

四川

季节性干旱与 农业防控节水技术研究

刘永红 李茂松等 编著



科学出版社

四川季节性干旱与农业 防控节水技术研究

刘永红 李茂松 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是关于系统介绍四川农业季节性干旱以及主要粮经作物致灾机理与防控节水技术研究成果的一部专著。全书共 11 章。第一章阐述农业季节性干旱的内涵与外延；第二章分析四川季节性干旱时空分布特征；第三~七章从四川优势农作物需水、供水特征与旱害机理研究入手，重点阐述水稻、玉米、小麦、甘薯、饲草、果树的生物防控和农艺防控及节水技术；第八章介绍国内外生化防控节水技术与在四川的应用实践；第九章提出适合主要农作物田间管理的工程防控节水技术模式；第十章以典型农区社会资源经济状况和干旱特征分析为基础，以上述单项技术为核心，综合集成区域防控节水技术模式，并应用实证；第十一章剖析农业季节性干旱防控节水技术发展前景；附录收集整理了四川干旱历史及气候变化特征。本书旨在加强对季节性干旱和节水农业研究成果的科学交流，以期促进四川乃至南方类似地区干旱防控技术的发展。

本书内容对我国四川及西南生态区旱害机理研究、综合抗旱节水技术集成与推广及农业政策制定具有一定的参考价值。可供农业科研、推广及生产管理部门的工作者及大专院校农学、农业气象、农业经济与管理、农业推广专业的教师与学生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

四川季节性干旱与农业防控节水技术研究/刘永红, 李茂松等编著. —北京: 科学出版社, 2011

ISBN 978-7-03-031418-5

I. ①四… II. ①刘… ②李… III. ①季节性-干旱-研究-四川省
②农田灌溉-节约用水-研究-四川省 IV. ①S423 ②S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 106746 号

责任编辑: 罗 静 莫结胜 景艳霞/责任校对: 桂伟利

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京天彩彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2011 年 8 月第一次印刷 印张: 32 1/4

印数: 1—2 000 字数: 737 000

定价: 168.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《四川季节性干旱与农业防控节水技术研究》

编著人员名单

主 编：刘永红 李茂松

副 主 编：邓家林 林超文 李 卓 彭国照 宋吉青

汤永禄 熊志强 杨 勤 张 鸿 赵小蓉

编 审：滕耀聪 熊志强

编著人员：

第一章：李茂松 王春艳

第二章：熊志强 张顺谦 唐良昭 郭海燕 侯美亭

第三章：张 鸿 郑家国 姜心禄 池忠志

第四章：杨 勤 李 奇 何文铸 柯国华

第五章：汤永禄 李朝苏

第六章：刘永红 林超文 李本国 赵小蓉 黄琳凯 贺朝凯

第七章：邓家林 张全军

第八章：宋吉青 白文波 严庆海

第九章：赵小蓉 周 芸 赵燮京 耿 琳 王君勤

第十章：李 卓 刘永红 彭国照 刘定辉 谢 莉

第十一章：刘永红 彭国照 李 卓 何希德

附 录：熊志强 彭国照 王明田

序

这是一本面对四川实际开展长期研究，利用所获大量第一手资料和创新性成果写成的书，既可用于四川防旱抗旱实际，也可供我国西南广大地区参考应用。对防旱抗旱的研究者、教学者和实际工作者都能开卷有益。

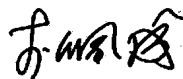
四川是中国的一个大省，也是农业大省，以占全国 4.1% 的耕地生产出 6.5% 的粮食，供养着全国 6.7% 的人口。四川的年降水量虽达 1000mm，但季节分配不均，常年冬季（12 月～翌年 2 月）降水量占年降水量 $< 5\%$ ，春季（3 月～5 月）为 20%～25%，夏季（6 月～8 月）为 45%～60%，秋季为 10%～30%，这种降水量的季节分布严重不均，和四季皆有农事的矛盾便使该地区的干旱形势不同于北方，而显露出明显的季节性。因此，研究解决季节性干旱问题，便成为四川和类似地区发展现代农业的迫切需要。刘永红研究员及本书作者们在国家科技部、农业部及有关部门的支持下，在十年以前便围绕季节性干旱与农业防控节水技术开展研究，取得了丰硕成果，现在又以这些成果为基础，筛选、提升、锤炼编写成书出版，可喜可贺。

