

BEIFANG XIANDAINONGYE
GUANGAI GONGCHENG JISHU



北方现代农业 灌溉工程技术

邵正荣 吴矿山 薛 桦 刘春晖 编著



黄河水利出版社

北方现代农业灌溉工程技术

邵正荣 吴矿山 薛桦 刘春晖 编著

黄河水利出版社

内 容 提 要

我国北方地区农业发展与干旱缺水的矛盾愈来愈突出,充分利用各种水资源、发展节水灌溉在北方地区人口、资源、经济、生态环境协调发展中将起到举足轻重的作用。本书的主要内容有:人水和谐,节水灌溉建设途径及管理,区域水土资源平衡与评价,黄河流域大型灌区节水改造重点布局与对策,管道输水工程技术,渠道防渗工程技术,果树节水灌溉技术,节水灌溉综合技术体系,旱区雨水集蓄与雨水高效利用技术,劣质水资源化高效利用技术,地面灌溉节水技术,工程量和概(估)算,经济分析和环境评价,项目管理与建后管护等。本书可供从事农田水利工程、灌区管理、水利工程规划设计等工程技术人员使用,也可供大中专院校师生在教学、科研工作中学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

北方现代农业灌溉工程技术/邵正荣等编著. —郑州:
黄河水利出版社,2008.8

ISBN 978 - 7 - 80734 - 468 - 1

I. 北… II. 邵… III. 灌溉 - 水利工程 IV. S274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 110574 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail:hhsllwlp@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsllcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:23

字数:550 千字

印数:1—1 500

版次:2008 年 8 月第 1 版

印次:2008 年 8 月第 1 次印刷

定价:45.00 元

前 言

新中国成立以来,我国农田灌溉事业蓬勃发展,取得了显著成绩。但随着工农业用水、城乡用水的日益增加,灌溉用水管理粗放,水的有效利用率不高,工程不配套,老化失修严重,泥沙淤积问题突出,水质污染日趋严重,管理机构体制不顺、机制不活等,都给我国农田水利发展提出了新的要求。特别是我国北方地区,急需从人口、资源、经济、生态环境协调发展的高度,确定新的发展目标和思路。本书是在新的治水思路的提出、形成和不断完善的条件下,结合水资源合理规划配置,提出了符合我国北方地区实际情况的现代农田水利发展体系。

我国北方地区农业发展与干旱缺水的矛盾愈来愈突出,使人们对节水的重要意义认识逐步深化,充分利用各种水资源、发展节水灌溉在北方地区人口、资源、经济、生态环境协调发展中将起到举足轻重的作用。在节水灌溉科学研究、普及和推广中,在节水灌溉技术、节水机理、节水灌溉制度、水资源合理利用、配套农艺措施和管理措施等方面,形成了符合我国国情的节水灌溉技术体系,积累了大量的成果和经验。本书融合了作者多年的生产实践、教学研究、经验总结,同时吸取许多国内外节水技术文献资料的精华。

本书由邵正荣、吴矿山、薛桦、刘春晖编著,在编写人员的共同努力下,经多位专家的修改完善完成。本书可供在县级及县级以上从事农田水利工程技术工作的人员使用,也可供大中专院校师生在教学、科研工作中学习参考。

本书具有如下特点:一是内容全面,涵盖了适合我国北方地区现代农田灌溉的工程技术、管理技术,并编入了环境评价和项目管理及建后管护等内容;二是技术先进,全面总结了适合我国北方地区农业灌溉的成熟经验和最新成果;三是实用性强,力求从实战出发,易学易懂,使读者在学习中有身临实战的感觉,掌握基本技能,达到事半功倍的效果。

在编写过程中,承蒙许多同志审阅和提供资料,特别是中国水利水电科学研究院的刘群昌、刘文朝,中国灌溉排水发展中心的吉晔,山西水利职业技术学院的李永平、李雪转、李庆东等同志,为本书的顺利出版做了大量工作,谨在此一并表示衷心感谢。另外,还参考和利用了许多国内外文献资料,在此对这些文献资料的作者表示衷心感谢!限于编著者水平,本书可能存在疏漏和错误,恳请读者批评、指正。

作 者

2008 年 5 月

目 录

前 言

第一章 水	(1)
第一节 生命对水的依赖	(1)
第二节 水和农作物关系	(3)
第二章 节水灌溉建设途径及管理	(6)
第一节 节水灌溉潜力分析	(6)
第二节 灌溉水利用率目标值与实现途径	(8)
第三节 提高水分利用效率的途径与措施	(10)
第四节 不同灌溉类型区高效农业建设途径	(14)
第三章 区域水土资源平衡与评价	(18)
第一节 概 述	(18)
第二节 区域水资源状况和可供水量分析	(20)
第三节 用水定额及需水量分析	(33)
第四节 水土资源平衡及评价	(37)
第四章 黄河流域大型灌区节水改造重点布局与对策	(48)
第一节 概 况	(48)
第二节 大型灌区在国民经济和社会发展中的地位与作用	(49)
第三节 大型灌区现状及存在问题	(50)
第四节 节水改造潜力分析	(60)
第五节 节水改造目标与任务	(65)
第六节 节水改造战略布局	(66)
第七节 节水改造措施与对策	(79)
第八节 节水改造工程技术投资需求及效益分析	(83)
第五章 管道输水工程技术	(88)
第一节 管道输水灌溉系统的类型及特点	(88)
第二节 管道输水系统的主要设备	(90)
第三节 管道输水工程规划设计	(103)
第四节 井灌区低压管输水灌溉工程设计实例	(113)
第六章 渠道防渗工程技术	(119)
第一节 渠道防渗工程技术的类型及特点	(119)
第二节 渠道防渗工程防冻胀措施	(126)
第三节 渠道防渗工程规划设计	(128)
第七章 果树节水灌溉技术	(148)
第一节 果树的需水量及灌水时期	(148)

