物生育期间通过灌溉系统补充供给作物利用的水量。在水源丰富、供水系统完善便利的条件下，灌溉定额通常表达为充分满足作物生长发育对水分需求的前提下，在自然状态下作物全生育期需要通过灌溉系统人工补充供给的最小水量。在水资源严重短缺的条件下，灌溉用水定额则是能够实现作物用水效率最高（单位水量消耗生产最多的农产品）或有限水量产出总量最大（有限水资源量生产的农产品最多，或经济效益最大）时的灌水量。由于大多数灌溉作物在整个生育期间都可能需要多次灌水，因此作物灌溉用水定额不仅包含着作物整个生育期内总共需要灌多少水量的概念，同时也包含着这些水量在整个生育期内如何分配的概念，也即作物灌溉用水定额表达的是作物整个生育期内需要通过灌溉系统总共补充供给多少水量，以及各个不同生育阶段分别需要供给多少水量。

灌溉的主要目的是在自然供水不能满足作物正常生长发育需求时为作物提供生长发育所需的水分，从而保证作物能够正常的生长，以获得较好的农产品产出量。因此灌溉用水定额的大小主要取决于两个方面，一是作物正常生长发育需要多少水量，二是作物生长所处的环境条件能够为作物供给多少水量。两者之差值是决定作物灌溉定额大小的主导因子。当确定了这一差值后，还需要调用足够的水量，并通过适当的灌溉系统才能将作物需要的水分适时、适量地输送至适当的地点，满足作物生长发育的需求。因此，是否有足够的水量满足区域所有作物的供水需求，以及采用什么样的灌溉方式和灌溉系统把作物需要的水量均匀地灌至所有田块也在一定程度上影响着作物灌溉用水定额的大小。

适宜的灌溉用水定额受作物内在水分需求与外部水分供应状况两方面的共同影响。与此同时，灌溉过程需要人为加以控制，是整个农业经营活动的一个有机组成部分，因此作物灌溉用水定额也在一定程度上受到诸如工程类型与管理状况，以及投入产出关系等因素的影响。下面即对影响作物灌溉用水定额的一些主要因素作简要分析。

一、气象条件

作物正常生长发育条件下的需水量在很大程度上取决于作物所处的外部气象条件。气象条件决定着作物需水量的潜势，即作物没有受到任何水分胁迫时最多需要多少水，而其它因子则决定着这种作物需水潜势的实现程度。影响作物需水的气象因子主要有太阳辐射、气温、空气湿度和风速。

1. 太阳辐射

作物通过根系从土壤中吸收水分，最后通过叶片上的气孔将水汽散失到外部环境之

中，这一过程将矿质营养从土壤中携带并输送到植株体各个部位，满足作物生长发育所需；与此同时也把多余的辐射能量带走，为植株生长发育提供适宜的温度条件。作物从土壤中吸收的水分，几乎全部都通过叶面气孔散失掉了，因为用于建造自身机体的水分尚不足总吸收量的1%。作物蒸腾过程中水分由液态转化为汽态所需的能量主要来自于太阳辐射。太阳辐射越强，作物的蒸腾速率越高。只有在太阳辐射过强，作物根系的供水速率满足不了叶面蒸腾需求，造成叶片气孔开度减小甚至关闭，蒸腾速率才会有所降低。但在供水正常条件下，这种状况一般只在很短的时间内出现。

在正常耕作的田间，与作物蒸腾过程相伴的另一个水分散失途径是通过土壤表面的水分蒸发过程。蒸发过程中从液态的土壤水转化为水蒸汽所消耗的能量也主要来源于太阳辐射。在土壤表面湿润的情况下，土壤蒸发过程的强度主要取决于太阳辐射的强度，这种状况会一直持续到土壤贮水状况成为土壤蒸发的限制因素为止。

可用于作物蒸腾蒸发过程的太阳辐射量受所处的地理位置、一年中的季节、实际日照状况等因子的影响。这些因子也通过对太阳辐射量的影响而对作物需水量产生影响。

2. 温度

温度与太阳辐射量高度相关，因而与作物需水量的相关程度也很高。许多分析结果表明，作物需水量与气温呈线性或指数关系。但也有研究表明，温度对作物蒸腾蒸发量的影响并非完全通过太阳辐射而间接起作用。温度与作物的一些代谢过程的强弱密切相关，在一定的范围内，温度越高，代谢越快。日本的一些研究者给出的研究结果表明，在植株冠部蒸腾环境保持不变的情况下，根温的迅速降低会导致蒸腾速度迅速下降，而根温恢复原初状态后，蒸腾速率也恢复至正常。可见温度在作物蒸腾过程中也起着重要的作用。

