

西北地区水资源 调控与高效利用技术

孙兆军 ● 主编



黄河出版传媒集团
阳光出版社

西北地区水资源 调控与高效利用技术

孙兆军 ● 主编



黄河出版传媒集团
阳光出版社

图书在版编目(CIP)数据

西北地区水资源调控与高效利用技术 / 孙兆军主编.
— 银川: 阳光出版社, 2016.10
ISBN 978-7-5525-3075-9

I. ①西… II. ①孙… III. ①水资源-协调控制-研究-西北地区②水资源利用-研究-西北地区 IV.
①T832

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第258096号

西北地区水资源调控与高效利用技术

孙兆军 主编

责任编辑 马 晖 冯中鹏
封面设计 赵 倩
责任印制 岳建宁



黄河出版传媒集团
阳光出版社

出版发行

出 版 人 王杨宝
地 址 宁夏银川市北京东路139号出版大厦(750001)
网 址 <http://www.yrpubm.com>
网上书店 <http://www.hh-book.com>
电子信箱 yangguang@yrpubm.com
邮购电话 0951-5014139
经 销 全国新华书店
印刷装订 宁夏凤鸣彩印广告有限公司
印刷委托书号 (宁)0002547

开 本 720mm × 980mm 1/16
印 张 19.25
字 数 300千字
版 次 2016年10月第1版
印 次 2016年10月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5525-3075-9/T · 22
定 价 60.00元

版权所有 翻印必究

编 委 会

主 编：孙兆军

副 主 编：王 芳 韩 磊 何 俊 李 茜 肖国举

编写人员：苏宇静 吕 雯 董 良 秦 萍 齐拓野

焦炳忠 王 旭 王 力

前 言

水是生命之源、生产之要、生态之基。我国是一个水资源十分短缺的国家,人均水资源占有量仅为世界平均水平的 28%,西北地区占全国国土面积 35%,水资源量仅占全国的 8%。西北地区水资源不足的矛盾,已对当地农业的持续发展构成了严重的威胁。因此,采取各种综合措施实行西北农业高效节水,科学利用有限的区域水资源,提高该农业区的水分生产效率,是推动西北地区农业、农村经济发展,保障粮食安全和改善生态环境的关键。

“十二五”期间,按照节水优先的根本方针,中央发布了《国家农业节水纲要(2012—2020 年)》,从宏观层面和空间布局上对大力推进农业节水做出了部署安排,大力实施东北节水增粮、西北节水增效、华北节水压采、南方节水减排等区域规模化高效节水灌溉工程建设。其中新疆、甘肃、宁夏等西北干旱地区大力发展高效节水灌溉,实现了发展和生态保护的双赢。

为了进一步贯彻党的十八大会议精神,坚持“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的水治理新思路,宁夏大学资源环境学院孙兆军教授组织本院和宁夏大学环境工程研究院科技人员编写了《西北地区水资源调控与高效利用技术》。该书针对我国西北农业区的实际生产状况,介绍了各种先进、实用、适应性强的农田水资源高效利用技术的特点、增产机理、配套设备和经济效益测试等;同时重点总结了我国西北地区节水

农业的新经验、新成果,包括旱区节水补灌新技术的研究与应用,风光互补节水灌溉设备开发和西北地区主要农作物、生态经济林高效节水灌溉技术。内容上力求深度、广度适宜,注重理论联系实际,突出应用。它是水利、机械、农业专业人员了解农田水资源高效利用技术,学习节水灌溉知识的良好读本,它的出版将会为我国西北地区发展节水高效特色农业提供技术支撑和理论依据,同时对旱区推广节水灌溉设备与技术起到积极的推动作用。

