

王润元 主编

中国西北地区农作物 对气候变化的响应



 气象出版社
China Meteorological Press

主 编：王润元

副主编：肖国举 王鹏祥

陶健红 姚玉璧

中国西北地区农作物 对气候变化的响应



气象出版社

China Meteorological Press

内 容 简 介

本书是科技部科研院所社会公益研究专项“西北农作物对气候变化的响应及其评价方法”(2005DIB3J100)项目的主要研究成果之一,共精选收集 31 篇论文。内容包括气候资源与农业气候变化特征、农作物生理生态对气候变化的响应、农作物生长发育对气候变化的响应及机理、农作物种植结构和地理分布对气候变化的响应、土壤水分和气象灾害对气候变化的响应等 5 个方面。这些研究成果不仅具有较高的学术价值,而且具有很好的应用性。本书可供气象、农业、环境、生态、土壤、水利、地理等领域从事相关科学研究和业务部门的专业人员以及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国西北地区农作物对气候变化的响应/王润元主编.
北京:气象出版社,2008.12
ISBN 978-7-5029-4621-0

I. 中… II. 王… III. 农作物-气候影响-西北地区-文集 IV. S162.5-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 181581 号

Zhongguo Xibei Diqu Nongzuowu dui Qihou Bianhua de Xiangying
中国西北地区农作物对气候变化的响应
王润元 主编

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://cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:王元庆

封面设计:王 伟

责任校对:赵 寒

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:460 千字

版 次:2009 年 1 月第 1 版

印 次:2009 年 1 月第 1 次印刷

定 价:50.00 元

邮 编:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终 审:林雨晨

责任技编:吴庭芳

印 张:18

印 数:1~1200

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

序

以变暖为主要特征的全球气候变化是人类迄今面临的最大的环境问题,也是21世纪人类面临的最严峻的挑战之一。预计到本世纪末,全球地表平均增温将达 $1.1\sim 6.4^{\circ}\text{C}$ 。气候变暖已对全球自然生态系统以及社会经济系统产生了明显影响,其中不少影响是负面的或不利的。人类如何应对气候变化已成为各国政府、科技界必须面对的紧迫问题。

我国是农业大国,受气候变化的影响,农业气象灾害的频率和强度明显增大,农业生产损失巨大,粮食安全压力和农业生产的不稳定性增加,农业生产布局 and 结构将出现变动,农业成本和投资大幅度增加。同时,气候变化对我国农业的影响表现出明显的地域差异。在人们为减缓气候变化所做的努力还不能很快见效的情况下,寻求农业生产适应气候变化,减少气候变化造成的农业损失,积极利用气候变化为农业生产带来的机遇,已成为农业应对气候变化的共识。

《中国西北地区农作物对气候变化的响应》一书收编了一批气候变化对我国西北农作物影响的最新代表性研究论文。这些论文是科技部科研院所社会公益研究专项“西北农作物对气候变化的响应及其评价方法”(2005DIB3J100)项目的主要研究成果之一,内容涉及西北农作物生理生态、生长发育、种植结构和地理分布等对气候变化的响应,具有显著的区域特色和较高的学术价值。它不仅对气候变化的相关基础研究有很好的参考价值,而且为我国西北农业应对气候变化提供了科学依据。

甘肃省气象局局长

何书余

2008年10月

前 言

农业是对气候变化响应最为敏感的行业之一,气候变化对发展现代农业提出了前所未有的严峻挑战。中国西北地域广阔,是气候变化的敏感地区和农业生产脆弱区。通过研究,我们获得了气候变化对我国西北地区农作物影响的诸多事实,并分析了气候变化对农作物生长发育影响的机理,这将为评估气候变化对西北农业影响、采取合理应对对策、确保粮食生产安全提供科学依据。

本书是科技部科研院所社会公益研究专项“西北农作物对气候变化的响应及其评价方法”(2005DIB3J100)项目的主要成果之一。是从 130 多篇论文中精选出的 31 篇代表性论文,内容包括气候资源与农业气候变化特征、农作物生理生态对气候变化的响应、农作物生长发育对气候变化的响应及机理、农作物种植结构和地理分布对气候变化的响应、土壤水分和气象灾害对气候变化的响应等 5 个方面。这些研究成果不仅具有较高的学术价值,而且具有很好的应用性。期望能对高校师生以及相关科研和业务单位从事该领域研究和服务工作的人员有所帮助。

本书由王润元、肖国举、王鹏祥、陶健红、姚玉璧、杨兴国、谢国辉、赵鸿、王鹤龄、张凯、马鹏里、王劲松、林纾、邓振镛、陈雷、董安祥、王志伟等人收集、整理、编辑,同时得到项目组全体同仁的大力协助和支持。本项目得到科技部、中国气象局、甘肃省科技厅、中国气象局兰州干旱气象研究所、甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室、中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室、中国气象局气候研究开放实验室、乌鲁木齐气象卫星地面站、山西省气候中心等单位的资助和支持。气象出版社编辑王元庆负责编审并作了大量的文字工作,特表感谢。由于时间仓促,加之编者水平有限,有的论文未被选上,在编辑过程中还难免有错漏,敬请批评指正。