通过阅读此书人们可明显发现，该书具有明显的理论层次和实践基础，该书详细地分析了四川季节性干旱时空分布特征和发生规律，在此基础上，阐述了农业季节性干旱的概念与致灾指标，探讨了主要农作物旱害机理、防控节水技术与模式的应用基础理论，具体提出了水稻、玉米、小麦、甘薯、饲草、果树等四川主要农作物的节水抗旱技术模式。同时考虑到四川不同地域的生态差异和多熟复种特点，除共性技术外，有针对性地介绍了相关的应对干旱的工程措施与化学措施，在分析上述主要农作物技术体系的基础上进行了专题论述；针对不同区域特点集成“川中春夏伏旱交错区主要粮食作物综合防控节水技术模式”、“川东高温伏旱区主要粮食作物综合防控技术模式”、“盆西平原干湿交错区粮经作物节水丰产技术模式”、“盆周山地冬干春旱区雨养旱作技术模式”、“川西南山地果菜综合防控技术模式”等基本覆盖全川农区的抗旱节水技术体系。

已如前述，尽管该书论述的内容有明显的四川地域性，但在一定程度上代表了我国西南地区的干旱问题，是我国干旱科学研究的重要进展，也大大丰富了我国乃至世界的干旱与农业防旱抗旱科学宝库。

我曾有幸多次去四川考察开会，两次去刘永红研究员主持的基地参观学习，对基地研究人员深入实际的科学作风深表敬佩，我由衷祝愿《四川季节性干旱与农业防控节水技术研究》早日问世，祝著者们幸福快乐，万事如意！

中国工程院院士
长安大学教授、博导



2011 年 7 月 27 日 于 长安

前 言

四川由于受地质构造的制约和影响,分东西两部分,东部为盆地,西部是高原,地貌迥异,差异十分明显。四川是一个农业大省,以占全国 4.1%的耕地,生产出占全国 6.5%的粮食,养活了占全国 6.7%的人口。四川旱区主要是指东部盆地,北起广元,南至叙永以北,东至川渝交界,西至成都平原。该区年平均温度 14~18℃,由盆周山区向四川盆地过渡,温度逐渐升高;年日照时数 1000~1600h;年总辐射量为 3500~4000MJ/m²;光合有效辐射仅为 1500~1800MJ/m²;年降水量普遍为 1000mm 左右,人均水资源量为 3040m³。水资源的区域分布差异显著,甘孜藏族自治州、阿坝藏族羌族自治州、凉山彝族自治州三州拥有全省水资源量的 60%,而占全省人口 90%的盆地地区 18 个市拥有的水资源量仅为 40%,水资源的地域分布与工农业生产布局不匹配,加剧了缺水矛盾。盆地丘陵区是缺水最严重的地区,该区耕地面积 226.6 万 hm²,占全省耕地面积的 57.8%;总人口 5116.2 万人,占全省总人口的 60.4%;而人均水资源量为 940m³,为全省人均水资源量的 30.4%,不到全国人均水资源量 2477m³的 40%,仅为世界人均水平的 1/10。其中,遂宁、南充、内江、自贡等市人均水资源仅为 318~594m³,属水资源极度贫乏区。四川降水资源丰歉的时间(季节)分配差异也十分显著,春季占全年的 15%~20%,夏季为 50%~60%,秋季为 20%~25%,冬季为 5%左右,自然降水的丰水季节多集中在每年的 7~9 月,降水变率大,时空分布不均,夏季雨水集中,冬春雨量稀少,而且缺少水利工程,难以调节径流、蓄丰济枯,因此,区域性和季节性干旱严重。据四川省 1951~2009 年资料统计,除 1954 年、1956 年、2008 年三年基本无干旱外,其余年份均有不同程度的干旱发生。四川省春旱、夏旱、伏旱频率分别为 58%、76%、67%,盆地农区的发生频率则分别高达 89%、92%、62%。全省每年粮食作物干旱受灾面积 173~180 万 hm²(次),平均年损失 10 亿 kg 以上。