3. 空气湿度和风速

根据气体扩散的有关定律，水汽扩散速率与存在的水汽浓度梯度成正相关，与水汽扩散过程遇到的阻力成反相关。空气湿度主要与驱动水汽扩散的水汽浓度梯度相关。空气湿度低时，叶面与大气之间的水汽梯度就大，水汽扩散速率高，蒸腾量增加。在这样的条件下，棵间蒸发量也会增加。蒸腾蒸发量都增加，作物需水量会相应变大。反之，空气湿度高时，蒸腾量、蒸发量及作物需水量都会降低。

风速与水汽扩散过程中阻力的大小相关，对蒸发蒸腾过程的影响也主要是通过对水汽扩散阻力的影响实现的。风速越大，水汽扩散阻力越小，蒸发蒸腾过程越强。风速降低，蒸发蒸腾速度也相应降低。但这种关系只适于一定的范围，风速太大时，气孔开度会减小，甚至完全关闭，使蒸腾减少或完全停止。这一调节过程是由植株的生理过程控制的。

在实际的蒸腾蒸发过程中，上述各因子的作用往往是结合在一起共同表现出来的。某一时间或地点，某一因子可能起主导作用，而另一时间或地点则可能是其它因子的影响更为显著。实际估算气象条件对作物需水量的影响时，常常将上述各因子综合在一起加以考虑，将气象条件所决定的作物需水程度用大气蒸发力的概念来表示。大气蒸发力表示的是完全由气象条件所决定的蒸腾蒸发能力，是一种潜势值。

二、作物因子

蒸腾过程是通过植株体的水分散失过程，其强度和数量与作物的生长发育状况密切相关。蒸发过程虽然主要在作物棵间进行，与植株的生理过程没有直接关系，但其水分散失

强度和数量受作物生长状况的影响也很大。因此，正常条件下作物需水的多少与作物本身的生长发育状况有着密切的联系。

不同种类作物的需水模式和绝对数量的差异表现在许多方面。一是不同作物的生育过程所处的时期不同，如有的主要在冬春生长，有的则主要在夏秋生长。不同的环境条件使得需水量出现较大差别。二是不同作物生存所要求的水分环境不同，有的作物耐旱，可以在缺水条件下生长，有的作物则喜湿，要求在较湿润的条件下种植，这会造成需水量的很大不同。三是不同作物的需水特性有明显差异，比如小麦、大豆等 C_3 作物与玉米、谷子等 C_4 作物相比，日需水过程就具有较大的差异。C_3 作物日出后蒸腾速率便迅速增加，很快达到较高数值，并在日落前仍保持在较高的水平。C_4 作物蒸腾速率的迅速增加出现在11时左右，到16时则急剧下降，峰值明显比 C_3 作物要窄。表现在作物生长盛期的平均日需水量上，C_3 作物要比 C_4 作物高一倍多（见表1－1）。

表1－1　不同类型作物生长盛期的日需水量

作物种类	作物名称	生育阶段	平均日耗水量（mm）		最大日耗水量（mm）	
			耗水量	平均值	耗水量	平均值
C_4	玉米	抽雄期	4.4	5.1	8.1	8.3
	谷子	灌浆期	5.7		8.5	
C_3	小麦	灌浆期	10.7	11.2	14.9	17.4
	大豆	开花期	11.2		14.6	
	棉花	结铃期	11.7		22.6	