王润元

2008 年 10 月

目 录

第一部分 气候资源与农业气候变化特征

近半个世纪来中国西北地面气候变化基本特征·····	王鹏祥,杨金虎,张 强等(3)
中国西北地区气温异常的特征分析·····	陶健红,王遂缠,王宝鉴(13)
中国西北近 45 年来极端低温事件及其对区域增暖的响应·····	杨金虎,沈永平,王鹏祥等(23)
1961—2005 年黄土高原地区积温演变·····	王毅荣(31)

第二部分 农作物生理生态对气候变化的响应

半干旱雨养区小麦叶片光合生理生态特征及其对环境的响应·····	····· 王润元,杨兴国,赵 鸿等(41)
Changes of border effect of spring wheat field system under elevated CO ₂ concentration and supplemental irrigation in semiarid region of China·····	····· Xiao Guoju, Zhang Qiang, Bai Huzhi, <i>et al</i> (49)
陇中黄土高原春小麦光谱反射特征·····	张 凯,郭 锐,王小平等(62)
气候因子影响天山北坡植被指数时空分布研究·····	谢国辉,李晓东,周立平等(69)
Effects of temperature increase on water use and crop yields in a pea-spring wheat-potato rotation·····	Xiao Guoju, Zhang Qiang, Yao Yubi, <i>et al</i> (77)
农作物需水量对气候变化的响应研究·····	马鹏里,杨兴国,陈端生等(89)

第三部分 农作物生长发育对气候变化的响应及机理

全球气候变化对农业生态系统影响的研究进展·····	肖国举,张 强,王 静(97)
Response of corn to climate warming in arid areas in northwest China·····	····· Wang Runyuan, Zhang Qiang, Wang Yaolin, <i>et al</i> (108)
Phenological trends in winter wheat and spring cotton in response to climate changes in northwest China·····	····· Wang Heling, Gan Yantai, Wang Runyuan, <i>et al</i> (117)
气候变暖对河西走廊棉花生长的影响·····	王润元,张 强,刘宏谊等(134)
气候变化对半干旱雨养农业区春小麦生长的影响·····	赵 鸿,肖国举,王润元等(139)
西北干旱区小麦对变暖的响应·····	王润元,张 强,杨兴国等(146)
甘肃省冬小麦生长发育对暖冬现象的响应·····	蒲金涌,姚玉璧,马鹏里等(151)

气候暖干化对甘肃马铃薯生产的影响研究…………… 姚玉璧,邓振镛,王润元等(158)

Impact of recent climatic change on the yield of winter wheat at low and high
altitudes in semi-arid northwest China ……………
…………… Xiao Guoju, Zhang Qiang, Yao Yubi, *et al* (166)

西北干旱半干旱区春小麦生长对气候变暖响应的区域差异 ……………
…………… 赵 鸿,王润元,王鹤龄等(179)

气候变化对河西走廊灌区玉米产量的影响及对策研究…………… 曹 玲,邓振镛,窦永祥等(186)

甘肃省粮油产量对气候变暖的敏感性研究…………… 王毅荣(195)

第四部分 农作物种植结构和地理分布对气候变化的响应

The impact of climate warming on crop planting and production in northwest
China …………… Deng Zhengyong, Zhang Qiang, Pu Jinyong, *et al* (205)

气候变暖对甘肃冬油菜种植的影响…………… 蒲金涌,姚小英,邓振镛等(216)

气候变暖对西北干旱区农作物种植结构的影响…………… 刘德祥,董安祥,梁东升等(222)

甘肃省农业种植结构影响因素及调整原则的探讨…………… 邓振镛,张 强,韩永翔等(231)

甘肃省过去 20 年作物布局演变及其对变暖的响应研究 …… 王鹤龄,王润元,邓振镛等(236)

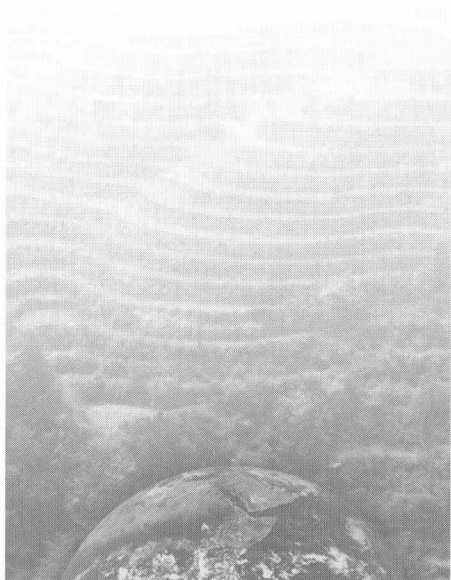
第五部分 土壤水分和气象灾害对气候变化的响应

陇东黄土高原土壤储水量与蒸发和气候研究…………… 王润元,杨兴国,张九林等(245)