本书是在“十二五”国家科技支撑计划项目子课题《旱作精准高效节水补灌设备的开发与示范》(2011BAD29B07-3)、宁夏科技支撑计划项目《风光互补节水灌溉设备研制与盐碱地改良技术示范》和《高温条件下风光互补节水灌溉设备开发与示范》等研究成果的基础上整理形成的,并在国家农业科技成果转化资金项目《零能耗风光互补节水灌溉关键设备产业化与示范》(2012G3008020)和《旱区特色农作物高效节水技术及设备示范推广》(2014G30000040)上得以转化,在写作过程中,课题组成员齐心协力,进行了大量的资料分析工作。考虑到全书的完整和系统性,书中参阅了大量文献,借此机会编者向这些文献的作者们表示衷心的感谢!阳光出版社为本书的出版给予了大力支持,编辑为此付出了辛勤的劳动,在此表示诚挚的谢意!

鉴于西北地区农业生产技术比较复杂,各个不同类型地区的具体要求又不尽相同,故本书不能一一覆盖,我们将通过今后的工作不断更新和完善有关参数和技术,争取覆盖更多的区域与作物。尽管我们谨笔慎墨,疏漏和差错仍在所难免,希望广大读者多提宝贵意见,以臻完善。

编者

2016年6月

目 录

第一章 西北节水农业发展概况与前景 / 001

第一节 西北地区农业水资源分布与利用现状 / 001

一、西北地区概况及水资源总量 / 001

二、西北地区水资源特点 / 003

三、西北地区水资源开发利用现状 / 004

四、西北地区水资源开发利用存在的问题 / 005

第二节 西北地区节水农业的意义 / 007

一、现代节水农业理念与特点 / 007

二、西北地区发展节水农业的战略地位 / 009

三、西北地区节水农业发展的战略意义 / 011

第三节 西北地区节水农业发展态势 / 013

一、西北地区节水农业发展现状 / 013

二、西北地区节水农业技术发展趋势 / 015

第四节 西北地区节水农业发展展望 / 017

一、西北地区节水农业发展的若干科技问题 / 017

二、西北地区节水农业发展思路 / 020

三、西北地区节水农业发展需要的政策环境 / 021

第二章 水对作物生长发育的影响及其机理 / 025

第一节 作物对水分的吸收 / 025

一、作物细胞对水分的吸收 / 025

二、作物根系对水分的吸收 / 027

第二节 水分在作物体内的传输与调控 / 029

一、作物体内的水分运输 / 029

二、蒸腾作用 / 031

第三节 干旱缺水对作物生理过程的影响程度及作物对水分亏缺的适应性 / 035

一、水分亏缺的涵义 / 035

二、水分亏缺对作物的影响机制 / 036

三、作物对于干旱缺水的适应能力和机理 / 046

第三章 西北地区主要作物的需水量与节水灌溉制度 / 058

第一节 作物需水量的估算与测定方法 / 058

一、作物需水量的概念 / 058

二、作物需水量的估算方法 / 059

三、作物需水量的测定 / 064

第二节 西北地区主要作物需水量和需水规律 / 068

一、小麦需水量和需水规律 / 068

二、玉米需水量和需水规律 / 070

三、谷子需水量和需水规律 / 070

四、棉花需水量和需水规律 / 071

五、马铃薯需水量和需水规律 / 072

六、西瓜需水量和需水规律 / 072

第三节 西北地区主要作物节水灌溉制度 / 073

一、节水灌溉制度的涵义 / 073

二、节水灌溉制度的制定 / 076

三、西北地区主要作物节水灌溉制度 / 079

第四章 西北地区经济林高效节水灌溉综合调控技术 / 100

第一节 枸杞灌溉指标与节水灌溉技术 / 101

一、枸杞需水量和需水规律 / 102

二、枸杞高效节水灌溉技术 / 106

第二节	葡萄灌溉指标与节水灌溉技术 / 109
一、葡萄需水量与需水规律 / 109	
二、葡萄高效节水灌溉技术 / 111	
第三节	枣树灌溉指标与节水灌溉技术 / 114
一、枣树需水量与需水规律 / 114	