注：引自中国科学院禹城综合试验站测定结果。

同一种作物不同生育时期的需水量也有很大差异，主要表现在两个方面。一是需水量的组成结构明显不同。对于大多数一年生作物，在生长开始时棵间土面蒸发量在总蒸腾蒸发量中所占比例通常很高。随着植株生长，作物群体不断加大，叶面积指数迅速增加，对土壤表面的遮荫度增加，使得投射到棵间土壤表面的辐射能迅速减少，棵间蒸发所占比例也迅速下降。作物对地面形成完全覆盖后，蒸腾量要远远超过蒸发量，成为总蒸腾蒸发量的主要组成部分。二是需水量数值有较大差异。在排除了大气蒸发力变化的影响后，一年生作物的需水量与生育时期的关系非常密切。在作物生长初期，由于群体较小，尽管棵间蒸发量较高，总需水量并不大。随着作物生长，群体增大，叶面积增加，需水量也不断增大。完全覆盖地面后，需水量通常也达到最大。作物的叶面积指数通常能在很长一段时间内保持稳定，使得作物需水量在较长时间内保持较高水平。作物开始成熟后，叶片衰老过程加快，叶面积指数急剧下降，需水量也迅速降低。多年生作物由于群体比较稳定，所以生育时期对需水量的影响不象一年生作物那么强烈。只是象苜蓿等多次刈割的多年生作物，在刈割后到再次形成充分覆盖的一段时期内需水量会出现较大的变化。

三、降水状况

通常情况下，降水是自然生长条件下作物生长所需水分的主要来源，因此一个地区的降水状况在很大程度上决定着该地区作物在自然生长条件下的水分供给状况，因而对作物的灌溉用水定额有着决定性的影响。

在降水量稀少的西北内陆地区，作物生长所需的水分主要依靠灌溉供给。而在降水较多的一些南方地区，很多情况下降水基本可以满足作物正常的生长发育，只有在降水不足的短时期内，即季节性干旱期间或偶然发生的降水严重偏少的年份或时段才需要补充灌溉。我国北方的大部分地区情况介于两者之间，即作物整个生育期间有一定量的降水，但降水尚无法完全满足作物生长发育的需要。为了保证较好的产量或效益，需要通过灌溉系统为作物补充一定的水量。补充灌溉的时间和数量与降水状况有着密切的关系。

降水状况对作物灌溉定额的影响主要表现在两个方面。一是降水的数量，二是降水的分布状况。降水的数量决定着作物可供水量的多少，从而在很大程度上决定着需要通过灌溉系统为作物补充水量的多少。而降水的分布状况则决定着可供水量的时间分布状况，进而决定着作物需要通过灌溉补充水量的时间分布。

对于某种播种与收获时间都相对较为固定的作物来讲，作物生长发育所需的水量变化具有一定的规律性，并且年际之间的变化也相对较小。而降水则不然，不仅存在着季节之间的较大差异，而且年际之间也存在着巨大的变化。从多年统计的角度看，作物的灌溉定额是由作物需水状况与降水状况共同决定的，但作物灌溉定额年际之间的显著差异则主要是由降水状况的变异所引起的。

四、可利用水资源状况

确定作物灌溉定额时，作物需要补充灌溉多少水量是问题的一个方面，但是否有足够的水量可供利用则是问题的另一个方面。在各地农业水资源短缺不断加剧的情况下，可利用水资源的状况也是需要考虑的因素，并且正在变得越来越重要。

在可供调配利用的水量不成为制约因子的情况下，作物灌溉定额可以按照完全满足作物生长发育需要的条件来制定。在可供调配利用的水量无法完全满足作物正常生长所需时，就需要通过灌溉定额的制定对有限水量进行最为科学的调配。这种调配可以通过几种途径来实现：（1）部分作物或部分区域完全根据作物正常生长对水分的需求制定灌溉定额，而部分区域则完全不予灌溉；（2）每种作物都以水分利用效率（单位水量消耗的农产品产出量）最大为目标，制定相应的灌溉用水定额；（3）把可以实现水量自由调配的区域作为一个整体，以实现区域整体产量最高（或经济效益最佳）为目标，统筹制定区域内各种作物的灌溉用水定额。这几种作物灌溉定额制定策略各有其优点和局限：前两种策略易于制定和实施，但只考虑了局部的需求与利益，很难实现总体上的最优化；后一种策略虽然保证了总体上的最优，但制定过程过于复杂，并且在实践中要求对整个区域的灌溉过程都能实现良好的控制，包括对水源的总体调度与田间实际用水的量测与控制，在目前的土地分散经营与灌溉系统建设标准较低、管理粗放的实际条件下，具体操作实施的难度是相当大的。因此，各地在制定作物灌溉用水定额时，要首先对当地的农业水资源供需状况和灌溉管理状况进行系统的调研和分析，才能选择确定适宜的灌溉定额制定策略和方法，并制定出适宜的作物灌溉用水定额。