第二节 果树的节水灌溉技术	(153)
第八章 节水灌溉综合技术体系	(159)
第一节 节水灌溉综合技术体系的内涵	(159)
第二节 海河平原区引黄补源区节水灌溉综合技术体系及其应用效果	(159)
第三节 黄土丘陵缺水區节水灌溉综合技术体系及其应用效果	(162)
第四节 海河平原严重缺水區节水灌溉综合技术体系及其应用效果	(167)
第九章 旱区雨水集蓄与雨水高效利用技术	(171)
第一节 中国雨水资源化利用分区与模式	(171)
第二节 新型高效雨水资源集蓄利用形式与新材料	(178)
第三节 旱作农业集雨补灌技术	(188)
第十章 劣质水资源化高效利用技术	(196)
第一节 污水处理与污水灌溉技术	(196)
第二节 咸水开发及农田灌溉利用技术	(207)
第三节 多泥沙水的输送与高效利用技术	(216)
第十一章 地面灌溉节水技术	(232)
第一节 地面灌溉节水技术的分类及特点	(232)
第二节 节水型畦灌技术	(237)
第三节 节水型沟灌技术	(245)
第四节 膜上灌灌水技术	(251)
第五节 波涌灌溉技术	(256)
第六节 地面灌溉的质量评价	(262)
第十二章 工程量和概(估)算	(267)
第一节 工程量的计算	(267)
第二节 节水灌溉项目建设设计程序及投资编制	(270)
第三节 节水灌溉工程概算文件编制及投资估算	(273)
第四节 初步设计概算编制	(279)
第五节 实例计算	(296)
第十三章 经济分析和环境评价	(302)
第一节 灌溉节水量计算分析	(302)
第二节 经济分析原则与方法	(311)
第三节 国民经济评价与财务分析	(313)
第四节 技术经济指标	(330)
第五节 环境评价	(332)
第十四章 项目管理与建后管护	(343)
第一节 项目管理	(343)
第二节 项目管理的基本要求	(350)
第三节 节水灌溉工程管理体制和运行机制	(356)
参考文献	(361)

第一章 水

就太阳系来说,地球是唯一有生命的星球,非常重要的原因是地球上存在着水。地球的表面被近 71% 的汪洋大海覆盖着,若从地球的外层空间看地球,地球是一颗闪耀着蔚蓝色光辉的美丽球体。

水随温度的变化而发生相态变化,温度低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时水结冰呈固态,温度在 $0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水呈液态,温度超过 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时水化为蒸汽呈气态。在太阳系行星中,除地球其他行星的温度都趋于极端,不是星际太空冷到近“绝对零度”的严寒,就是星球内部热到几千万摄氏度,因此宇宙间几乎所有的物质也就形成为不是熊熊燃烧的气体就是结了冰的固体。只有地球上存在着液体的海洋,这是因为地球表面温度的变化范围比较狭窄,大部分地区都保持在 $0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。

液体水的特性好像是专门为了使生物能在地球上生存而设计的。液体水的热容量很大,具有不同寻常的和非凡的储热能力,把辽阔的海洋变成了一个巨大无比的蓄热和放热库,使地球上夏天不致太热,冬天又不会太冷,特别适合于生物的生存和繁衍。

液体水不同于其他液体,凝固时不会收缩,而是相反,在结冰变为固体时体积却膨胀 9%,比重轻于液体水,可以漂浮在水面上不下沉;形成连续的冰盖后,不但本身能容易获得大量的光和热,还可阻挡和减缓冷能向水下传递,使其本身的扩展受到限制,这就是为什么在地球最为寒冷的南北极地区,海洋深处不能冻结,海洋生物冻不死并较为活跃的根本原因。

液体水是世界上最好的溶剂,它比任何已知液体能够溶解的物质都要多,水又是自然界物质能量迁移和转化的主要介质。在人体组成中,水是主要成分。对于海洋和陆地生物来说,水是不可缺少的。

第一节 生命对水的依赖

一、水是生命之源

海洋是地球生命的摇篮和母体,人类祖先的进化进程经历了无脊椎动物、鱼类、两栖类、爬虫类和哺乳类的发展阶段,然后由哺乳类动物的分支——灵长类中的猿进化到人类。人类在生命过程中,尤其是在胚胎发育过程中,并未“忘本”,而是用遗传密码在极其短暂的时间里,复制和再现了这一漫长进化发展过程的各个主要阶段。生命的“胚胎”是在海洋中孕育和演化的,人的胚胎发育过程同样也离不开“海洋”,这个海洋就是母体子宫中的“羊水”。胚胎从受精卵开始一直到脱离母体前,全部在子宫的“海洋”——羊水里游泳,它是生命没有忘记本身处于海洋的标志。