二、枣树高效节水灌溉技术 / 116	
第四节	苹果树灌溉指标与节水灌溉技术 / 119
一、苹果树需水量与需水规律 / 119	
二、苹果树高效节水灌溉技术 / 120	
第五节	核桃树灌溉指标与节水灌溉技术 / 124
一、核桃树各生育期需水规律 / 124	
二、核桃树高效节水灌溉制度 / 126	
第六节	杏树灌溉指标与节水灌溉技术 / 128
一、杏树各生育期需水规律 / 130	
二、杏树高效节水灌溉制度 / 131	
第五章	西北地区农田节水灌溉技术与设备 / 137
第一节	风光互补节水灌溉技术 / 137
一、风能、太阳能在农业中的应用 / 138	
二、风光互补节水灌溉技术 / 144	
三、风光互补节水灌溉系统的安装和操作 / 150	
四、风光互补节水灌溉设备性能田间试验 / 156	
五、膜下滴灌技术 / 163	
六、效益分析和应用前景 / 170	
第二节	机械化节水灌溉技术研究 / 171
一、移动式节水补灌技术与设备 / 172	
二、全塑化节水补灌设备 / 183	
第六章	渠道与管网高效输水技术与设备 / 187
第一节	管道输水技术与设备 / 187
一、管道输水技术发展现状 / 187	

二、管道输水灌溉技术的特点 / 189	
三、管道输水灌溉系统的类型与组成 / 190	
四、管道输水灌溉技术的研究方向 / 192	
五、管道输水灌溉系统的规划与设计 / 193	
六、管材、管件及附属设备 / 197	
第二节 渠道防渗技术与材料 / 199	
一、渠道防渗技术发展现状 / 199	
二、渠道防渗工程技术的重要性 / 201	
三、我国渠道输水和防渗技术发展中的问题 / 202	
四、渠道防渗工程技术的发展趋势 / 203	
五、渠道防渗材料及施工技术 / 206	
六、渠道防渗抗冻胀结构形式与新材料 / 211	
第七章 西北地区农田水资源高效利用技术体系 / 219	
第一节 农田蓄水保墒耕作技术 / 221	
一、旱地土壤蓄水技术 / 223	
二、旱地土壤保水技术 / 229	
三、农田蓄水保墒新技术 / 233	
第二节 农艺技术 / 241	
一、水肥一体化技术 / 241	
二、化学节水调控技术 / 250	
三、抗旱节水新品种选育 / 251	
四、改善种植结构 / 253	
第三节 集雨补灌工程技术 / 254	
一、雨水收集利用技术 / 254	
二、集雨节灌工程 / 255	
三、半干旱地区沟垄微型集雨技术 / 258	
第八章 西北地区劣质水资源化高效利用技术 / 264	
第一节 咸水开发与利用技术 / 264	
一、咸水、微咸水开发利用现状 / 265	

二、咸水灌溉对作物和环境的影响 / 266
三、咸水开发与利用技术 / 270
四、土壤水盐调控措施 / 271
第二节 污水开发与利用技术 / 276
一、污水灌溉技术发展概况 / 276
二、我国污水灌溉存在的问题 / 279
三、存在问题原因分析 / 279
四、污水资源化新技术 / 282
五、污水灌溉技术 / 284
第三节 多泥沙水流的开发与利用 / 286
一、我国水沙治理现状 / 286
二、泥沙产生的机理 / 287
三、泥沙研究的特性 / 287
四、泥沙治理与工程排沙措施 / 289
五、高含沙浑水的灌溉技术 / 290

第一章 西北节水农业发展概况与前景

第一节 西北地区农业水资源分布与利用现状

一、西北地区概况及水资源总量

我国西部地区地域辽阔,自然资源丰富,发展潜力巨大。西北地区总体可以分为贺兰山以西的内陆干旱区、贺兰山以东一阴山以北的半干旱草原区以及贺兰山以东一阴山以南的黄河流域这三大区域,包括新疆、甘肃、青海、陕西、宁夏五省区以及内蒙古西部的阿拉善、鄂尔多斯市两盟和乌海市,涉及4个一级流域,即内陆河流域片、黄河流域片、长江流域片以及西南流域片,总面积339万 km^2 ,占全国面积的35%,区内总人口近1亿。目前,城镇化率约28%,粮食总产量约3000万吨。