农业是四川省第一用水大户,占总用水量的 58.6%,农业节水对水资源的可持续利用具有直接影响。目前,主要农作物水稻、玉米、小麦水分利用效率均为 0.9kg/m³左右,远低于发达国家 1.5~2.0kg/m³的水平,农业节水潜力巨大。广大干部群众在与干旱长期抗争中摸索总结了许多成功的经验。古有李冰父子以治水实现“水旱从人”的千年应用模式,今则开展了节水抗旱的科学研究,特别是新中国成立以来,对季节性干旱和节水农业开展了长期科技攻关研究。早在“七五”期间,四川的科技工作者就与当时的“欧洲共同体”合作,研究了四川干旱的成因、特点、分区与发生规律及其对主要农作物的影响等,提出了以“坡改梯”和“三沟整治、三池配套”为核心的坡面集雨技术体系,为四川旱区的抗旱节水找到一条合理的途径,被誉为四川丘陵区农业的希望;“八五”至“九五”期间,对丘陵农区水土保持与综合治理开展了长期系统的监测与研究,提出格网式垄作法、水稻旱育秧技术,建立了坡耕地抗旱、节水、防蚀综合治理模

式和样板,并先后在不同灌区进行了节水改造,引进了多种喷灌、微灌(包括微喷灌和滴灌)等现代节水灌溉技术,取得明显的节水增效成果。“十五”以来,在国家高技术研究发展计划(“863”计划)“节水农业专项”课题、国家科技支撑计划课题和四川省重大科技攻关项目的资助下,组织省内相关研究领域的近40位科技人员,开展抗旱节水技术研究的联合攻关,建立了节水农业重点实验室,系统研究了主要农作物需水、供水特征和季节性干旱的旱害机理,研究和集成了适合四川生态特点的农艺节水、生物节水、工程节水、化学节水及信息管理合理调水节水的技术体系。在农业节水技术应用方面,集成多套抗旱节水技术模式,并在30个主要县市区示范应用。抗旱节水农业的研究水平和科技成果转化能力得到全面提升。

本书主要是总结“九五”以来四川季节性干旱和节水农业研究的成果。在分析四川季节性干旱时空分布特征、发生规律的基础上,重点阐述农业季节性干旱的概念与致灾指标,探讨主要农作物旱害机理、防控节水技术与模式的应用基础理论,提出趋利避害、因地制宜的解决途径和策略。力求在以下三个方面有所突破:①在气象干旱、水源干旱、土壤和作物生理干旱等概念的基础上,针对农业季节性干旱的概念、指标进行科学的界定;②将季节性干旱防控与节水农业发展有机结合,并将研究对象从粮食作物扩展到主要经济作物、饲料饲草作物;③突破学术专著的一般结构模式,设置一定篇幅的专论,对生化防控、作物调控生理效应等一些重要议题设立独立章节或以研究报告形式专门探讨;并在书中插入与文字配套的图片,力求图文并茂。

全书共11章。第一章阐述农业季节性干旱的内涵与外延;第二章分析四川季节性干旱时空分布特征,并以2006年盛夏伏旱和2010年冬春干旱为例解析了干旱成因;第三至第七章从四川优势农作物需水、供水特征与旱害机理研究入手,重点阐述水稻、玉米、小麦、甘薯、饲草、果树的生物防控和农艺防控及节水技术;第八章介绍国内外生化防控节水技术与在四川的应用实践;第九章提出适合主要农作物田间管理的工程防控节水技术模式;第十章以典型农区社会资源经济状况和干旱特征分析为基础,以上述单项技术为核心,综合集成区域防控节水技术模式,并应用实证;第十一章剖析农业季节性干旱防控节水技术发展前景;附录收集整理了四川有历史记录以来的干旱并分析了气候变化特征。本书旨在加强对季节性干旱和节水农业研究成果的科学交流,以期促进四川乃至南方类似地区干旱防控技术的发展。

在研究过程中,先后得到国家科技支撑计划(2007BAD88B08;2006BAD04B07)、“863”计划(2006AA100204)、公益性行业(农业)科研专项(201203031)以及四川省科技支撑计划、应用基础等项目资助,在此一并致谢。本书承蒙中国工程院李佩成院士,四川省农业科学院李跃建研究员、滕耀聪研究员,四川省农业气象中心熊志强研究员的指导和帮助。对先后参加课题研究的全体人员和给予出版支持的领导和专家,表示衷心的感谢。由于作者水平有限,书中不妥之处,请读者批评指正。