五、灌溉系统状况

根据作物正常生长发育时的需水状况及实际供水状况所确定的作物灌溉用水定额，还需要通过一定的灌溉系统输送至作物根区才能最后成为作物可以利用的水分，并被作物生

长过程所利用。不同的灌溉系统具有不同的运行特性，并且在灌溉过程中不可避免地要损失部分水量，所以灌溉系统状况也会对作物灌溉用水定额产生一定的影响。

灌溉系统状况对作物灌溉定额的影响主要体现在两个方面，一是对单次灌溉用水量的影响，二是对灌溉过程中水分损失率的影响。

目前应用的灌溉系统大致可以分为地面灌、喷灌和滴灌三大类型。喷灌和滴灌系统从水源到田间的输水过程一般通过管道进行。喷灌通过喷头将水分较为均匀地喷洒在田间，而滴灌则通过一个个滴头将水分直接输送到作物根部。由于喷灌和滴灌的出流强度都较小，所以可以较为方便地控制每次灌水的数量。严格意义上讲，利用喷灌和滴灌系统灌溉是可以不设定最小灌水定额的，因为即使很小的灌水定额也可以通过喷灌和滴灌系统较为均匀地输配至整个田间。但从系统经济运行的角度考虑，一般也为喷、滴灌系统设定一个最小灌水定额。喷灌系统的最小灌水定额一般设为 300 ~ 450m^3/hm^2。滴灌系统还要低些，在大田使用，最小灌水定额一般设为 150m^3/hm^2，而在温室中使用，最低灌水定额可设为 45 ~ 75m^3/hm^2，或不设最低灌水定额。

地面灌系统是通过渠道或低压管道系统将水分输至田间，然后通过畦或沟（少部分通过漫灌）分配至整个田块。由于地面灌溉系统的供水流量一般较大，加之灌水畦或沟均有一定的长度，因此需要灌入一定的水量才能保证整个田块都得到灌溉。此外，一套地面灌溉系统一般都要控制一定的面积，比如一眼井可能控制几公顷或十几公顷的耕地，而一条渠道则可能控制几十公顷至几百公顷。在这一控制区域范围内，各田块的灌溉一般需要实施轮灌，而一个轮灌周期可能需要 5 ~ 10 天，甚至更长。这就意味着每隔 5 ~ 10 天或更长时间，一个田块才能再次得到灌溉。为了保证前后两次灌溉间隔时期内作物有足够的水分供应，也要求每次灌水都要灌溉一定的水量，即地面灌溉系统需要设置最小灌水定额。对于单井控制面积较小、轮灌周期较短的井灌区，最小灌水定额可设置为 450 ~ 600m^3/hm^2；而对于灌水流量大，轮灌周期长的渠灌区，最小灌水定额可设置为 750 ~ 900 m^3/hm^2。

最小灌水定额的设置可以对通过作物需水状况和自然条件供水状况确定的作物灌溉用水定额进行必要的约束。这种约束在喷灌和微灌条件下作用不太明显，但对于地面灌溉系统而言就显得十分重要。比如在井灌区，如果作物生育期内只需要灌溉一次，则灌溉用水定额不应低于 600m^3/hm^2；如果需要灌两水，则灌溉定额不应低于 1 200m^3/hm^2。而对于自流引水的渠灌区，相应的灌一水和灌二水，灌溉用水定额应分别不低于 750 ~ 900m^3/hm^2 和 1 500 ~ 1 800 m^3/hm^2。

水稻田的灌溉，特别是在有水层情况下的灌溉，由于较小的水量也可以较为均匀的分布于整个田间，所以灌水定额下限需求不是太明显。水稻田的灌溉用水定额基本上可以按照作物需水和正常的水层管理需要设置。

灌溉系统状况对作物灌溉用水定额的影响主要体现在系统的用水效率上。灌溉系统从水源处引水，经过一系列的渠道或管道将水输送到田间入水口处（或喷头、滴头处），再经过田间灌水畦或沟（或是通过喷头和滴头）分配至整个田间，这一过程中有多个环节存在着水量损失，包括渠道渗漏，渠系建筑物漏水，水面蒸发，沿途植被耗水，以及田间灌水过程中的深层渗漏、跑水漏水和漂移损失等。

