

中国西北地区 粮食与食品安全 对气候变化的响应研究

Response to Climate Change for Grain and Food Safety
in the Northwest Region of China

肖国举 李 裕 编著

 气象出版社
China Meteorological Press

中国西北地区粮食与食品安全 对气候变化的响应研究

肖国举 李 裕 编著

内容提要

针对西北地区气候变化基本特征和保障粮食与食品安全的现实需求,本书开展了气候变化对作物生理生态、生长发育,水资源,土壤质量,生态系统结构和功能的影响研究,诠释了粮食与食品安全应对气候变化影响的重要性和迫切性,提出了西北地区粮食和食品安全生产的技术对策,旨在为政府决策、专家学者和农业科技工作者应对全球气候变化提供重要的理论基础和技术对策。本书可供气象、地理、环境、生态、水文、农业、食品相关领域的科研人员,政府管理部门以及高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国西北地区粮食与食品安全对气候变化的响应研究/肖国举,
李裕编著. —北京:气象出版社,2012.6

ISBN 978-7-5029-5518-2

I. ①中… II. ①肖…②李… III. ①气候变化-影响
-粮食-食品安全-研究-西北地区 IV. ①TS210.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 136057 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:蔺学东

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:475 千字

版 次:2012 年 6 月第 1 版

定 价:60.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:章澄昌

责任技编:吴庭芳

印 张:18.5

印 次:2012 年 6 月第 1 次印刷

序

也许由于小时候读王勃写的《滕王阁序》留下的印象太过于深刻,也许平时读到的一些序太精彩了,总觉得《序》应该是文章中的极品,往往能起到画龙点睛的作用,是很不容易写的,非大家不敢写序,非大作品不配有序。自己做学问 20 多年来,从没有请他人给自己写的书作序或接受邀请为别人作序,总感到自己的书还不配有序,自己也还远不够资格为别人的书作序。然而,没有想到这次却破例了,破例的原因并不是自己够资格了,而是没有架住两位作者的诚恳而热情的邀请,也不否认自己对作者有一点偏爱的私心,想通过这种方式给他们写一点鼓励的话,使他们能够在科学的征途上增加信心和热情。

肖国举和李裕二位作者都是我的博士后。作为博士后合作导师的我,先后与他们有过十分愉快而难忘的科研合作经历。虽然,现在他们都已经回到自己单位从事教学或科研工作,但我与他们之间一直保持着良好的科研合作关系和深厚的师生情谊。肖国举和李裕二位作者都是极其刻苦认真,而又对科学执著的人,在博士后期间都曾获得了人事部博士后科学基金的资助,都已做出了非常优秀的科研工作,他们的科研成果已经在国际上产生了很不错的反响。他们如今已成长为各自单位的学术带头人,正在自己工作岗位上发挥着独当一面的作用。

《中国西北地区粮食与食品安全对气候变化的响应研究》这本书应该说是起源于去年一次学术会议间隙我与肖国举和李裕二位作者的闲聊之中。当时,我们从会议中讨论到的一些气候变化问题谈到如何才能让更多的人认识到气候变化问题对农业的重要性和迫切性。因为,我们深刻感受到,西北作为全球气候变化敏感区和生态环境脆弱区,农业受气候变化的影响十分显著,气候变化不仅事关西北粮食生产安全,而且与食品安全也密切相关,如果能够有一本这方面的书也许会对提高大众对气候变化问题的认识有所帮助。他们二位从读硕士到读博士,再到后来先后跟我做博士后,甚至在现在的工作岗位上都一直在从事西北地区气候变化对农业影响方面的研究,对气候变化与粮食和食品安全问题已经有了一些很不错的认识。我觉得他们二人目前的科研成果基本可以写一本有关气候变化与粮食安全的书。我鼓励他们写这本书的本意并不是想让他们炫耀其成果,而主要是希望通过这本书在从事气候变化对农业影响研究的学者与农业生产者和决策者之间架起一道思想沟通的桥梁,让更多农业生产者和决策者能够认识到气候变化对粮食和食品安全的重要性和迫切性,让更多农业技术人员和农业生产者能