刘永红

四川省农业科学院作物研究所

2011年1月

Preface

Restricted and influenced by geological structure, Sichuan Province is divided into two parts that the landscape of eastern is basin and western is plateau, which showed very obvious differences. Sichuan is a big agricultural province that produced 6.5% of the country's total food production and supported 6.7% of population although it only accounting for 4.1% of the arable land. The drought region of Sichuan mainly refers to the eastern basin which is north to Guangyuan, south to the north of Xuyong, east to the junctional zone between Sichuan and Chongqing, west to Chengdu plain. Mean annual temperature of the drought region ranges from 14°C to 18°C and gradually raised as transition from mountain areas around the basin to Sichuan Basin. The annual sunshine hours ranges from 1000h to 1600h and the annual solar radiation ranges from 3500MJ/m² to 4000MJ/m². The annual precipitation is about 1000mm and the water resources per capita are 3040m³. The regional distribution of water resources is significantly different. Ganzi, Aba and Liangshan prefectures have 60% of the province's water resources of 40% for 18 cities in basin area that have 90% population of the province. Geographical distribution of water resources does not match the layout of industrial and agricultural has exacerbated the water shortage. Hilly areas of basin are the most serious water shortage areas. There are 2.266 million hectares cultivated land and 51.162 million population in the area, accounting for 57.8% and 60.4% respectively of the whole province. The average person possession of water is 940m³, just as 30.4% of the province's, 40% of our nation's, 10% of the world's. Among them, some cities, such as Suining, Nanchong, Neijiang, Zigong have only 318m³ to 594m³ for average person possession of water. They are the extremely poor areas of water resource. Abundance and reduction of precipitation in Sichuan is very significant difference in time (seasonal) distribution. Precipitation in spring accounted for 15% to 20%, 50% to 60% in summer, 20% to 25% in autumn and 5% in winter, and the wet period concentrate in July to September. Precipitation has large variability and uneven spatial and temporal distribution that the rainfall concentrated in summer but rare in winter and spring. Regional and seasonal drought is very serious because of lacking hydraulic engineering and poor ability of regulating runoff. According to the statistics of Sichuan Province from 1951 to 2009, except 1954, 1956 and 2008 almost no dry, the remaining years have drought at different degrees. The province's spring drought, summer drought, summer drought frequencies is respectively 58%, 76%, 67%, but that in basin agricultural area as high as 89%、92%、62%. There are about 1.73~1.8 million hm². arable land that have been bearing

drought every year in Sichuan Province, and cutting harvest production was more than 1 billion kilograms.

Agriculture is the largest water user in Sichuan Province, and the proportion is 58.6% of the whole. Agricultural water saving will directly affect to sustainable utilization of water resource. Currently, the WUE of main crops such as rice, maize, wheat is about 0.9 kg/m^3 , which is far below the $1.5 \sim 2.0 \text{ kg/m}^3$ level of developed countries, agricultural water conservation potential. The potential of the agricultural saving water is huge. There has been lots of successful experience formed during preventing drought. For example, Dujiangyan hydraulic engineering built by Libing and his son in the ancient and water saving and drought resistance research was carried out today. Especially, since the founding of the People's Republic, long term scientific research of seasonal drought and water-saving agriculture was carried out. As early as the "Seventh Five-Year", agricultural scientific workers of Sichuan Province cooperated with that of "EC" have studied the causes, characteristics, division, occurrence regularity and impacts on major crops. And transforming slope into terrace and regulating cut-off ditch, dorsal fissure, flood detention weir and matching reservoir, manure lagoon, settling basin were proposed as core technologies of the technical system of slope surface rainfall harvesting, which is the reasonable way of resisting drought and saving water in Sichuan drought area and be known as the hope of agriculture in Sichuan hilly areas. From the "Eighth Five-Year" to the "Ninth Five-Year" long-term monitoring and systematic study on soil and water conservation and integrated management were carried out. At the period, grille-ridge culture and rice cultural technique of drought seedling were put forward, comprehensive control models and templates of resisting drought and saving water and preventing soil erosion were established. Water-saving reform in different irrigation districts has been carried out that introduced various of spray irrigation, micro irrigation (including micro sprinkler irrigation and drip irrigation) and other modern water-saving irrigation techniques, and have a remarkable effects of water-saving and benefit increasing. Since the "Tenth Five-Year", under the support of National "863" Program, National Science and Technology Support Program, Important Science and Technology Project to be Tackled in Sichuan, water-saving and drought-resistance practices joint multidisciplinary research carried out by over 40 researchers in Sichuan Province, and Provincial Key Laboratory of Water-saving Agriculture in Hill Areas of Southern China was established, in which, water requirements of major crops, water supply characteristics of soil, mechanism of drought-injury of seasonal drought were systematic studied. On this basis, a water saving technical system suitable for Sichuan ecological characteristics was established, which composed of agronomic water saving, biological water saving, engineering water saving, chemical water saving and management water saving. These techniques were integrated into drought resistant and water saving technical pat-