在整个灌溉过程中，灌溉水量的损失率受多方面因素的影响。不同的灌溉系统水量损失率有着很大的差异。对于渠道输水灌溉，输水过程长，基质透水性强，输水过程中的水

量损失率就会很高。通过衬砌，渠道的输水损失率会显著降低，如果将渠道输水改为管道输水，则输水损失率还可以大幅度降低，并控制在很低的水平上。在田间灌水环节上，灌水畦过长过宽常会造成灌溉水大量损失，而长畦改短畦、宽畦适当改窄畦，以及长沟改短沟，都可以有效的提高灌水效率，减少灌溉过程中的水量损失。近些年，一些改进地面灌溉的技术得到大面积应用，像水平畦田灌，膜上灌，格田灌等，加之喷灌和微灌技术的应用，大大提高了田间灌溉均匀度，也使田间灌溉过程中的水量损失有了显著的降低。

根据作物需水量与自然条件下实际可供水量的平衡关系，可以确定维持作物正常生长发育条件下需要通过灌溉活动补充的水量，称之为充分灌溉需水量；如果考虑水资源供给量及灌溉投入产出关系的限制，可以确定最优化的灌溉补充水量，称之为最优灌溉需水量。只根据作物需水与自然供水确定的灌溉需水量，无论是充分灌溉需水量，还是最优灌溉需水量，都是一个理想的数值。而为了将这一水量均匀地分布在作物能够吸收利用的根系活动层中，必须在田间入水口处引入多一些的水量，而在水源处的引水量还要更多，这样才能补偿在输水和田间配水过程中的水量损失，保证有足够的水量能够灌至作物根系活动层中。在田间入水口处需要多引进多少水量，与田间配水过程效率有着密切的关系。田间入水口处需要引入的水量与田间需要实际灌入的水量成正比，而与田间水利用系数成反比。而在水源处需要引入的水量，除了决定于田间入水口处需要引入多少水量外，还与输水系统的输水效率密切相关。水源处需要引用的水量等于田间入水口处需要引入的水量除以渠系输水效率所得的值。

六、其它因子

作物灌溉用水定额是水分需求与供给平衡的结果，前面已经做了较多的分析。在正常情况下，由气候条件所决定的蒸发潜势和由作物本身特性和生长状况所决定的作物因子共同决定着作物的需水状况，而生育期的降水特性则决定着自然条件下的作物供水状况。但在一些特殊的情况下，作物的水分供需状况会因所处的环境条件或采取的耕作栽培措施而得到某种程度的改变，从而对作物的灌溉用水定额产生一定的影响。

灌溉方式的改变和地面覆盖措施的使用是有可能影响作物需水状况的两个重要因子。过去的灌溉试验工作基本上都是在均匀供水条件下开展的，因此无论是参考作物需水量，还是作物系数的确定都是以均匀供水条件为基础进行的。新的灌溉方式的研究开发，特别是以滴灌为代表的局部灌溉及地下灌溉的实际应用，使得这种基础发生了一定程度的变化。局部灌溉在供水时只湿润部分地表，使得棵间蒸发量显著降低。而地下灌溉在良好的管理条件下，可以大大减少地表湿润的程度与时间，从而有效地减少了棵间土壤蒸发。地面覆盖措施可以有效地阻断土壤表层水分向大气的扩散，也能够有效地减少棵间土壤蒸发量。与传统的耕作模式和灌溉方式相比，新的灌溉和耕作方式明显减少了棵间土壤蒸发量，也使得作物总的需水量明显降低。改变供水方式和采用地表覆盖措施后，作物需水量减少的数量，与作物的生育时期、灌溉系统布设方式、采用的覆盖材料与覆盖程度有着密切的关系。一般情况下，作物需水量的减少幅度在生育初期要大于生育后期，在稀植作物上要大于密植作物，在地膜覆盖条件下要大于秸秆覆盖条件。

土壤贮水利用和地下水补给是改变作物水分供给状况的两个主要方面。土壤是一个良好的贮水体，能够有效地对分布严重不均的降水进行调节，然后较为均匀地供给作物利

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com