够掌握应对气候变化的方法和措施,切实减少气候变化给我国西北地区粮食和食品安全带来的风险,以便最大限度地把握和利用气候变化为现代农业发展带来的机遇。

在这本书写作之前,我曾给二位作者提过一个大概的框架和思路。在写作过程中,也曾对提纲和一些具体内容提出过一些不成熟的建议。本来希望他们把这本书写得更科普一些,更实用一些,成为一本更大众化的读物,能起到科学家与大众之间对话的作用。但现在看来,这个目的并没有完全达到,这本书还是学院气强了一点,更多表现出的是对科学问题的揭示。不过,这本书内容源自作者们自己的科研成果,其内容不仅包括了气候变化与土壤生态环境、作物生长发育及粮食安全、有机农业及食品安全、雨水资源及水分利用效率等的基本特征和规律的认识,并从粮食与食品安全的角度比较系统地提出了应对气候变化的技术对策,对一些科学问题有新认识和新突破,仍然不失为一本具有一定理论水平和实践指导意义的著作,相信会对我国西北地区发展现代农业技术,突破资源环境约束,减少气候变化风险,确保粮食和食品安全起到很好的科技支撑作用。

写的这点东西还算不得序,只是对我所了解的作者和这本书的背景做一点介绍,虽起不到画龙点睛的作用,但多多少少可以帮助读者对这本书多一些了解。

张强

2012年2月16日于兰州

前 言

西北地区幅员辽阔,生态类型复杂,资源丰富,气候条件多样,农业在国民经济中占有重要地位,粮食生产潜力巨大。近半个世纪以来,西北地区气候变化表现在气温显著升高,降水量总体减少且区域性差异明显。西北地区整体暖干化趋势明显,极端高温和低温事件发生显著变化,干旱灾害事件发生频率提高,冰雹、雷暴、暴雨、干热风危害呈现增加趋势,是典型的气候变化敏感区。西北地区气候经历了高温、干旱、暖冬等一系列变化,对粮食和食品安全产生了重大影响。未来50年全球气候继续变暖,直接影响种植业生产、生态系统稳定性和病原菌传播途径,必将对粮食、食品和生态安全提出新的挑战。

改革开放30多年来,西北地区粮食实现了由长期短缺到总量供给的基本平衡,实现了区域范围内的平衡自给。1978年,西北地区粮食总产1874.5万吨,2009年达到3633.0万吨,增幅93.8%,远高于全国25.1%增幅的平均值。但从当前和未来发展看,耕地、水资源的刚性约束越加突出,气候变化带来的风险和不确定性不断加剧,使粮食持续稳定增长的难度逐步加大。2012年2月1日,中共中央、国务院发布《关于加快推进农业科技创新,持续增强农产品供给保障能力的若干意见》(中央1号文件),把农业科技摆上更加突出的位置。

农业科技是确保国家粮食安全的基础支撑,是突破资源环境约束的必然选择,是加快现代农业建设的决定力量。20世纪80年代以来,我国科学家开展了多方位的应对全球气候变化及国际合作研究。特别是近20年来,气候变化对粮食生产影响的研究成果取得了显著进展,为应对全球气候变化作出了积极贡献。针对西北地区气候变化基本特征和保障粮食与食品安全的现实需要,我们深入开展了气候变化对作物生理生态、生长发育,水资源,土壤质量,生态系统结构和功能的影响研究,从粮食、食品与生态安全的战略高度诠释了气候变化影响的重要性和迫切性,旨在为政府决策、专家学者和农业科技工作者应对全球气候变化提供重要的理论基础和技术对策。

本书总结了近10年来的研究成果,从西北地区气候变化基本特征入手,重点阐述气候变化与土壤生态环境及质量、作物生产及粮食安全、有机农业及食品安全、雨水资源及水分利用效率的影响,提出西北地区应对气候变化提升粮食与食品安全的技术对策。本书共6章,第1、3、5、6章由肖国举整理撰写,第2、4章由李裕整理撰写。特请恩师张强研究员指导全书整体构架,统领全稿,并作序。

本书是国家公益性行业气象科研专项“西北地区旱作农业对气候变暖的响应特征及其预警和应对技术研究”(GYHY200806021)的主要成果之一。同时,本书部分研究内容得到国家公益性气象行业科研专项(GYHU201106029)、国家重大科学研究计划(2012CB955304)、科技部科研院所公益研究专项(2005DIB3J100)、国家自然科学基金(1165009)、博士后科学基金资助金(20060390100,20100470892)等项目的资助,宁夏大学“211 工程建设项目”资助了部分出版经费,特此说明。