terns demonstrated in 30 major agricultural areas. The research level and technology conversion capacity of drought resistant and water-saving agriculture have promoted rapidly.

This book is a summary of the seasonal drought and water-saving agriculture research in Sichuan since the “Ninth Five-Year”. Based on the analysis of temporal and spatial distribution, occurrence regularity of seasonal drought in Sichuan, the book mainly discussed the concept and hazard index of agricultural seasonal drought, investigated the drought injury mechanism of main crops and the application basic theory of drought-resistant and water-saving technologies and modes, put forward the solving methods and strategies of resisting drought with local conditions. The authors tend to make breakthroughs on three aspects: ① Based on the concepts of meteorological drought, water supply drought, soil drought and crops physiological drought, define the concept and indicators of seasonal drought on agriculture with scientific methods. ② Combined the control and prevention of seasonal drought and the development of water-saving agriculture, and the study subjects extended from food crops to the major economic crops and feed forage crops. ③ Made breakthroughs on structural mode of scholarly treatise, the book sets many pages as research report or lone section to discuss some important subjects of seasonal drought control and prevention such as biologic and chemic methods and crop physiological regulation and control. In the book, text matching pictures were inserted vividly.

The book includes 11 chapters. Chapter 1 described the content and extension of agricultural seasonal drought. Chapter 2 analyzed the spatial and temporal distribution of seasonal drought in Sichuan, and took summer drought in 2006 and winter and spring drought in 2010 for example to analyze the causes of drought. Chapter 3 to Chapter 7 analyzed the water demand of advantage crops, water supply characteristic of soil and drought injury mechanism of main crops in Sichuan, and mainly discussed the biologic and agronomic techniques of drought resistance and water-saving technology in agriculture. Chapter 8 introduced chemical and biological drought resistance techniques at home and abroad and the application of practice in Sichuan. Chapter 9 proposed project technology patterns for saving water, which fit the field management modes of main crops. Based on social resources and economic condition and drought characteristics of the typical drought areas, chapter 10 comprehensive integrated regional drought resistance and water-saving technology models. And then, elaborate the application of the models. Chapter 11 analyzed the development prospects of seasonal drought prevention and water-saving technologies in agriculture. This book aims to strengthen the exchanges of seasonal drought scientific research in agriculture and promote the seasonal drought prevention and control technology development in Sichuan and southern China where the ecological condition is similar to Sichuan.

The study has been supported by National Science and Technology Plan (2007BAD88B08; 2006BAD04B07), National 863 Program (2006AA100204), Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest, Sichuan Provincial Science and Technology Program, Sichuan Provincial Application Foundation Program, and so on. Thanks for all of this. The book is guided and helped by academician Peicheng Li in Chinese Academy of Engineering, researcher Yuejian Li and researcher Yaocong Teng in Research Institute of Sichuan Agricultural Sciences and researcher Zhiqiang Xiong in Sichuan Agricultural Meteorological Center. We would like to thank all members who have participated in the research and leaders and experts who give supports to publish the book. Due to the limited knowledge and ability of the author, there is still much room for improvement in the book and criticism from specialists is warmly expected.