人的胚胎发育到大约一个月时,形状像鱼,四肢像鳍,颈的两侧有鳃沟。大约到两个

月时,胚胎发育成了一条类似两栖类和爬行类那样的由 10 个尾椎骨组成的尾巴。到三个月时,这条尾巴才开始退变,剩下几个尾椎骨接合起来形成的尾骨,并被隐蔽在臀部的折缝中,外表就看不到了。到五六个月时,人们的胚胎就像其他哺乳动物一样,全身除手掌外都长满了细而浓密的毛发,这种称为“胎毛”的毛发在七个月时最为发育。胎毛的排列方式在很大程度上颇像高等猿类,绝大多数胎毛在孩子出生前或出生后不久就消失了,被粗而稀疏的毛发所代替。

二、生命离不开水

原始生命起源于水(海洋),生命的组成和生命过程,不管是水生生物还是陆生生物,无论是动物还是植物,都离不开水。水的生物学意义在于,它是有机体最重要的组成部分和任何新陈代谢不可缺少的物质,生物体的物质运输和发生的一切生物学变化都离不开水。

在海洋中孕育生长的生命胚胎,同时把海洋的成分和海洋的灵秀也植入到生命之中,并一直遗传到今天。人体内部都流淌着与海水成分近似的血液和肌体中含有的大量水分,构成了体内的“海洋”,它毫不停息地流动着、工作着,差不多经历了 10 亿~15 亿年之久,直到距今 3 亿~4 亿年前,生命才从海洋走向陆地,生命如此长时间的海洋生活,使所有迁移到陆地上的生物,都把其诞生地的海水带到了自己体内,且世代相传。人类也不例外,人类血液中的化学成分非常接近海水,见表 1-1。

表 1-1 海水和人类血液中溶解化学元素的相对含量 (%)

元素	氯	钠	氧	钾	钙	其他
海水	55.0	30.6	5.6	1.1	1.2	6.5
人类血液	49.3	30.0	9.9	1.8	0.8	8.2

人类血液的含盐量为 10‰,比现代海水平均的含盐量(30‰~50‰)低,但却比含盐量低的波罗的海高。这是因为原始生命在海洋里刚刚诞生时,原始海洋的含盐量要比现代海水的平均含盐量低得多,海水变咸,是亿万年来江河把陆地盐分逐渐带进海洋的结果。因此,人类血液的含盐量比现代海水低,可能更符合和接近当时人类远祖登陆时的海水含盐量。当人体因某种疾病而大量失水时,医生常为患者注射含 0.9% 氯化钠的生理盐水,这也决非偶然,因为现代最淡的波罗的海中部上层海水的氯化钠含量就是这个水平,每升水中含有 8.5 g 氯化钠。另外,在炎炎夏日,从事体力劳动或进行激烈体育比赛而大量出汗,由于盐分也随汗水排出,因而,也要喝些淡盐开水,向人体“海洋”中补充盐分。

在组成生物体的成分中,水占的比例最大,据测定,植物体内的含水量一般为 60%~80%,有的高达 90% 以上。动物体内的含水量也大致类似,鱼类体内的含水量为 70%。人的胚胎发育到 3 天时,所含水量达 97%,发育到 3 个月时,含水量为 91%;到 8 个月时含水量为 81%;新生儿的含水量为 80%,一岁时的含水量已和成人差不多,成人的含水量为 65%。

生物在生命活动过程中都离不开水。在人体内部的“海洋”中,血液在心脏的推动下不停地流动循环着。一颗健康的的心脏,每分钟泵出 3.5 ~ 5.5 L 血液,由上计算,一个活到 60 岁的人,一生中通过心脏压出的血液就有 15 万 m^3 之多!成年人的肾为排除体内的有毒和残余的物质,每昼夜要过滤大约 2 m^3 的血液,就是说一昼夜通过肾的血液量,是全身血液的 360 倍,或是肾每两分钟就可将全身的血液过滤一次。

生物体内的水分在不停地运动着,也在不断地消耗着,需要随时加以补充。在正常情况下,成年人每天需要补充 2.5 kg 的水,一个活到 60 岁的人,一生中喝掉的水就有 65 t! 一个健康的人,在正常情况下,体内的水分处于平衡状态,即补充到体内的水分与排出体外的水量相当,若体内的水分一旦失衡,就会发生严重后果。例如体内的水分不能正常排出,就会泛滥成灾,身体出现浮肿;如果人体内的水分比正常量减少 1% ~ 2% 或 0.5 ~ 1 L,就会感到口渴;当减少 5% 或 2 ~ 5 L 时,人的皮肤就会起皱,口腔干涸,意识模糊;当人体失水 14% ~ 15% 或 7 ~ 8 L 时,生命就无法维持,人就会死亡。当人饥饿或不能进食时,只要有足够的水分,就可勉强维持生命。科学家观察和灾难实例证明,成年人在断粮不断水的情况下,可以忍耐 40 天之久;而在断粮又断水的情况下,至多能忍耐 3 ~ 7 天。水在人体内是以溶剂形式存在的,食物中的许多成分由于能溶于水而被人体吸收,而废物又需要通过水排泄出体外,没有水生物体就不能进行新陈代谢和吐故纳新,生命即宣告结束。