借此机会真诚地感谢西北农林科技大学王立祥教授,兰州大学王刚、王静教授,中国科学院水利部水土保持研究所山仑院士,甘肃省气象局张强研究员!他们作为导师,以勇于挑战前沿的学术精神,创新前瞻的学术思想,渊博的知识,宽广的胸怀和高尚的师德,深深地影响和鼓励着我们,并受益于一生。还要感谢宁夏大学、西北民族大学、中国气象局兰州干旱气象研究所、兰州大学、中国气象科学研究院、西北农林科技大学、西南大学、贵州大学等高校和科研院所同仁多年来愉快的合作、鼎力支持和大力帮助。

肖国举

2012年3月1日写于宁夏大学润田园

绪 言

近半个世纪以来,西北地区气候变化表现在气温显著升高,降水量总体减少且区域性差异明显。整体暖干化趋势明显,极端高温和低温事件发生显著变化,干旱灾害事件发生频率提高,冰雹、雷暴暴洪、干热风危害呈现增加趋势,是典型的气候变化敏感区。气候经历了高温、干旱、暖冬等一系列变化,对粮食和食品安全产生了重大影响。未来 50 年全球气候继续变暖,直接影响种植业生产、生态系统稳定性和病原菌传播途径,必将对粮食、食品和生态安全提出新的挑战。

I. 气候变化与土壤环境

全球气候变暖通过风化剥蚀和化学风化,加速岩石的成土过程,尽管这种变化仍然是缓慢的。气候变化使土壤有机碳库既可能成为汇而储藏,也可能成为源而排放。全球平均气温每升高 1°C ,土壤有机质将向大气释放 $1.11 \times 10^{16} \sim 3.38 \times 10^{16} \text{ g}$ 碳。预测 2030 年大气中 CO_2 浓度可能会加倍,全球年平均气温将升高 $1.5 \sim 4.5^{\circ}\text{C}$,降水可能增加 $7\% \sim 15\%$,无疑对土壤碳库蓄积产生巨大影响。

伴随温度的升高,土壤水分蒸发加快。西北半干旱区 20 世纪 90 年代较 50 年代土壤水分蒸发量增加了 $35 \sim 45 \text{ mm}$ 。西北干旱区经过一个冬季增温,土壤含水量明显减少。冬季增温 $0.5 \sim 2.5^{\circ}\text{C}$,土壤层耕作层含水量从 18.5% 减少到 $16.2\% \sim 12.5\%$,减少了 $12.4\% \sim 32.4\%$ 。气候变暖加剧了土壤水分蒸发,带动土壤盐分向上移动,引起土壤耕作层盐分增加,导致土壤盐碱危害加剧。

II. 气候变化与粮食安全

全球大气中 CO_2 浓度升高对作物最直接的影响是引起光合作用的变化。 CO_2 浓度升高农作物产量有不同程度的提高。 CO_2 浓度升高 40ppm,可适量提高春小麦穗粒数和千粒重,有利于提高春小麦产量; CO_2 浓度升高后,春小麦拔节期和孕穗期进行补充灌溉和追施氮肥,可以显著提高产量。

气候变暖影响作物的光合作用和蒸腾作用。一般情况下,温度升高有利于作物进行光合作用。但是,温度过高会影响作物的光合作用。增温 $1.0 \sim 2.5^{\circ}\text{C}$,西北灌区春小麦三叶期蒸腾速率明显上升,但是光合速率明显下降;拔节期和开花期,随着增温,光合速率与蒸腾速率明显上升;孕穗期,增温导致光合速率明显下降。增温对春小麦三叶期穗的分化和形成受到影响,进而影响到穗粒数;对孕穗期干物质的累积受到影响,进而影响到千粒重,最终导致减产。