Liu Yong-hong
Crop Research Institute of Sichuan
Academy of Agricultural Sciences
January, 2011

目 录

序

前言

第一章 农业季节性干旱的内涵与外延	1
第一节 干旱类型及概念与指标	1
一、气象干旱概念和指标	2
二、水文干旱概念和指标	5
三、土壤干旱概念和指标	9
四、生理干旱概念和指标	10
五、农业干旱概念和指标	11
六、作物干旱概念和指标	14
第二节 农业季节性干旱	15
一、农业季节性干旱概念和指标	15
二、农业季节性干旱的成因	16
三、农业季节性干旱的外延	18
参考文献	19
第二章 四川季节性干旱时空分布特征	22
第一节 四川季节性干旱	23
一、自然降水的季节性	23
二、农业季节性干旱的特殊性	25
第二节 区域性和季节性的时空分布	26
一、干旱的分类及指标	26
二、干旱时空分布规律	26
三、干旱空间分布特征	35
四、干旱成因分析	38
第三节 干旱典型事例与成因分析	50
一、2006 年四川盆地盛夏伏旱	50
二、2010 年四川攀西冬春干旱	57
参考文献	65
第三章 水稻旱害机理与防控节水技术	66
第一节 水稻需水规律与供水特征	68
一、稻田需水量	68
二、水稻各生育阶段的耗水量	71
三、稻田灌水量	71

四、稻田水分平衡	73
五、水稻受旱敏感时期	73
六、水稻需水量与产量的关系	74
七、区域供水特征	75
第二节 季节性干旱对水稻生长发育的影响机理	77
一、对水稻生理的影响	77
二、对水稻生长的影响	79
三、对水稻产量的影响	81
四、对水稻品质的影响	86
第三节 水稻生物防控技术	87
一、生理调控	87
二、水稻抗旱性鉴定	90
三、水稻抗旱品种选育	93
第四节 农艺措施及其对季节性干旱的防控节水作用	98
一、种植制度与作物布局	99
二、耕作技术	100
三、播种和管理技术	104
四、受旱后的减灾农艺措施	107
参考文献	108
第四章 玉米旱害机理与防控技术	112
第一节 玉米需水规律与供水特征	113
一、需水规律	113
二、玉米田水分平衡	114
三、区域供水特征	114
第二节 季节性干旱对玉米生长发育的影响机理	117
一、季节性干旱对玉米产量形成的影响	118
二、季节性干旱对玉米源库的影响	119
第三节 生物防控技术	125
一、生理调控技术	126
二、耐旱品种鉴定	133
第四节 农艺防控技术	138
一、避旱减灾耕作制度	139
二、适雨播种和集雨栽培技术	146
三、水肥调节技术	155
四、受旱后的减灾农艺措施	158
参考文献	160
第五章 小麦旱害机理与防控技术	164
第一节 小麦需水规律与供水特征	165

一、需水规律·····	165
二、供水特征·····	168
第二节 季节性干旱对小麦生长发育的影响机理·····	171
第三节 生物防控技术·····	172
一、生理调控·····	172
二、耐旱品种优化配置·····	173
三、生物防控若干事实·····	174
第四节 农艺防控技术·····	175
一、耕作技术·····	175
二、适期播种技术·····	181
三、群体调控技术·····	183
四、水肥调控技术·····	186
参考文献·····	190
第六章 甘薯及主要人工饲草作物旱害机理与防控技术·····	192
第一节 甘薯旱害机理与防控技术·····	192
一、甘薯需水规律及早害特征·····	193
二、生物防控技术·····	196
三、农艺防控技术·····	199
四、问题与展望·····	211
参考文献·····	212
第二节 牧草旱害机理与防控技术·····	213
一、牧草旱害机理·····	214
二、抗旱鉴定的指标与方法·····	219
三、牧草抗逆高产优质栽培技术·····	223
参考文献·····	230
第七章 果树旱害机理与防控节水技术·····	232
第一节 果树需水供水特征与旱害机理·····	233
一、果树需水规律与供水特征·····	233
二、季节性干旱对果树生长发育的影响机理·····	235
第二节 果树节水灌溉技术·····	238
一、果树节水灌溉理论与定额·····	238
二、果树节水灌溉工程技术·····	243
第三节 果树农艺节水防控技术·····	246
一、果树树盘覆盖保墒防控技术·····	246
二、果树行间生草覆盖节水保墒技术·····	249
三、果园节水农作保墒防控技术·····	249
四、水肥一体化节水技术·····	252
五、合理整形修剪抑蒸技术·····	255