西北地区季节性最大冻土深度的分布和变化特征 …………… 杨小利,王劲松(258)

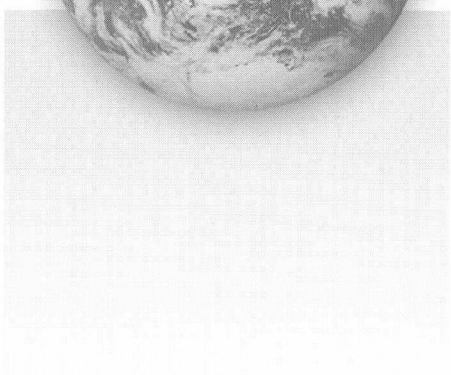
近 40 年甘肃省气象灾害对社会经济的影响 …………… 程 瑛,李维京,王润元等(266)

干旱气候变化对甘肃省干旱灾害的影响及防旱减灾技术的研究 ……………
…………… 邓振镛,张宇飞,赵 鸿等(274)



第一部分

气候资源与农业气候变化特征



近半个世纪来中国西北地面气候变化基本特征

王鹏祥^{1, 2} 杨金虎² 张 强¹ 何金海² 王德民¹ 陆登荣¹

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,

中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

摘要:利用中国西北地区(新、青、甘、宁、陕及内蒙古西部地区) 1960—2003 年 131 个测站年平均气温、年降水量、年蒸发量及年平均地面风速等资料, 分析了近 44 年中国西北地区地面气候变化基本特征。研究表明:近半个世纪来中国西北地区基本都表现为显著的增温趋势, 增温速率普遍为 $0.2 \sim 0.9 \text{ }^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$, 大部分地区高于 $0.22 \text{ }^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$ 的全国平均水平, 与全球变暖的大背景相一致, 并且在 1994 年还发生了一次增温突变。西风带气候区年降水量表现为小幅增加趋势, 而季风带气候区表现为小幅减少趋势。近 44 年来西北地区水面蒸发量表现为显著的减少趋势, 且在 1976 年左右发生了减少突变。整个西北地区平均地面风速减少、日照时数减少、平均日较差减少、相对湿度增加及平均低云量增加可能是水面蒸发量减少的重要原因。

关键词:中国西北; 气候; 变化

当前全球变暖日益显著^[1~5], 深刻地影响人民生活和生产活动, 观测表明, 北半球近 50 年来区域平均温度以 $0.15/10 \text{ a}$ 的速率增温, 1880 年以来北半球地面平均温度升高了 $0.3 \sim 0.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 大多数科学家认为, 大气中的温室气体剧增是全球增暖的主要原因^[6~8]。第四次 IPCC 评估报告指出^[9], 近 100 年全球平均地表气温上升了 $0.74 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 而过去 50 年升温率几乎是过去 100 年的 2 倍。从 21 世纪初的资料看, 增温特征仍很明显, 这种趋势无疑将对全球生态环境带来巨大影响。

全球变暖驱动了复杂的水循环变化, 使得近年来我国西北大部分地区气候环境发生了变化, 出现降水与径流增加, 冰川消融加速, 湖泊水位上升, 大风与沙尘暴日数减少, 植被有所改善等现象。针对这些现象, 研究者捕捉到了这些现象之间的关联, 施雅风^[10]提出了西北气候可能正在由暖干向暖湿转型的科学推断, 这一问题的提出不仅在学术上、而且对我国西部生态环境与社会经济诸多方面均具有重大的现实意义和深远的战略意义, 需要认真和审慎地对待。尤其是这些现象在时间上是暂时的, 还是有可能发生为长期的; 在空间上是局部的, 还是趋于向全局性战略演变, 目前还不甚清楚。蒸发是水循环变化中比较重要的要素, 人们预期全球变

暖可能会使大气变干,导致陆地上水体蒸发上升,但是 Menne^[11] 和 Peterson 等^[12~13] 却发现 1950—1990 年美国和前苏联的蒸发皿蒸发量存在稳定的下降趋势。任国玉^[14] 和左洪超^[15] 分析了近年来我国气候变化趋势及其同蒸发皿观测的蒸发量变化的关系。事实上影响蒸发的因子很多,其变化原因还有待于进一步的研究。西北地区作为我国气候变化的敏感区和生态脆弱区,综合分析近 44 年该地区年平均气温、降水量、蒸发量等地面基本气候要素对全球气候系统变暖的响应和影响蒸发变化的可能气候因子,对深入了解西北地区气候变化规律及探讨气候变化的原因仍然有重要意义。

1 资料和方法

资料来源于中国西北(陕、甘、宁、青、新及内蒙古西部)131 个台站 1960—2003 年逐月平均气温、总降水量、总蒸发量、平均地面风速、平均相对湿度,总日照时数、平均最高、最低气温及平均低云量等资料,统计出了各站逐年平均温度、总降水量、总水面蒸发量、平均地面风速,平均相对湿度、平均日照时数、平均日较差及平均低云量,运用 EOF^[16]、M-K 突变检测^[17] 及气候趋势分析^[18] 等方法分析年平均气温、总降水量、总蒸发量的变化,并探讨了影响蒸发的其他可能因子。