西北地区增温加速作物生长发育,缩短生育期,严重影响作物产量。增温 $0.5 \sim 2.5^{\circ}\text{C}$,引起灌区春小麦全生育期缩短 $18 \sim 22 \text{ d}$,减产 $16.5\% \sim 18.5\%$;增温 $0.6 \sim 2.2^{\circ}\text{C}$,导致雨养区豌豆全生育期天数缩短 $3 \sim 17 \text{ d}$,产量降低 $6.3\% \sim 17.5\%$;增温 $0.5 \sim 2.0^{\circ}\text{C}$,导致雨养区豌豆一

春小麦—马铃薯轮作系统作物全生育期天数缩短 11~42 d,产量降低 3.2%~9.4%。预期未来 30~50 a 气候变化对西北干旱半干旱区粮食生产带来更加严峻的挑战,粮食安全压力会明显增大。

III. 气候变化与食品安全

近年来,气候变化对食品安全的影响已成为广泛关注的焦点。一般认为,种植业是农业和养殖业中对气候变化反应最为敏感的环节,温度、干旱、降雨、风和 CO₂ 水平的变化,改变着化肥、农药投入,引起土壤退化,加重作物害虫、昆虫和病害受灾程度。气候变化对畜牧业也产生严重的影响,而且极端天气如洪水和热浪伴随的食品病原菌污染对食品安全构成严重威胁。因此,在气候变化背景下人类将面临食品安全的严峻挑战。

发展低碳农业是减缓和适应气候变化的有效途径之一。有机农业减少化学物质和化石能源投入,直接和间接减少了温室气体的排放,增加碳汇,是应对气候变化的主要农业生产方式。在战略性对策方面,以有机农业为主导发展方向,协调生产、发展与生态环境之间的关系,充分发挥自然生产潜力,体现生态、经济和社会效益并重的农业可持续发展。在全球气候变化的背景下,西北旱农耕作区发展有机农业、生产有机食品具有可行性。

IV. 气候变化与雨水资源利用

气候变化对我国西北地区水资源的影响日益彰显,并有不断加重的趋势。近 50 a 以来,干旱缺水格局呈扩大、加重趋势,部分地区大旱程度之烈、持续之久历史罕见。气候变暖加速了干旱半干旱区植物蒸腾和土壤水分蒸发,影响到作物水分利用效率。最近 50 a,西北半干旱区气温升高 0.6~1.6℃,降雨量减少 67.7~105.6 mm,小麦、马铃薯、玉米的水分利用效率分别提高 0.5~10.7、0.6~4.5、0.5~12.2 kg/(hm²·mm)。随着全球气候变暖 and 降雨量减少,半干旱区作物水分利用效率呈明显的增加趋势,为半干旱区发展覆膜保墒集雨补灌旱作节水农业提供了科学依据。

面对未来全球气候变暖控制在 2.0~2.5℃ 的目标,作物的水分利用效率有怎样的响应?研究表明 CO₂ 浓度升高有利于提高作物水分利用效率,CO₂ 浓度升高 5.8~37.9ppm,春小麦水分利用效率提高 0.5%~14.6%。但随着温度升高,作物水分利用效率出现下降趋势。增温 0.6~2.2℃,豌豆水分利用效率下降 4.3%~33.3%。增温 0.5~2.0℃,豌豆—春小麦—马铃薯轮作系统作物水分利用效率下降 3.0%~12.4%。

V. 应对气候变化技术对策

未来 50 a,气候变暖必将对粮食、食品、生态安全提出新的挑战。为此,西北地区实施“冬小麦北移”、“压夏扩秋”和“多熟种植”的作物种植结构策略,推进农业结构和种植制度调整,提升粮食生产水平;积极推进气候变化对食品安全的影响研究,为应对未来食品安全提供准确的科学依据;全球气候变化降低了生态系统稳定性,加剧了水资源问题的复杂性,优先安排生态用水。西北地区干旱灾害事件发生频率增强,冰雹、雷暴暴洪、干热风危害程度加重。建立极端天气气候事件预测预警技术,提升应对极端气候事件的能力,降低自然灾害的危害。

需要特别指出,粮食与食品安全应对气候变化研究是一个重大命题,富有挑战性。由于研究区域类型复杂多样,研究内容面广量大,加之研究者难以具有全面系统的工作基础、阅历水

平和博采众长的能力,本书提出的以上研究结论和观点,可能具有争议也在所难免。相信通过致力于应对气候变化研究的学界仁人志士的协同努力,以宽广的胸怀和执著的态度不断充实和完善尚未解决和富有挑战性的观点与内容,提升应对气候变化的理论水平与技术对策,必然会实现由“自然王国”到“必然王国”的跨越。