第二节 水和农作物关系

水和农作物的生长发育有着极其密切的关系,这是因为水是农作物生理活动的必备条件,水对农作物的生活环境也有着直接或间接的影响。

一、水与农作物生理活动的关系

(一) 水是作物体的重要成分

作物体内含有大量的水,通常占鲜体重的 60% ~ 80%,蔬菜体重的 90% 都是水。作物体内只有水分充足时才能保持其固有的形态,植株挺立,叶片舒展,有利于接受阳光照射和与周围环境进行气体交换,进行旺盛的生理代谢活动。

(二) 水是作物制造有机质的重要原料

作物的生长过程就是作物体内有机质积累的过程。这个过程是靠作物叶片的光合作用完成的,作物叶片好比是一座光合作用的工厂,叶绿体是这座工厂中的机器,太阳光是开动机器的动力,而水和二氧化碳则是光合作用的原料,加工生产出来的产品是以淀粉为主的有机物质。淀粉在酶的作用下转变为脂肪,在无机盐的参与下合成蛋白质,所有这些过程都离不开水。

(三) 水是作物所需养料的溶剂

第一,作物种子里贮藏的供种子发芽和幼苗生长所需的营养物质,只有在被水溶解后才变得有效,所以种子萌发期不能缺少水。第二,施入土壤中的肥料,只有被水溶解变为土壤溶液,才能被作物根系吸收并输送到作物体的各部位,保证作物的正常生长发育。第

三,作为光合作用重要原料之一的二氧化碳,也要首先溶解于水,以碳酸的形式渗入叶肉细胞内;同时,作物叶片通过光合作用形成的有机质,也要以水溶液状态向作物的消费器官和贮藏器官等各部分转移。可以形象地说,水是作物的“血液”。

(四)水是维持作物叶面蒸腾的必备条件

作物根系从土壤中吸取的水分,一小部分用做光合作用的原料,而绝大部分通过叶片的气孔以蒸汽的形式扩散到大气中去,这就是作物的蒸腾作用。蒸腾作用对作物生活有着重要意义。第一,蒸腾作用调节着作物体温,因为作物叶片大量接受阳光,体温不断升高,当高到一定程度就会使作物无法生活,而叶片的蒸腾可带走大量的热,使作物体温得到调节。第二,蒸腾作用还促进了作物体内水分和无机盐的上升流动。作物根毛吸水后通过根、茎、叶的导管输送水分,在导管中形成一股连续不断的水柱。叶片蒸腾,叶内细胞失水,就使导管的吸力加大,促使根毛不断从土壤中吸收水分。第三,叶片蒸腾时,气孔开启,对吸收二氧化碳制造有机物质也是有利的。

二、水与作物生活环境的关系

水对作物生活环境有着深刻的影响,它不仅影响着土壤环境,如土壤温度、空气和养分等状况,而且对农田的小气候也有一定影响。

(一)水与土壤温度的关系

作物生长发育需要一定的土壤温度条件,土壤温度过高、过低或急剧变化对作物生长发育都是不利的。土壤水分的多少对于土壤温度有着明显的调节作用。这是因为水的热容量比空气的热容量约高 3 300 倍,比土粒的热容量高 5 倍左右,水的导热率也高,比空气的导热率高 25 ~ 30 倍。在白天,湿润的土壤比干燥的土壤更能大量吸收太阳的辐射热,并将热量向土壤深层传导,表土的温度不会急骤升高;而在夜间气温下降时,湿润的土壤较干燥的土壤释放热量慢,而且深层土壤的热量又能较快地向上输送,这样表土的温度就不会急剧下降。但是,土壤过湿对土壤的温度状况是不利的。

(二)水与土壤空气的关系

土壤由固体、液体、气体三类物质组成,固体物质包括粗细不等的矿物颗粒、有机物质和微生物。在土壤颗粒之间的孔隙里充满水和空气,水来气去,水去气来,二者此消彼长。

为了保证根系很好地吸水吸肥和好气性细菌的旺盛活动,土壤中必须有良好的空气状况。所谓良好的土壤空气状况,主要应具备以下两个条件:

(1)要有一定的空气容量。一般认为,大田作物的生长需要空气容量在 10% ~ 15% (占土壤孔隙体积的百分数),若低至 5% ~ 6% 就要显著减产。棉花、玉米对土壤空气要求较高,最适宜的空气容量约为 30%,小麦要求较低,为 15% ~ 20%。

(2)要有适当的空气成分。①要有足够的氧气,以保证根系的生长和养分的吸收,这对于旱田作物和水田作物都是重要的。②二氧化碳的浓度不能过高,一般认为适宜浓度在 1% 左右,过高对根系原生质有毒害作用。③土壤水分过多的情况下容易产生过量还原气体,如 H_2S 、沼气、氢气等,这些气体对作物根系有毒害作用,阻碍根系生长。