2 年平均气温的时间变化

2.1 趋势分析

图 1a 为中国西北近 44 年来年平均气温的趋势系数空间分布,其中阴影区为通过 0.05 信度检验的区域,从中可以看出,中国西北地区除了青海高原东南部和新疆极小部分区域外,其余地区气温均表现为上升趋势,而且绝大部分区域的上升趋势是显著的,从年平均温度的倾向率空间分布(图 1b)来看,增长率大于 0.5 °C/10a 的区域主要在新疆和青海交界的区域、内蒙古西部的部分地区及陕西东部部分地区,其中增温最明显的为青海的茫崖和内蒙古的临河,增长率分别为 0.88 °C/10a 和 0.75 °C/10a,而绝大多数地区气温增长率都在 0.2 °C/10a 以上,所以中国西北近 44 年来的升温程度是比较明显的。

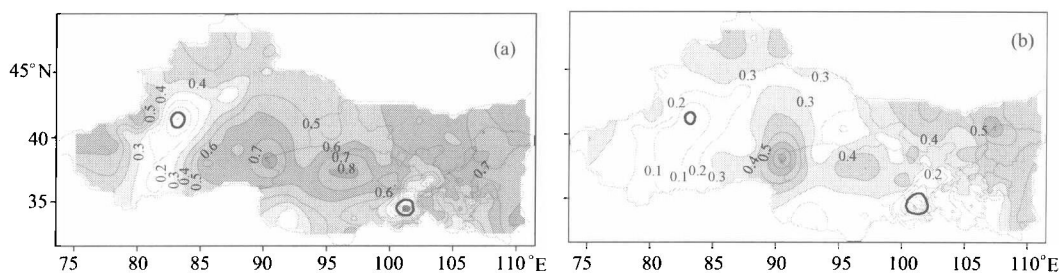


图 1 西北年平均气温 44 年来的趋势系数(a)、倾向率(b)空间分布

陈隆勋^[19]利用 1951—1995 年的资料研究表明,东北和华北是我国增温最明显的区域,新疆一些地区有变冷倾向,并且新疆北部是西北地区增温最明显的区域,增长率为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,任国玉^[14]利用 1951—2001 年的资料分析表明,中国年平均气温整体上升趋势非常明显,温度变化率达 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,上述分析可见整个西北地区近 44 年来表现为整体增加趋势,而且增长率普遍大于全国平均水平,这说明自 20 世纪 60 年代开始西北地区表现出了更加显著的变暖趋势。

2.2 年际变化及突变检测

西北地区地域广阔、地形复杂,尽管从上面分析看出整个西北地区 44 年来表现出一致的增温趋势,但是如果把西北作为一个整体来考虑其气温的年际变化如何?是否发生了增温突变?为此我们通过西北地区 131 个代表站年平均气温 EOF 分解所得的第一特征向量时间系数来回答以上提出的问题。由于 EOF 分解所得第一特征向量的方差贡献率高达 69.7% ,所以第一特征向量时间系数完全可以反映出西北全区年平均温度的变化特点。图 2a 为第一特征向量时间系数序列及其六阶和线性拟合曲线图,由于第一特征向量模态(略)呈一致的正值,所以其时间系数同温度序列的变化是完全一致的。从图中可以发现近 44 年来西北地区温度经历了明显的增温趋势,在 1986 年之前的 27 年中只有 6 年温度偏高,而且在这 6 年中有 5 年的温度偏高的程度很弱,相反在 1986 年之后的 18 年中只有 3 年温度偏低,且偏低的程度很弱,一个很明显的事实是 1996 年之后西北地区的变暖趋势更加明显。同时从六阶拟合曲线来看波动较弱,线性增长的趋势比较明显,这进一步说明了增温的显著性。

图 2b 为第一特征向量时间系数序列 Mann-Kendall 统计量曲线,从图中可以看出,从 20 世纪 70 年代初气温开始缓慢增加,而从 1985 年开始以较明显的趋势增加,在 1994 年开始增加的趋势更为显著,并且在当年发生了增温突变,所以可以讲近 44 年来西北地区年平均气温增加趋势明显,正是由于这些增温突变,使得西北地区 1960—2003 年间的增暖幅度明显大于 1951—1995 年。