李 裕

2012年3月18日写于西北民族大学

目 录

序	
前言	
绪言	
第 1 章 西北地区气候变化与粮食生产及生态环境现状	1
第 1 节 我国西北地区气候变化概况	2
第 2 节 西北地区水资源利用现状	12
第 3 节 西北地区粮食生产现状	21
第 4 节 西北地区生态环境现状	27
参考文献	36
第 2 章 气候变化与土壤生态环境	38
第 1 节 气候变化对土壤生态环境影响研究进展	38
第 2 节 半干旱区土壤中痕量元素的来源 ——以甘肃中部半干旱地区为例	43
第 3 节 暖冬对土壤养分和微生物的影响 ——以宁夏引黄灌区为例	49
第 4 节 暖冬对土壤水分及盐碱化的影响 ——以宁夏引黄灌区为例	53
第 5 节 气候变暖对土壤盐分及其灌水量的影响 ——以宁夏引黄灌区为例	60
第 6 节 半干旱雨养农业区土壤环境评价 ——以甘肃中部雨养农业区为例	66
参考文献	71
第 3 章 气候变化与粮食安全	75
第 1 节 气候变化对作物生长发育及粮食安全影响研究进展	76
第 2 节 CO ₂ 浓度升高对雨养春小麦生长发育的影响	81
第 3 节 CO ₂ 浓度升高对雨养春小麦田间生态系统边缘效应的影响	88
第 4 节 CO ₂ 浓度升高对雨养春小麦产量的影响	97
第 5 节 气候变暖对灌溉春小麦生长发育的影响	102

第 6 节	气候变暖对豌豆生长发育的影响 ——以中温带半干旱雨养农业区为例·····	107
第 7 节	气候变化对不同海拔高度冬小麦生长发育的影响 ——以中温带半干旱雨养农业区为例·····	110
第 8 节	气候变暖对灌溉春小麦产量的影响 ——以宁夏引黄灌区为例·····	114
第 9 节	气候变化对雨养冬小麦产量的影响·····	116
第 10 节	气候变暖对半干旱区豌豆产量的影响·····	121
第 11 节	气候变暖对作物轮作生态系统产量的影响 ——以典型半干旱区为例·····	123
参考文献	·····	127
第 4 章	气候变化与食品安全·····	133
第 1 节	气候变化对食品安全的影响研究进展·····	134
第 2 节	气候变化、有机农业与可持续发展·····	137
第 3 节	气候变暖对春小麦籽粒痕量元素利用率的影响·····	145
第 4 节	干旱区沿黄两岸蔬菜重金属污染·····	154
第 5 节	镉的致癌性与食品中镉的生物有效性·····	159
第 6 节	镉的生态风险·····	163
第 7 节	半干旱雨养农业区食品安全性评价·····	166
第 8 节	半干旱地区发展有机农业和绿色食品环境质量评价·····	171
第 9 节	半干旱地区发展有机农业和绿色食品产业的可行性 ——以甘肃中部旱农耕作区为例·····	180
参考文献	·····	189
第 5 章	气候变化与雨水资源利用·····	200
第 1 节	气候变化对雨水资源影响研究进展·····	200
第 2 节	CO ₂ 浓度升高对春小麦水分利用效率的影响·····	205
第 3 节	气候变化对小麦、玉米和马铃薯水分利用效率的影响 ——以典型半干旱区固原为例·····	210
第 4 节	气候变化对冬小麦水分利用效率的影响·····	216
第 5 节	气候变暖对豌豆水分利用效率的影响·····	219
第 6 节	气候变暖对作物轮作系统水分利用效率的影响·····	222
第 7 节	暖冬对灌区土壤水分利用的影响 ——以宁夏引黄灌区为例·····	224
参考文献	·····	228
第 6 章	应对气候变化技术对策·····	231
第 1 节	提升西北地区粮食和食品安全对策与建议·····	231