(三)水与土壤养分的关系

土壤中水分过多或过少对于土壤养分状况都是不利的。土壤养分包括潜在养分和有

效养分两部分,以潜在养分占绝大部分,潜在养分只有在转化为有效养分后才能被作物所吸收。在土壤氧气充足的情况下,好气性微生物活跃,分解含氮的有机质,使潜在的养分转化为有效养分,供作物生长利用。反之,土壤中水分过多,会影响有机质的分解,造成有效养分供应不足。土壤水分过多,还会使土壤中矿物质养分随重力水流失。但是,土壤水分过少,土壤中有机质矿质化作用过强,消耗过快,不利于养分的保存和积累。且土壤水分过少时土壤溶液浓度过高,使作物根系吸水、吸肥困难。

(四) 水与农田小气候的关系

农田小气候是指接近地面 2 m 内的空气、温度、湿度、光照、风等气候状况,它是作物生长发育的重要环境条件。农田小气候与土壤水分状况有着密切的联系,在高温干燥季节,湿润的土壤由于水分的蒸发,可降低气温,增强空气湿度,调节农田小气候。

第二章 节水灌溉建设途径及管理

节水灌溉是节水农业的核心,应把节水灌溉作为一项革命性的措施来抓,使工程节水与农艺节水相结合,因地制宜地选择最适于本地区发展的节水灌溉技术。

第一节 节水灌溉潜力分析

一、农业发展对节水灌溉的需求

(一) 水资源偏少,受旱面积大

我国江河湖泊众多,流域面积在 $1\,000\text{ km}^2$ 以上的河流约为 $1\,500$ 条,水面面积大于 100 km^2 的湖泊有 130 多个。全国高山冰川约为 5 万 km^2 ,年补给河川的融水约为 500 亿 m^3 ,全国河川多年平均径流量约为 2.7 万亿 m^3 ,地下水约为 0.82 万亿 m^3 ,扣除河川径流量与地下水的重复水量,全国多年年平均水资源总量约为 2.8 万亿 m^3 。

受季风影响,降雨分布东南多、西北少,夏秋多、冬春少,且具有丰枯年相差悬殊的特点。东南沿海年降水量超过 $1\,600\text{ mm}$,而西北荒漠地区年降水量不到 200 mm ,最少的仅几十毫米。长江流域及其以南地区耕地面积占全国的 38% ,而河川径流量却占全国的 82% 以上,长江以北地区耕地面积占全国的 62% ,而河川径流量仅占全国的 18% ,京、津、冀人均地表水资源量不足 250 m^3 ,约相当于全国的 $1/8$ 和世界的 $1/32$,远低于国际公认的人均水量 $1\,700\text{ m}^3$ 即达到水资源紧张的标准。

由于我国水资源量相对偏少,加之时空分布及水土资源组合不匹配,以致缺水矛盾突出,并始终是制约农业生产发展的主要因素。这种水资源紧缺和水土资源的极不匹配,导致了我国旱灾频频发生,从东南到西北都需要不同程度的灌溉。目前,灌溉面积仅占全国耕地面积的 40% ,干旱缺水限制了灌溉,也限制了农业和农村的经济发展。随着国民经济的发展和人口的增长,干旱缺水状况还将不断加剧。据统计,从 1949 年到 1998 年,全国平均每年受旱面积为 3.24 亿亩 ^①,成灾面积 1.31 亿亩 ,分别占全国播种面积的 17% 和 7% ; $1988\sim 1998$ 年的 11 年,全国每年受旱成灾面积则达 $1.5\text{ 亿}\sim 2\text{ 亿亩}$,减少粮食 $100\text{ 亿}\sim 200\text{ 亿 kg}$,特别是改革开放 20 年来,随着我国经济建设的快速发展,全社会对水的需求量不断增加,水资源供需矛盾日益加剧,缺水由局部向全国蔓延,成为制约国民经济可持续发展的重要因素。

(二) 21 世纪初农业用水需求,主要靠内部挖潜解决

据有关部门估计,到 21 世纪 30 年代,我国人口将达到 16 亿,人口的增加和生活质量的改善,对粮食及其他农产品的供给提出了更高要求。农产品总需求与总供给面临着巨

① $1\text{ hm}^2 = 15$ 亩,下同。

大的压力和挑战,要满足如此巨大的需求,必须增加农业生产,由于我国耕地资源有限,因此,只能主要依靠提高单产来保证粮食安全。

我国水旱灾害十分严重,农业生产对水的依赖性极强。据水利部 20 世纪 80 年代初的调查,全国灌溉农田的水稻平均亩产为 486 kg,旱作物平均亩产为 300 kg,而非灌溉农田的平均亩产为 140 kg,灌溉农田的平均单产比非灌溉农田的高 1~3 倍。不难看出,灌溉是高产、稳产的保证,为满足粮食需求,灌溉面积应有所增加。由于新增面积需要增加用水,改善、提高现有灌溉面积的灌溉条件和保证率也需要增加用水,加之林果用水、畜牧用水、养殖用水等,需要增加大量农业用水,但可供水量有限;另一方面,随着工业的发展和城镇化建设的加快,农业用水不可避免地会被工业和城镇生活用水挤占一部分,这就决定了我国农业可持续发展必须走节水高效的道路。