西北地区深居内陆腹地,而远离海洋,加之高山峻岭的阻隔,气候十分干旱,多年平均降水量235mm,内陆河区降水量一般都在200mm以下,水面蒸发量却高达1000~2800mm,降水少而蒸发大,使得西北地区的水分稀缺程度远高于国内其他地区。西北地区水资源总量2304亿 m^3 ,仅占全国水资源总量的8%。各区的水资源量如表1-1所示。

表 1-1 西北地区水资源及其分布

省区	面积 /万 km ²	降水量 /亿 m ³	地表水 资源量 /亿 m ³	地下水 资源量 亿 m ³	水资源 总量 /亿 m ³	产水 系数	产水 模数 /万 m ³ · km ⁻²
新疆	165.4	2515.7	794.4	383.0	857.0	0.34	5.2
甘肃	39.6	1319.2	297.7	154.8	311.9	0.24	7.9
青海	72.3	2083.8	622.1	262.8	627.5	0.30	8.7
陕西	20.6	1376.8	425.8	161.1	445.0	0.32	21.6
宁夏	5.2	151.2	9.7	29.8	117	0.08	2.3
内蒙古西部	36.0	488.7	15.1	43.1	50.9	0.10	1.4
西北全区	338.9	7935.4	2164.7	1034.7	2304.3	0.29	6.8

西北地区地表径流量 2 164.7 亿 m³, 人均地表径流量为 2 990 m³, 相当于世界人均径流量的 70%。单位耕地平均径流量为 18 150 m³/hm², 比全国平均水平低 30%, 比世界平均径流量水平低 70%。干旱缺水的状况使西部丰富的土地资源、矿产资源不能得到充分的开发利用, 人民生活水平不能得到很好的改善。水利部门预测 2020 年西北缺水情况见表 1-2。

表 1-2 2020 年西北地区缺水情况预测结果

省区	缺水指标		
	需水量/亿 m ³	缺水量/亿 m ³	缺水率/%
新疆	494.50	49.50	10.01
甘肃	171.80	46.80	27.24
青海	45.70	15.70	34.35
陕西	175.10	83.40	47.63
宁夏	110.60	12.10	10.94
合计	997.70	207.50	20.80

二、西北地区水资源特点

(一) 水资源匮乏,人均占有量少,供需矛盾突出

西北地区属于干旱半干旱地区,降雨稀少,蒸发量大,如甘肃景泰区多年平均水面蒸发达 2 000 mm,超过降水量的 10 倍,从总体上看,西北地区水资源极度缺乏。西北地区国土面积占全国的 31.76%,而水资源量仅占全国的 8%。年产水模数全区平均为 $8\,880\text{ m}^3/\text{km}^2$,为全国平均值的 30%,最小的宁夏仅 $1\,900\text{ m}^3/\text{km}^2$ 。由于缺水干旱,使西北地区自然景观荒漠化和生态脆弱加剧,成为中国土地沙漠化、次生盐渍化、水土流失、草原旱化矮化的重灾地区。由于西北地区,特别是兰州以西土地面积大、土壤质量差,人类经济活动相对较弱并集中在水源条件较好的现代绿洲上,加剧了供需矛盾。