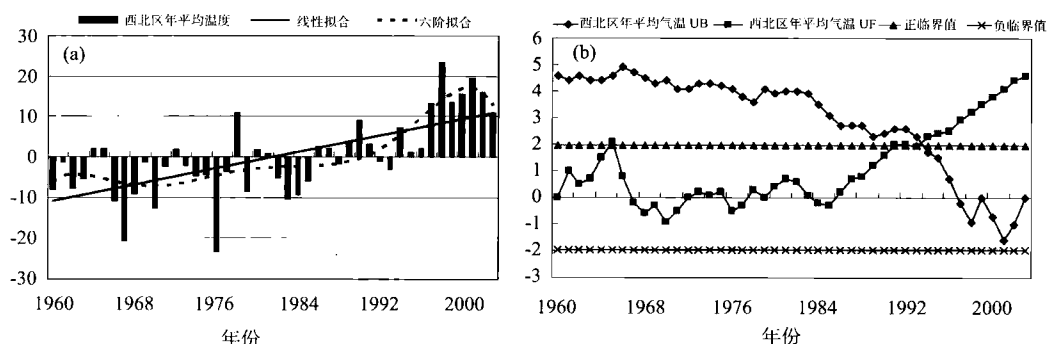


图 2 西北年平均气温时间演变及六阶和线性拟合曲线 (a), Mann-Kendall 突变检测曲线 (b)

3 年降水量的时间变化

3.1 趋势分析

图 3a 为中国西北年降水量近 44 年来的趋势系数空间分布,阴影区为通过 0.05 信度检验的区域,从图中可以清楚地看出,基本以黄河为分界线,黄河以东年降水出现减少趋势,而黄河以西年降水为增加趋势,其中新疆西北和东北部的部分区域及青海高原极小部分地区年降水出现显著增加现象,而青海东南部同甘肃交界处及甘肃东南部少部分地区年降水出现显著减少趋势。从年降水量的倾向率空间分布(图 3b)来看,新疆西北和东北部表现显著增加的区域,年降水量增加率都大于 10 mm/10a,其中增加最多的为新疆的乌鲁木齐,增长率为 30.9 mm/10a,而减少率最大的是青海的河南,为 38.9 mm/10a,甘肃的康县和陕西的略阳减少率也比较大,都超过了 35 mm/10a。总之,西北地区属于西风带气候影响区域(西风区)近 44 年来年降水量表现为增加趋势,而属于季风边缘影响的区域(季风区)近 44 年来年降水量表现为减少趋势。

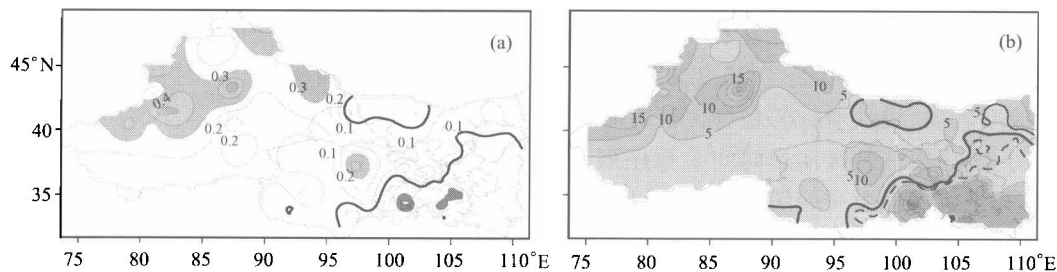


图 3 中国西北 44 年来年降水量的趋势系数(a),倾向率(b)空间分布图

同样陈隆勋^[19]利用 1951—1995 年的资料研究表明,我国 100°E 以东除了东北北部、江淮流域以及广东西部外,降水普遍减少,其中华北减少最多,而江淮流域增加最多,100°E 以西地区,除了西藏、新疆西部以及西藏东南部外都是增加了,而从以上的分析表明,新疆西部近 40 年来降水表现出了明显的增加趋势,这也说明 20 世纪 90 年代中期以后新疆西部也表现出了显著的变湿趋势,这同施雅风^[10]提出的西北正在从暖干向暖湿过渡的结论相一致。中国西北地区降水空间变化的这种不一致性与 20 世纪 60 年代南北半球中纬度西风带加强有关^[9]。

3.2 年际变化及突变检测

同样我们通过西北 131 个代表站年降水量 EOF 分解所得的第一特征向量时间系数来分析近 44 年来西北地区年降水量的变化情况。年降水量 EOF 分解所得第一特征向量的方差贡献率为 30.6%,所以第一特征向量时间系数也基本可以反映出西北区年降水量的变化特点。同时由于第一特征向量模态(略)在西风带区为一致的正值,而季风区为一致负值,所以其时间系数同西风带区变化一致,与季风区变化相反。图 4a 为第一特征向量时间系数序列及其六阶(虚线)和线性(实线)时间趋势拟合曲线图,从图中可以发现近 44 年来西风带区年降水量表现为增加趋势,在 1993 年之前的 33 年中有 19 年降水偏少,特别是 1961,1964 和 1967 年年降水

量异常偏少,而在 1993 年之后的 10 年中只有 2 年降水偏少,而季风区年降水量的变化正好相反,近 44 年来表现为减少趋势。图 4b 为第一特征向量时间系数序列 Mann-Kendall 统计量曲线,从图中可以看出,在 1992 年之前西北地区的年降水量没有表现出明显的增长趋势,尽管在 1992 年之后增加趋势相对较明显,但没有发生突变现象,也正是 20 世纪 90 年代的明显变湿使得西北地区 1960—2003 年的变湿幅度大于 1951—1995 年。