要满足粮食需求,我国 2010 年灌溉面积应达到 8.5 亿亩,2030 年灌溉面积应达到 9 亿亩。按现有灌溉水有效利用率估算,需要分别增加灌溉用水量 300 亿 m^3 和 600 亿 m^3 ,如果考虑改善现有灌溉面积,提高灌溉保证率的用水,则 2010 年和 2030 年需要分别增加灌溉用水量 500 亿 m^3 和 800 亿 m^3 。

据分析,我国 2010 年和 2030 年的供水总量有望达到 6 700 亿 m^3 和 7 800 亿 m^3 ,但新增加的供水量将主要用于工业、城镇生活及维持生态的用水,而农业灌溉用水的增量主要靠全面提高灌溉水的利用率和利用效率来解决。

二、灌溉节水潜力分析

我国一方面供水量明显不足,另一方面用水浪费惊人,工业万元产值耗水量明显偏高,农业的灌溉定额更是显著偏高。目前我国每年农业用水量约 3 800 亿 m^3 ,占全国总用水量的 70% 以上;灌区大部分采用传统的地面灌水技术,水资源浪费现象相当普遍;在某些水源相对比较丰富的自流灌区,亩次净灌水量往往在 100 m^3 以上,大水漫灌现象仍不少见;全国灌溉水利用系数不超过 0.45,这就意味着灌区水量有一半以上是在输水、配水、田间灌水过程中被损失掉了。而以色列、美国、日本和加拿大等国家的灌溉水利用率可达 0.7~0.8。

当前,我国包括灌溉水和降水在内的农田水利用效率也很低,每立方米水生产粮食仅 1 kg 左右,而以色列已达 2.32 kg,一些发达国家大体都在 2 kg 以上。目前我国水稻、小麦、玉米、棉花、大豆的平均单产分别为 408 kg/亩、249 kg/亩、347 kg/亩、59 kg/亩、88 kg/亩,而发达国家分别为 544 kg/亩、528 kg/亩、680 kg/亩、112 kg/亩、224 kg/亩,差距很大。

如果普遍实行节水灌溉农业技术,节水增产潜力十分可观。渠道防渗和管道输水都能提高渠系水利用系数;水稻浅湿灌溉和旱田沟畦改造则可提高田间水利用系数;喷灌、滴灌可提高渠系水利用系数,又可提高田间水利用系数。节水农业可提高灌溉水的利用效率,如果到 21 世纪 30 年代,我国井灌区 80% 以上实行喷灌和低压管道输水灌溉,渠灌区骨干渠道 60% 以上实现防渗,水稻全部推广浅湿灌,旱田实施田间工程改造,并辅之以节水农业措施、节水灌溉制度、节水管理措施,则可使我国灌溉水利用系数由现在的 0.45 提高到 0.6~0.7,水分生产率由现在的 1.0 kg/m^3 提高到 1.5~1.8 kg/m^3 ,由此产生的节

水潜力极限值为 800 亿 ~ 1 000 亿 m^3 , 还需要投资 3 500 亿 ~ 4 500 亿元。

我国是一个自然条件、社会经济发展程度差异很大的灌溉大国, 要使全国平均灌溉水利用系数达到 0.7, 是一个相当高的标准, 它意味着全国绝大部分渠道都要进行防渗处理或改用管道输水, 田间灌溉大部分采用现代灌水技术, 灌溉管理初步实现现代化, 这是非常艰巨的任务。

综合分析, 到 2030 年, 我国灌区节水潜力 600 亿 ~ 800 亿 m^3 是可能的, 其中大型灌区节水 350 亿 ~ 450 亿 m^3 , 中小型灌区节水 200 亿 ~ 280 亿 m^3 , 井灌区节水 50 亿 ~ 70 亿 m^3 。

第二节 灌溉水利用率目标值与实现途径

一、总体目标与分区重点

我国计划再经过 30 年奋斗, 使灌溉水利用率由现在的 45% 提高到 65%, 彻底改变我国传统灌溉的落后面貌, 使新型节水灌溉技术的比重逐步提高, 使灌溉生产向现代化迈进一大步。在各阶段中, 都要努力把发展节水工程同新开发灌溉面积结合起来, 既要节约灌溉用水, 又要最大限度地增加粮食生产, 满足我国人口增长对粮食的需求, 保持农业的可持续发展。分区发展节水灌溉的重点有以下几个地区。

(1) 东北区。在适当开源的基础上, 以灌区改造、渠道防渗、水稻区推广节水灌溉制度和旱作区试验推广喷灌等先进节水灌溉技术为主, 同时配合发展当地行之有效的“坐水种”抗旱补水灌溉等措施, 为保障全国粮食安全起到重要的米粮仓作用。

(2) 黄淮海区。井灌区全面推广喷微灌、管道输水灌溉, 地下水超采区采取调整农业种植结构等综合措施, 以减少地下水开采。加强降雨、地表水、地下水和土壤水的联合调度与高效利用, 合理利用经处理的城市生活污水。渠灌区以发展渠道防渗为主, 适宜地区逐步发展井渠双灌。同时, 普遍推广非充分灌溉, 以供定需, 压缩相对耗水量大的作物的种植比例。逐步减少对地下水的超采, 缓解由此造成的日益恶化的生态环境问题。