第 2 节	旱地作物生育期集雨补灌指标	
	——以西北典型半干旱区固原为例·····	238
第 3 节	春小麦降水生产潜势与耗水亏缺量·····	243
第 4 节	土壤养分与肥力水平对春小麦的增产效应·····	246
第 5 节	不同品种与耕作方式对春小麦的增产效应·····	249
第 6 节	玉米种植与集雨补灌增产效应·····	257
第 7 节	马铃薯栽培与集雨补灌增产效应·····	260
第 8 节	垄沟径流集水蓄墒增产效应·····	265
第 9 节	田间垄沟集雨与补充灌溉技术应用研究·····	270
	参考文献·····	276

Contents

Chapter 1 Climatic Change and Status Quo of Food and Ecological Environment in the Northwest Region of China	1
Section 1 Overview of Climatic Change in the Northwest Region	2
Section 2 Status Quo of Water Resources Utilization in the Northwest Region	12
Section 3 Status Quo of Food Production in the Northwest Region	21
Section 4 Status Quo of Ecological Environment in the Northwest Region	27
References	36
Chapter 2 Climatic Change and Soil Ecological Environment in the Northwest Region	38
Section 1 Study Progress on the Impact of Climatic Change on Soil Ecological Environment	38
Section 2 Sources of Trace Elements in the Soil of the Semi-arid Area	43
Section 3 Impact of Mild Winter on Nutrient and Microbe of Soil	49
Section 4 Impact of Mild Winter on Moisture and Salinization of Soil	53
Section 5 Impact of Warming on Soil Salinity and Irrigation Volume	60
Section 6 Soil Environmental Assessment of Semi-arid Rain-fed Agricultural Region	66
References	71
Chapter 3 Climatic Change and Food Safety	75
Section 1 Study Progress on the Impact of Climatic Change on the Growth and Development of Crops and Food Safety	76
Section 2 Impact of Rising CO ₂ Concentration on the Growth and Development of Rain-fed Spring Wheat	81
Section 3 Impact of Rising CO ₂ Concentration on the Edge Effect of the Field Ecological Environment of Rain-fed Spring Wheat	88
Section 4 Impact of Rising CO ₂ Concentration on the Yield of Rain-fed Spring Wheat	97
Section 5 Impact of Warming on the Growth and Development of Irrigation Spring Wheat	102
Section 6 Impact of Warming on the Growth and Development of Pea	107

Section 7	Impact of Climatic Change on the Growth and Development of Winter Wheat in Different Altitude	110
Section 8	Impact of Climatic Change on the Yield of Irrigation Spring Wheat ...	114
Section 9	Impact of Climatic Change on the Yield of Rain-fed Spring Wheat	116
Section 10	Impact of Climatic Change on the Yield of Pea in the Semi-arid Area	121
Section 11	Impact of Warming on the Yield of Crops Rotation Ecological System	123
References		127
Chapter 4	Climatic Change and Food Safety	133
Section 1	Study Progress on the Impact of Climatic Change on Food Safety	134
Section 2	Climatic Change, Organic Agriculture and Sustainable Development ...	137
Section 3	Impact of Warming on the Trace Elements Utilization Rate of Spring Wheat Kernel	145
Section 4	Heavy Metal Pollution of Vegetables on Both Sides along the Yellow River in the Arid Area	154
Section 5	Carcinogenicity of Cadmium and the Biological Effectiveness Thereof in Food	159
Section 6	Ecological Risk of Cadmium	163
Section 7	Food Safety Assessment in the Semi-arid Rain-fed Agricultural Region	166
Section 8	Environmental Quality Assessment of the Development of Organic Agriculture and Environmental Protection Food in the Semi-arid Area	171
Section 9	Feasibility of the Development of Organic Agriculture and Environmental Protection Food in the Semi-arid Area	180
References		189
Chapter 5	Climatic Change and Rainwater Resources Utilization	200
Section 1	Study Progress on the Impact of Climatic Change on Rainwater Resources	200
Section 2	Impact of Rising CO ₂ Level on Water Use Efficiency of Spring Wheat	205
Section 3	Impact of Climatic Change on the Water Use Efficiency of Spring Wheat, Potato and Corn	210
Section 4	Impact of Climatic Change on the Water Use Efficiency of Winter Wheat	216
Section 5	Impact of Warming on the Water Use Efficiency of Pea	219