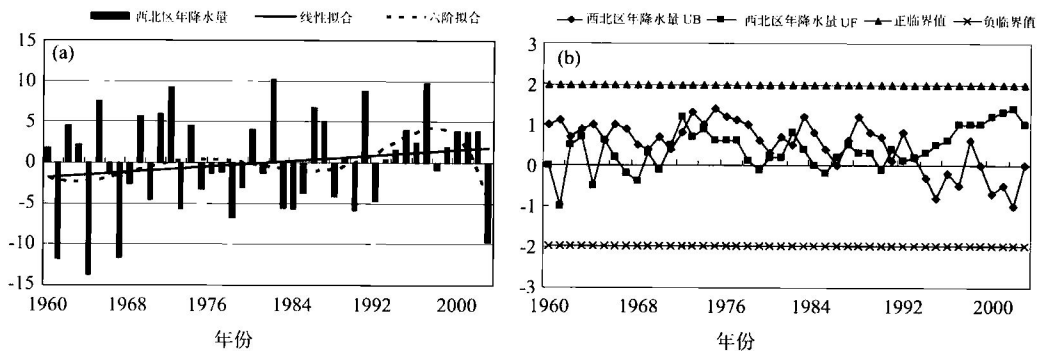


图 4 西北年降水量时间演变及六阶和线性拟合曲线 (a),Mann-Kendall 突变检测曲线(b)

4 年水面蒸发量的时间变化

4.1 趋势分析

图 5a 为中国西北近 44 年来年水面蒸发量的趋势系数空间分布图,阴影区为通过 0.05 信度检验的区域,从图中可以清楚地看出,整个西北地区近 44 年来基本上表现为显著的减少趋势,只有青海南部和西北东南部极少部分区域表现为增加趋势,并且只有个别站点增加的趋势是显著的,从西北年蒸发量的倾向率空间分布(图 5b)来看,新疆中部大部分区域,甘肃河西部分区域,内蒙古西部大部分区域以及青海高原少部分区域的年蒸发量减少率大于 80 mm/10a,其中新疆的库车和阿合奇、内蒙的额济纳旗和阿拉善右旗、甘肃的景泰、青海的诺木洪年蒸发量减少率都大于 200 mm/10a,特别是库车和景泰达 273 mm/10a,而年蒸发量增加最明显的 3 个站为陕西的宝鸡、镇安及佛坪,增长率分别为 127 mm/10a、104 mm/10a 和, 97 mm/10a 其余表现为增加趋势的站点增加率更小。

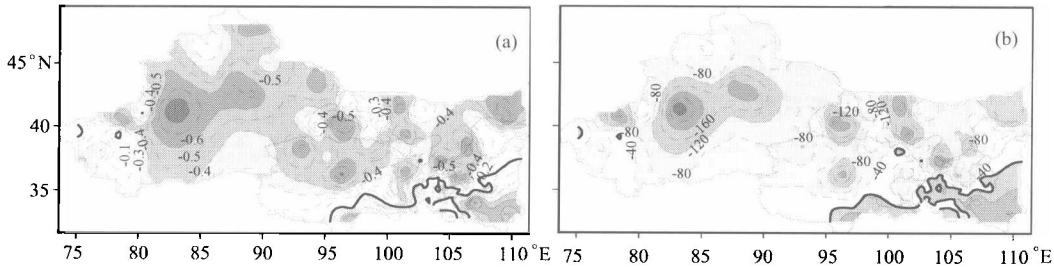


图 5 西北近 44 年来年蒸发量的趋势系数(a),倾向率(b)空间分布

4.2 年际变化及突变检测

同样我们通过西北地区 131 个代表站年水面蒸发量 EOF 分解所得的第一特征向量时间系数来分析近 44 年来西北地区年蒸发量的变化情况。年蒸发量 EOF 分解所得第一特征向量的方差贡献率为 39.6%，所以第一特征向量时间系数也可以反映出西北全区年水面蒸发的变化特点。同样由于第一特征向量模态(略)呈一致的正值，所以其时间系数同年蒸发量序列的变化是完全一致的。图 6a 为第一特征向量时间系数序列时间趋势及其线性(实线)和六阶拟合(虚线)曲线图，从图中可以发现近 44 年来西北地区年水面蒸发量表现为明显的减少趋势，在 1982 年之前的 22 年中只有 4 年水面蒸发量偏少，并且偏少的幅度很弱，而在 1982 年之后的 22 年中只有 5 年水面蒸发量偏多，同样偏多的幅度也不大。图 6b 为第一特征向量时间系数序列 Mann-Kendall 统计量曲线，从图中可以看出，从 1974 年年蒸发开始呈减少趋势，1982 年开始这种减少趋势表现得更为显著，突变发生在 1976 年。西北地区蒸发皿蒸发量呈现的这种稳定下降事实与一些学者^[11,12,15]提出的蒸发量佯谬现象是一致的。