(3) 黄河中上游区。该区沿黄取水便利, 节水效益主要体现在保护生态环境和使下游受益。在大力推广节水灌溉工程措施的同时, 要加大用水价等经济杠杆推动发展节水灌溉的力度, 针对不同地区、不同情况, 制定相应的政府补贴政策, 将社会效益、生态效益与农民的经济利益有机结合, 刺激农民主动节水的积极性。在工程措施上, 主要发展渠道防渗和田间节水工程, 推广水稻浅湿灌等。井灌区和扬水灌区发展移动式管道喷灌、低压管道输水和果树等经济林微灌。山丘贫水区除要搞好水土保持工作外, 在解决人畜饮水的同时要发展集雨节灌。

(4) 内陆区。针对内陆区生态环境十分脆弱、干旱少雨的特点, 发展节水灌溉要与保护生态环境相结合。对内陆河上下游水量实行统一调配, 避免因上游过量用水而导致下游沙漠化等生态恶化的结果。井灌区和扬水灌区大力发展喷、微灌和管道输水灌溉; 自流灌区发展渠道防渗和田间节水灌溉技术, 并逐步发展管道输水和大型喷灌机喷灌。

二、提高灌溉水利用系数的技术与措施

节水灌溉技术是为充分利用灌溉水资源,提高水的利用率和利用效率,达到农作物高产、高效而采取的技术措施,它是由水资源、工程、农业、管理等环节的节水技术措施组成的一个综合技术体系。运用这一技术体系,将提高灌溉水资源的整体利用率,增加单位面积或总面积农作物的产量,以促进农业的持续发展。因此,节水灌溉技术包括以下内容:

(1)水资源的合理开发利用技术。灌溉农业水资源包括地面水、地下水、土壤水和经过净化处理的污水。农业水资源的合理开发利用是指采用必要的工程措施,对天然状态下的水进行调节控制和有计划的分配,为农业生产提供所需要的水量。内容包括地上水和地下水的联合利用技术、机井测试改造技术、灌溉回归水利用技术和劣质水改造利用技术等。

(2)节水工程技术措施。包括喷灌技术、微灌技术、渠道防渗技术、低压管道输水技术、膜上灌技术、水稻浅湿灌技术、改进沟畦灌技术等,是节水灌溉综合技术体系的核心内容。

(3)节水农业技术。包括调整作物种植结构、改善耕作制度、改进耕作技术,以及推广秸秆或地膜覆盖的保墒技术、化学药剂与保水剂应用技术、限额灌溉及节水抗旱作物品种选育等。

(4)节水管理技术。包括组织管理、工程管理、经营管理和用水管理等技术。

三、阶段目标与实现途径

(一)2010 年灌溉水利用系数目标值与实现途径

根据水土资源平衡分析和农业可持续发展要求,这一阶段全国平均灌溉水利用率要达到 55%,重点地区达到 60%。

从全国角度看,这一阶段节水灌溉由于受资金限制,应从节水投资较小的田间工程抓起,大力推广节水灌溉制度、水稻浅湿灌溉、水稻旱种水管、旱田的小畦灌溉等。在节水灌溉农业建设中,渠道防渗、低压管道输水、喷灌、微灌将有一定发展,田间节水技术措施有较快发展。节水管理方面,要充分发挥基层灌区管理组织作用,把节水灌溉的田间配套纳入农田基本建设中,使全国新发展节水灌溉工程面积 2.1 亿亩,节水灌溉措施面积 1.5 亿亩,见表 2-1。这样,可使全国平均田间水利用系数达到 0.8 左右,渠道水利用系数达到 0.65~0.70。

(二)2030 年灌溉水利用系数目标值与实现途径

根据农业和国民经济发展的总要求,全国平均灌溉水利用(系数)率要达到 65%,严重缺水的西北及黄淮海地区,灌溉水利用率要达到 70% 以上。

随着我国水资源日趋紧缺,节水灌溉农业建设将在全国推进,这一时期,我国水利基本建设资金将有较大幅度的增加。技术措施上,在认真总结第一阶段节水灌溉农业建设经验的基础上,将更加先进与成熟。因此,节水灌溉工程项目会有较快的发展。在发展渠道防渗、喷灌、微灌、渗灌等节水工程的同时,大力推广水稻节水技术、精细地面灌溉技术,将节水灌溉管理推向一个新的高度。到 2030 年,全国新发展节水灌溉工程面积达 2.3 亿

亩,节水灌溉措施面积 1.26 亿亩,见表 2-2。这样,可使全国田间水利用系数达到 0.9 左右,渠道输水利用系数达到 0.7~0.75。

表 2-1 2010 年分区节水灌溉面积

(单位:万亩)

地区	渠道防渗	管道输水	喷灌	微灌	工程面积合计	水稻节水	田间节水	措施面积合计
东北区	871.5	33.0	451.5	22.5	1 378.5	1 255.5	103.5	1 359.0
黄淮海区	3 103.5	1 356.0	2 500.5	154.5	7 114.5	3 415.5	345.0	3 760.5
黄河中上游区	1 269.0	240.0	706.5	76.5	2 292.0	652.5	160.5	813.0
内陆区	990.0	163.5	751.5	15.0	1 920.0	115.5	460.5	576.0
长江中下游区	2 821.5	277.5	984.0	63.0	4 146.0	2 844.0	13.5	2 857.5
珠江江区	1 932.0	99.0	436.5	40.5	2 508.0	339.0	27.0	366.0
西南区	1 051.5	91.5	475.5	28.5	1 647.0	5 292.0	7.5	5 299.5
全国	12 039.0	2 260.5	6 306.0	400.5	21 006.0	13 914.0	1 117.5	15 031.5