Section 6	Impact of Warming on the Water Use Efficiency of Crops Rotation System	222
Section 7	Impact of Mild Winter on Water Evaporation of Soil in the Irrigation Area	224
References		228
Chapter 6	Technical Countermeasures to Climatic Change	231
Section 1	Technical Countermeasures and Suggestions on Promoting the Grain and Food Safety in the Northwest Region	231
Section 2	Index of Supplementary Irrigation during the Growth Period of Dryland Crops	238
Section 3	Precipitation Production Potential and Water Deprivation Shortage of Spring Wheat	243
Section 4	Yield Increasing Effect of Soil Nutrient and Fertility Level on Spring Wheat	246
Section 5	Yield Increasing Effect of Different Breeds and Farming on Spring Wheat	249
Section 6	Yield Increasing Effect of Corn Plant and Rainwater Collection Supplementary Irrigation	257
Section 7	Yield Increasing Effect of Potato Cultivation and Rainwater Collection Supplementary Irrigation	260
Section 8	Yield Increasing Effect of Water Collection and Moisture Storage in Furrow and Runoff	265
Section 9	Application of Rainwater Collection in Field Furrow and Supplementary Irrigation Technology	270
References		276

第1章 西北地区气候变化与粮食生产及生态环境现状

【摘要】 我国西北地区地处内陆,海洋暖湿气流难以到达,长期以来形成了干旱半干旱的基本气候特征。近几十年,西北地区气候变化趋势表现在温度显著升高,但日平均温度变化具有明显的季节性变化特征。春、夏季出现弱的增温趋势,秋季体现出较强的增温趋势,冬季表现出明显的增温趋势。极端高温和低温事件发生显著变化,极端暖日数明显增多,极端冷日数显著减少。西北地区降水量变化的区域差异十分明显,除西北地区西部少部分区域呈增多趋势外,大部分区域呈减少趋势。西北地区整体暖干化趋势明显,局部出现暖湿现象。干旱灾害事件发生频率增加,雷暴、暴洪危害程度和范围呈现增加趋势,干热风发生频率及危害出现加重趋势。总之,过去 50 a 西北地区气候经历了高温、干旱、暖冬等一系列变化特征。

改革开放 30 多年以来,我国西北地区粮食供求关系基本实现了由长期短缺到总量供给的基本平衡,实现了区域范围内的平衡自给。1978 年,西北地区粮食总产量 1874.5 万 t,2009 年达到 3633.0 万 t,增加了 1758.5 万 t,增幅 93.8%,远高过全国 25.1% 的平均增幅。但是,截至 2010 年除新疆粮食略自给有余外,陕西、甘肃、青海仍有粮食缺口 800.4 万 t。气候变化引起西北地区增温幅度明显、降水格局变化显著,自然灾害频率增强,对西北干旱半干旱区易出现大幅度波动的粮食生产带来更加严峻的挑战,粮食安全压力显著增大。

我国西北地区多年平均水资源总量为 2304.4 亿 m^3 ,可用于社会经济和生态环境的水资源利用量为 1176.2 亿 m^3 。农业是用水大户,用水比重占 89.4%。供水量中以地表水为主体,其开发利用率为 49.8%,地下水开采率平均为 14.3%,水资源平均利用程度为 53.1%。总体来看,西北地区水资源利用程度高,开发利用潜力有限,水资源利用效率偏低。由于受气候变化影响,降水资源年际变化很大,冬、春季干旱频繁发生,进一步加剧了水资源供需矛盾,给国民经济的持续发展造成了严重障碍。

西北地区以干旱为气候主导因子,决定了生态环境的脆弱性。生态环境总体表现为:荒漠化趋势日益严重,荒漠化面积扩大;天然草场退化,生产力下降;森林资源减少,生态系统功能下降;沙尘暴频发,危害严重;水土流失严重,干旱灾害加剧。近半个世纪以来,气候变化对生态环境的影响日益增大,引起了生态系统功能退化和生物资源破坏,成为影响我国西北地区社会经济可持续发展最突出的问题之一。

【关键词】 气候变暖,降雨量, CO_2 浓度,暖冬,干旱,自然灾害;水资源,供水量,耗水量;粮食安全,压夏扩秋,冬小麦北移,复种指数,节水农业;生态安全,生物多样性,土地荒漠化,土地承载力