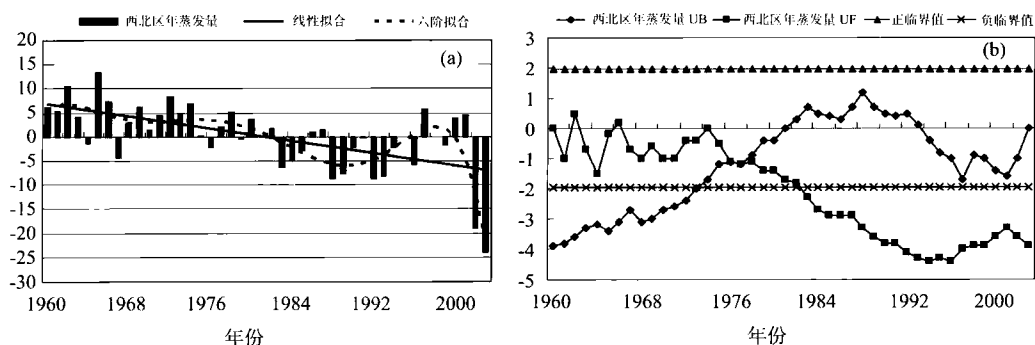


图 6 西北年蒸发时间演变及六阶和线性拟合曲线(a), Mann-Kendall 突变检测曲线(b)

5 年地面风速的变化

5.1 趋势分析

从以上的分析可知，在全球变暖的大背景下西北地区气候变化的总趋势是气温升高，降水增加，为什么水面蒸发量却呈减小趋势？影响水面蒸发的因素很多，除了海拔高度和植被覆盖状况外，地面风速变化是影响蒸发能力大小的一个非常重要的因素，也就是说，当地面风速越大，蒸发越大，反之，当地面风速减小，蒸发将减小。本文分析了中国西北近 44 年来年地面风速的变化特征。从趋势系数空间分布(图 7a, 阴影区为通过 0.05 信度检验的区域)可以清楚地看出，整个西北地区近 44 年来几乎都表现为显著的减少趋势，只有新疆东部和贺兰山区附近极少部分区域表现为增加趋势，并且只有个别站点增加的趋势是显著的，从年地面风速的倾向率空间分布(图 7b)可以看出，减少最明显的南疆和内蒙古西部及河套一带减少率大于 0.3 m/s/10a，其中内蒙古的四子王旗和甘肃的景泰减少率大于 0.5 m/s/10a，而新疆东北部小部分区域增加趋势也是显著的，其中七角井增长率也大于 0.5 m/s/10a。总的来说西北地区近

44 年来地面风速整体表现为显著的减少趋势。

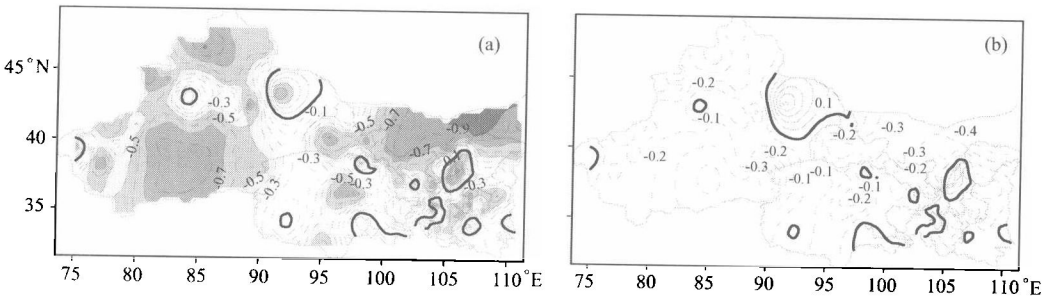


图 7 西北近 44 年来年地面风速的趋势系数(a)、倾向率(b)空间分布图

5.2 年际变化及突变检测

同样我们通过西北地区 131 个代表站年地面风速 EOF 分解所得的第一特征向量时间系数来分析近 44 年来西北地区年地面风速的变化情况。年地面风速 EOF 分解所得第一特征向量的方差贡献率为 45.14%，所以第一特征向量时间系数也可以反映出西北全区年平均地面风速的变化特点。同样由于第一特征向量模态(略)呈一致的正值，所以其时间系数同地面风速序列的变化是完全一致的。图 8a 为第一特征向量时间系数序列及其线性(实线)和六阶(虚线)拟合曲线图，从图中可以发现近 44 年来西北地区年地面风速表现为明显的减少趋势，在 1983 年之前的 25 年中只有 1 年地面风速偏小，并且偏小的幅度很弱，而在 1984 年之后的 20 年中地面风速显著减小。这与西北地区沙尘暴减少的总体趋势一致^[20,21]。图 8b 为第一特征向量时间系数序列 Mann-Kendall 统计量曲线，从图中可以看出，从 1974 年开始年地面风速呈十分明显的减少趋势，1986 年开始减少趋势表现得更为显著，减少突变发生在 1990 年。平均风速减弱可能与城镇化的影响、北半球大气活动中心 and 西风急流向北推移、夏季风减弱等有关。风速减弱直接影响沙尘天气事件发生频次减少以及潜在风能资源蕴藏量的降低。