表 2-2 2030 年分区节水灌溉面积

(单位:万亩)

地区	渠道防渗	管道输水	喷灌	微灌	工程面积合计	水稻节水	田间节水	措施面积合计
东北区	889.5	33.0	739.5	46.5	1 708.5	4.5	283.5	288
黄淮海区	2 347.5	1 968.0	3 249.0	166.5	7 731.0	3 033.0	1 228.5	4 261.5
黄河中上游区	1 341.0	396.0	943.5	61.5	2 742.0	7.5	1 140.0	1 147.5
内陆区	990.0	295.5	652.5	10.5	1 948.5	3.0	643.5	646.5
长江中下游区	3 049.5	297.0	1 032.0	69.0	4 447.5	2 511.0	288.0	2799.0
珠江江区	1 507.5	13.5	658.5	67.5	2 247.0	1 869.0	70.5	1 939.5
西南区	1 051.5	21.0	760.5	48.0	1 881.0	1 453.5	87.0	1 540.5
全国	11 176.5	3 024.0	8 035.5	469.5	22 705.5	8 881.5	3 741.0	12 622.5

第三节 提高水分利用效率的途径与措施

一、水分利用效率的内涵和确定方法

(一) 水分利用效率的内涵

水分利用效率(Water Use Efficiency,简称 WUE)或称水分生产率,是用于评价一个地区农业用水管理水平和节水灌溉技术效果的重要指标。

水分利用效率,定义为消耗单位水量所生产的经济产品数量。作物利用的水分可以是降水、灌溉水、地下水或贮藏在土壤中的水分。经济产品即期望得到的产品,因作物种类或利用目的而异,可以是籽实(如小麦、玉米等)、块茎或块根(如薯类、甜菜等),也可能

是果实(如各种蔬菜和果树),或整个地上部分(如牧草、青贮玉米和许多蔬菜)。

作物水分利用效率可用同一面积上收获的经济产品总量除以消耗的总水量来表示,其常用的表示方法为 kg/m^3 。

(二)水分利用效率的确定方法

由于分析问题的角度不同,消耗总水量有多种计算方法。

1. 灌溉水利用效率

灌溉水利用效率,定义为单位灌溉水量所增加的经济产品数量。即由于灌溉增加的经济产品数量与调用的灌溉水量之比。经济产品因灌溉增加的数量,通常需要布置专门的灌溉试验来确定、测定,测定时既要获得灌溉农田的产量,同时还要获得其他条件完全相同、只是不进行任何灌溉的农田产量,两者的差值即为因灌溉而增加的产量值。在许多灌溉试验中,由于试验区域较小,或是控制严格,一般不让深层渗漏和地面径流发生。这种情况下测定的灌溉水利用效率,可以称为净灌溉水利用效率。将这一效率值应用于生产实际时,还要考虑调用的灌溉水在输配水过程中的损失。实际生产中的灌溉水利用效率,应该是净灌溉水利用效率、渠系水利用系数和田间水利用系数三者的乘积。

2. 农田总供水利用效率

计算农田总供水利用效率时,消耗的总水量定义为调用的灌溉水量与生育期降水量之和,经济产品产出量则定义为农田上总的经济产量。这一用水效率体现作物利用降水和灌溉水的生产效益,与生产实际具有较为密切的关系。

农田总供水利用效率的确定较为容易,经济产量可在作物收获时实际测定。降水的测量按气象部门的规定进行,灌水量按渠首的引水量计算,两者之和即为农田总用水量。需要注意的是,降水量和灌水量的测定时段,要与单季作物的生育期相一致。此外,农田总供水利用效率,一般不考虑土壤贮水和地下水的补给量的影响。

3. 田间水利用率

田间水利用效率,定义为作物实际消耗单位水量所产出的经济产品数量。计算这一利用效率时,消耗的总水量通过田间实测确定,总经济产量则在作物收获时实测得到。作物实际消耗的水量通常用水量平衡法测定,这些水分可以来自灌溉水、降水,也可以来自土壤贮水和地下水补给。在前面所述的灌溉水利用效率和农田总供水利用效率中,消耗的总水量中有相当一部分是以输水过程中的地面径流或深层渗漏的方式损失掉了,这些损失的水量与作物产量形成过程并没有直接的联系,因此这两种水分利用效率都不能很好地反映作物对所吸收水分的转化利用效率。同时,灌溉水利用效率和农田总供水利用效率,也不考虑地下水补给和土壤贮水的作用,这在地下水位较高以及土壤贮水对当季作物的生产具有重要意义,容易产生较大的误差。因此,田间水利用效率能真正反映一个地区作物生产过程对有效水源的转化利用效率,对于许多决策分析过程和生产管理活动都具有重要指导意义。

二、2010 年作物水分利用效率的估算值及实现途径

(一)2010 年作物水分利用效率的估算值

根据 2010 年全国粮食需求预测和全国灌溉面积发展预测,按现有灌溉用水量计算,