(二) 地区分布不均,水土资源不平衡,利用难度大

西北地区不仅是我国降水量和径流量最少的地区,也是时空变异最大的地区。在地区分布上有自东南向西北剧减的趋势。渭河以南地区年降雨量大于 600 mm,年径流深在 100~200 mm 以上,局部可达 400 mm,是本区资源最丰富的地区。在陕北一带气候干燥,雨量稀少,年降雨量小于 300 mm,年径流深在 10 mm 以下,尤其是宁夏银川一带,年降水量不足 200 mm,径流深低于 5 mm,是水资源最贫乏的地区之一。而在本区水资源丰富和贫乏的中间地带黄土丘壑和黄土高原区,年降水量在 400~500 mm,年径流深 20~50 mm,地形破碎,沟壑纵横,加之植被破坏严重,水土流失剧烈,该区土地资源十分丰富而水资源严重不足,水土资源分布极不平衡,影响了该区农业生产发展。在时间分布上,该区有限的降水主要集中在夏秋季节,且多暴雨,春季缺水十分严重,水资源不仅不能满足农业灌溉和工业生产的需要,甚至许多地方人畜用水也发生困难。而地表径流主要集中在汛期,汛期地表径流一般占全年径流量的 60%以上。正是由于西北地区这一降水特征的影响,使得水资源的利用受到很大限制,灾害频繁,造成工农业生产极不稳定。

(三) 水域分散广, 山地冰川是西北地区重要的水资源

黄河虽发源于西北地区, 但黄河水为西北地区用之甚少, 成本之高, 靠本区经济开发只能是望洋兴叹, 西北各省区尚有部分集中的淡水资源可供开发。其中西北地区一部分降水在高山低温条件下以雪、冰等固体形式贮存起来形成和发育成冰川, 它是西北干旱区水资源存在的一种特殊形式。西北地区冰川总面积 32 万 km^2 , 其中, 天山占 28%, 昆仑山和喀喇昆仑山各占 37% 和 19%, 其余山区占 16%。冰川资源是西北地区重要的固体水资源, 是各内陆河的重要补给来源, 年冰川融水径流量达 22 亿 m^3 , 受冰川融水滋润形成的 913 万 km^2 肥沃绿洲成为西北地区的经济文化中心。

三、西北地区水资源开发利用现状

(一) 水资源开发利用现状

西北全区水资源总量约为 2 304 亿 m^3 , 水量较丰富的长江上游山区及澜沧江源头共计 710 亿 m^3 , 绝大部分难以利用; 内陆河水资源量 1 108 亿 m^3 , 其中地处青藏高原高寒地带约 140 亿 m^3 的水资源无法利用, 国际河流的水资源量不能全部支配。因此内陆河流域片的水资源可利用量不足 887 亿 m^3 。按用水条件和黄河干流分水方案, 属于黄河流域的 521 亿 m^3 的水资源, 西北各省区可以支配的水量不足 200 亿 m^3 。由此看来, 西北地区在人类经济活动范围内用于社会经济和生态环境保护的水资源量在 1 070 亿 m^3 以内。

通常情况下, 水资源开发利用大体可分为 3 个阶段: 第一阶段以开发地表水为主, 成本低而见效快; 地表水开发利用程度超过 40% 后进入第二阶段, 对地表水、地下水联合开发利用; 在地表水开发程度超过 60%, 地下水开发程度超过 40% 时进入第三阶段, 此时, 用水已达到甚至超过水资源的承载能力, 依靠当地水资源再增加供水已无可能, 需要从需求端控制用水增长或实施跨区域调水。按各个内陆河流域进行平衡, 西北大多数河流的水资源开发利用程度均处于第二阶段。乌鲁木齐河、石羊河、黑河、喀什噶尔河等流域已明显地进入到第三阶段。

(二) 现状水平水资源供需状况

正常来水年份,西北地区工农业总需水量 803.72 亿 m^3 , 供水量 756.99 亿 m^3 , 缺水量 46.73 亿 m^3 , 缺水程度为 6%, 缺水较大的地区有新疆的塔里木盆地、准噶尔盆地、中亚西亚内陆区、甘肃河西地区、陕西关中地区, 这些地区的缺水量占总缺水量的 85.2%。