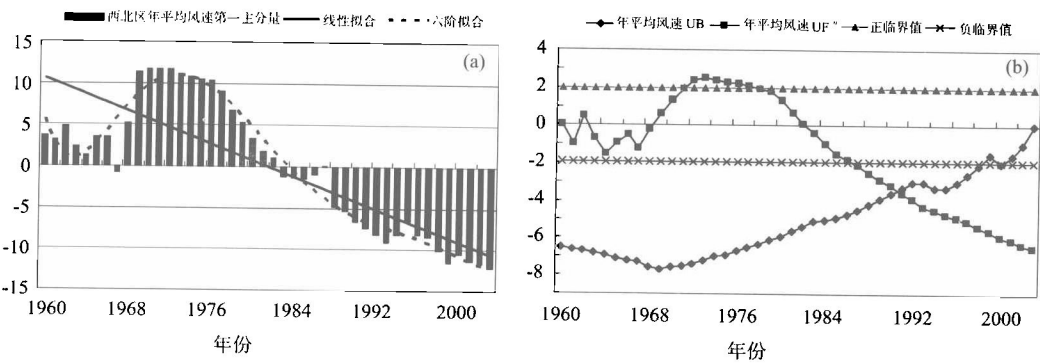


图 8 西北年地面风速时间演变及六阶和线性拟合曲线(a),Mann-Kendall 突变检测曲线(b)

6 影响蒸发的其他气候要素的变化特征

蒸发量是一个敏感性很强的气候要素,它不仅受降水、温度、风速的影响,事实上它也受低云量、相对湿度、日照(或辐射)、气温日较差等气候因子的影响,为了搞清楚西北地区蒸发量同以上诸气候因子的关系,将西北地区年蒸发量同以上各气象要素做了散点图(图9),从中可以清楚地看出,西北区域年蒸发量同低云量(图9a)、日照时数(图9b)、日较差(图9c)及相对湿度(图9d)具有较好的线性关系,特别是与日较差存在很好的关系,其中与平均低云量及相对湿度呈负相关,而与日照时数和日较差呈正相关。其中相关系数见表1。

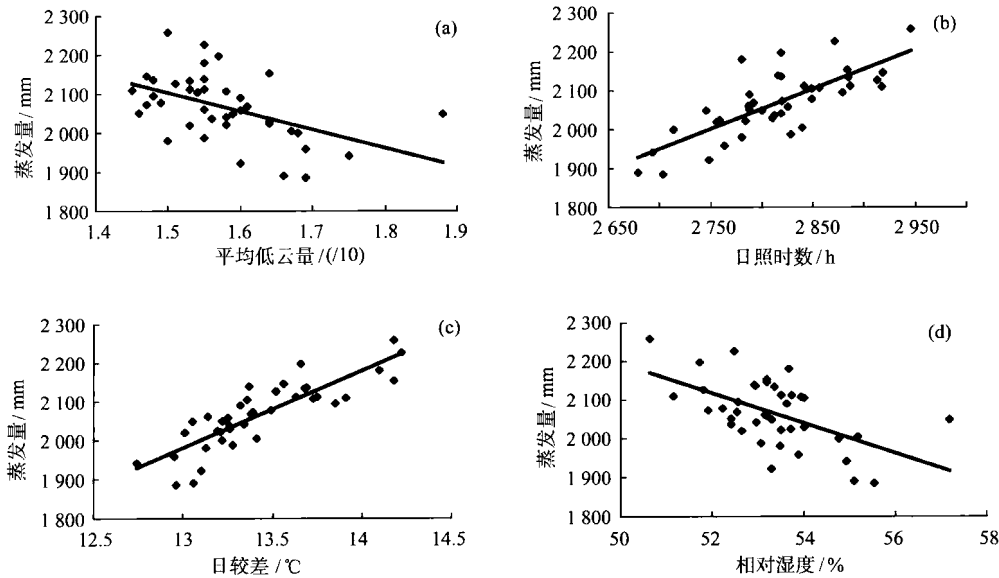


图9 西北地区年区域平均蒸发量同其他气候因子的离散点图

表1 西北地区蒸发量与其他气候因子相关系数

气候因子	日照时数	相对湿度	平均日较差	平均低云量
相关系数	0.76	-0.56	0.85	-0.48

以上分析可见,除了风速以外,日照时数、相对湿度,平均日较差及平均低云量可能也是西北地区蒸发量减少的主要原因。当日照时数越多,相对湿度越小、平均低云量越少,蒸发越大,另外由于当日较差的减少,则说明夜间温度的增加要比白天温度的增加更显著,日最低气温一般出现在夜间,而夜间主要是通过辐射降温,夜间温度的显著增加趋势说明白天太阳辐射强度在逐渐减弱,这样白天的蒸发相应的逐渐减少,所以日较差小也是引起蒸发减少的主要因素。

7 结论与讨论

(1) 西北地区除了青海高原东南部和新疆极小部分区域外,基本都表现为显著的增温趋