六、生物节水技术	256
七、保水剂抗旱节水应用技术	256
八、化学抗旱节水技术	258
参考文献	258
第八章 生化防控节水技术	260
第一节 雨水入渗增强剂	261
一、雨水入渗增强剂及农业应用研究进展	261
二、雨水入渗增强剂的性能与应用效果	262
第二节 生产实际中的农林保水剂应用原理与技术	266
一、农林保水剂的化学节水功能	266
二、保水剂的分类与保水特性	270
三、不同作物类别的保水剂施用技术与效果	274
四、保水剂施用应注意的问题	278
第三节 新型植物蒸腾抑制剂	280
一、植物蒸腾抑制剂分类	280
二、植物蒸腾抑制剂应用效果与技术	281
三、植物蒸腾抑制剂应用中存在的问题	287
四、植物蒸腾抑制剂应用展望	288
第四节 生化防控节水技术在四川的研发和应用	288
一、新型高效生物抗旱生根剂	289
二、成膜反光抗旱剂	290
三、控旺抑蒸剂	293
参考文献	296
第九章 工程防控技术研究	298
第一节 山丘区就地集雨补灌关键技术	302
一、微型集雨工程技术	302
二、渠道防渗工程技术	307
三、低压管道输水灌溉技术	309
四、山丘区蓄一提一供综合集雨节灌技术	312
第二节 土壤水库扩蓄增容技术	314
一、土壤水库扩蓄增容的意义	314
二、土壤水库扩蓄增容的主要技术	315
第三节 农业用水监测与联合调配技术	333
一、水情监测	333
二、雨情监测	334
三、墒情监测	334
四、农业用水实时调配方法及联合调配技术	334
参考文献	338

第十章 综合防控节水技术模式	340
第一节 川中春夏伏旱交错区主要粮食作物综合防控节水技术模式	343
一、区域社会资源概况	343
二、干旱与水资源特征	343
三、综合防控技术模式	344
四、干旱防控关键技术	344
五、示范应用实例	347
第二节 川东高温伏旱区主要粮食作物综合防控技术模式	349
一、区域社会资源概况	349
二、干旱与水资源特征	349
三、综合防控技术模式	350
四、干旱防控关键技术	350
五、示范应用实例	352
第三节 盆西平原干湿交错区粮经作物节水丰产技术模式	353
一、区域社会资源概况	353
二、干旱与水资源特征	353
三、综合防控技术模式	354
四、干旱防控关键技术	354
五、示范应用实例	358
第四节 盆周山地冬干春旱区雨养旱作技术模式	359
一、区域社会资源概况	359
二、干旱与水资源特征	359
三、综合防控技术模式	359
四、干旱防控关键技术	360
五、示范应用实例	361
第五节 川西南山地果菜综合防控技术模式	362
一、区域社会资源概况	362
二、干旱与水资源特征	362
三、综合防控技术模式	363
四、干旱防控关键技术	363
五、示范应用实例	364
参考文献	365
第十一章 季节性干旱防控与节水农业技术发展前景展望	366
第一节 季节性干旱区农业面临的新问题	366
一、季节性、区域性干旱日益频繁	366
二、水利工程设施老化, 农业水资源开发投入不足	367
三、水环境污染日趋严重	367
四、科学有效应对旱灾的能力弱	368

五、干旱防控与节水农业技术的推广体系未完全构建	369
第二节 可持续发展战略	369
一、加大高新技术瓶颈攻关	369
二、构建现代抗旱节水农业发展体系	370
三、加强干旱防控与节水农业技术示范推广	370
参考文献	370
附录：四川干旱历史及气候变化特征	372
第一节 1840 年前旱灾	372
第二节 1840~1949 年旱灾	389
第三节 1950~2009 年旱灾	405
第四节 四川气候变化特征	479
一、四川气候及气候变化的主要特点	479
二、气温变化特点	481
三、降水变化特点	485
四、日照变化特点	488
五、极端气候事件变化特点	495
六、季节性干旱变化特点	495