中等枯水年份,西北地区工农业总需水量 803.72 亿 m^3 , 供水量 732.73 亿 m^3 , 缺水量 81.43 亿 m^3 , 缺水程度为 10%, 其中,黄河流域缺水量 33.54 亿 m^3 , 内陆河缺水量 47.89 亿 m^3 。黄河流域超出 1987 年国务院分水方案的资源性缺水 10.44 亿 m^3 , 除此之外, 缺水量较大的地区与正常年份相同, 缺水量占总缺水量的 80%。

四、西北地区水资源开发利用存在的问题

(一) 用水结构不合理, 用水效率低

西北地区用水结构不合理, 农业用水比重过大。其中, 宁夏、内蒙古西部、新疆农业用水超过 90%, 而其工业用水均仅在 7% 以下。从世界平均用水结构看, 农业用水占 65%, 工业和城市用水分别为 22% 和 7%, 因此通过用水结构调整实现西北地区节约水量的潜力很大。西北地区水资源利用方式落后、利用效率差, 如甘肃兰州市主要工业综合万元产值取水量为 370 t, 新疆乌鲁木齐市为 707 t, 青海西宁市为 1 764 t, 分别是节水型山东青岛市(97 t) 的 3.8 倍、7.3 倍和 18 倍。

从供水水源角度看, 西北地区主要利用地表水, 在总供水构成中, 地表水占 50% 以上, 其中新疆、宁夏高达 90% 以上, 地下水利用率相对较低, 除陕西、内蒙古西部开采 40% 左右, 其余地区不足 22%。在世界干旱区, 地下水是主要的甚至是唯一的供水水源, 世界干旱区对地下水的利用率达 60% 甚至 70% 以上, 而西北地区目前开采量占平均可开采量的 28%。西北地区除局部地区和城市区地下水超采, 大部分地区地下水利用偏低。

(二) 经济发展挤占生态用水, 部分地区水资源开发超过承载力

目前, 西北地区由于干旱缺水生态环境已显得十分脆弱, 而群众为了

生产、生活和生存的需要对水资源的开采力度却并未减小,大大超过了该地区水资源的承载能力,加之人们对生态环境进行保护的意识不强,所以形成了今天水资源紧缺、生产发展受阻、经济发展用水挤占生态用水的局面,因此,生态环境不断恶化。西北地区生态环境恶化主要表现在以下几方面:①水污染加剧。西北各省区每年向黄河干流排放废污水 7.51 亿 m^3 , 其中,工业废水 4.30 亿 m^3 , 占总量的 57.3%。②土地沙漠化、盐碱化、盐渍化和草场退化现象十分严重并有加重的趋势。③湖泊萎缩甚至消失,河道断流。

(三) 缺少调蓄性工程,不能有效利用当地水资源

西北地区大型水库仅 30 座,对水量的调节力度较低,存在工程性缺水,造成农业春旱严重,粮食产量大大降低,甚至不能实现粮食自给。如新疆目前仍是以控制能力很低的引水工程为主要供水手段,调节性水库工程供水能力仅占总供水能力的 14.4%,并以平原水库为主,山区控制性水库规模很低,因而造成了抗旱能力低、时空调节能力差的局面。春季灌溉期严重缺水,洪水季节引洪灌溉,既浪费了水量,又加重了土地的次生盐碱化。又如陕西现有的供水工程中,蓄水工程很少,在缺水严重的关中地区较大的河流上,四分之三的农田灌溉由引、提工程供水,供水保证程度很低。

(四) 水资源管理滞后,水管部门执法力度不够

西北地区水资源管理滞后主要表现在:①对水资源的开发利用缺乏宏观控制,往往强调水资源要满足工农业发展的需求,而不注意经济发展、产业布局要充分考虑水资源条件;②比较重视水资源的开发利用,而对水资源的节约、配置与保护重视不够;③流域水资源管理与区域水资源管理关系没有理顺,流域管理相对薄弱,上下游、左右岸、不同地区部门之间用水矛盾突出;④水资源的有偿使用和经济杠杆对资源的合理配置作用没有充分发挥,水资源费、水费长期收不到位。