

文章编号:1001-8166(2007)06-0649-08

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 $0.2 \sim 0.9^\circ\text{C}/10\text{a}$,大部分地区高于 $0.22^\circ\text{C}/10\text{a}$ 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

中图分类号:P463.1;P468 **文献标识码:**A

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 $0.3 \sim 0.6^\circ\text{C}$,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°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要的现实意义和深远的战略意义,需要认真和审慎对待。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

收稿日期:2007-04-15;修回日期:2007-05-29.

* 基金项目: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”(编号:2005DIB3J100);中国气象局多轨道业务项目“西北区域干旱监测预警评估业务系统”;中国科学院知识创新工程重要方向项目“中国西北邻气候和水份过程的变化特征及其相互联系的研究”(编号:KZCX3-SW-229)和西部开发科技行动重大项目“祁连山空中云水资源开发利用研究”(编号:2004BA901A16)共同资助。

作者简介:王鹏祥(1968-),男,甘肃通渭人,高级工程师,主要从事气候变化和气象灾害预警研究. E-mail: wangpxgs@yahoo.com.cn

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它可能因子。

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℃/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东西部部分地区,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℃/10a 和 0.75℃/10a,而绝大多数地区气温增长率都在 0.2℃/10a 以上,所以中国西北近 44 年来的升温程度是比较明显的。

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℃/10a,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℃/10a,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,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 70 年代初气温开始缓慢增加,而从 1985 年开始以较明显的趋

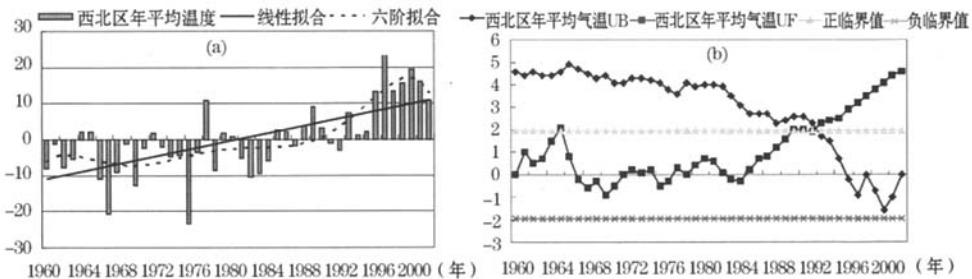


图 2 西北年平均气温时间演变及六阶和线性拟合曲线 (a)、Mann-Kendall 突变检测曲线 (b) of annual average temperature in Northwest China

势增加,在1994年开始增加的趋势更为显著,并且在1994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。

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,从图中可以清楚的看出,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区域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区域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。

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。

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,从图中可以清楚的看出,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

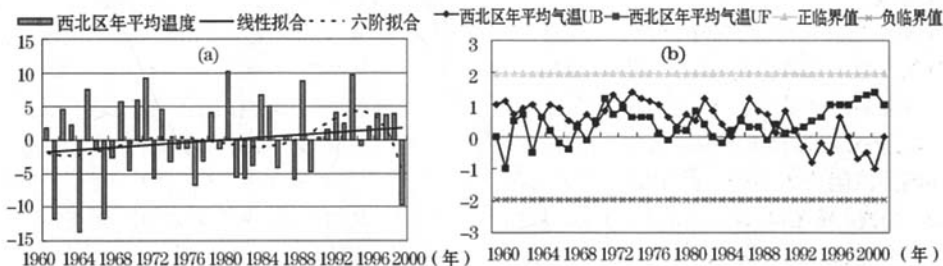


图4 西北年降水量时间演变及六阶和线性拟合曲线(a)、Mann-Kendall 突变检测曲线(b)
Fig.4 The time evolution, and linearity and six step fitting curve (a), M-K sudden change check curve (b) of annual precipitation in Northwest China

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/10 a,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。

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。由于西北地区绝大多数站点年水面蒸发量的显著增加,所以如果要整体考虑西北其年水面蒸发量表现出显著的减少趋势。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 年年蒸发开始呈减趋势,1982 年开始这种减少趋势表现得更为显著,减少突变发生在 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。

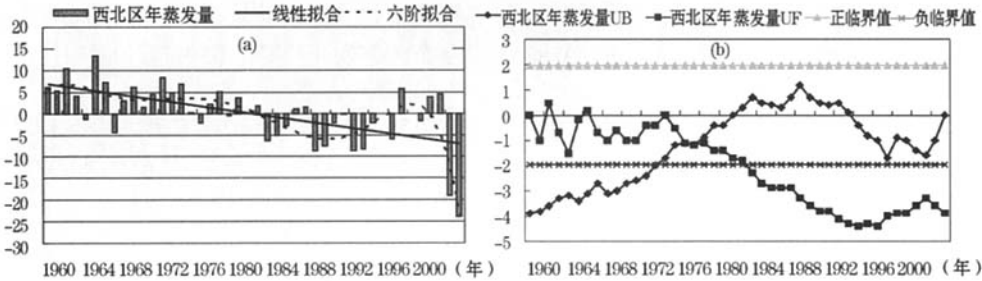


图 6 西北年蒸发时间演变及六阶和线性拟合曲线 (a)、Mann-Kendall 突变检测曲线 (b)
 Fig. 6 The time evolution, and linearity and six step fitting curve (a), M-K sudden change check curve (b) of annual pan evaporation in Northwest China

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)可以清楚的看出,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。

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和西风急流向北推移、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。

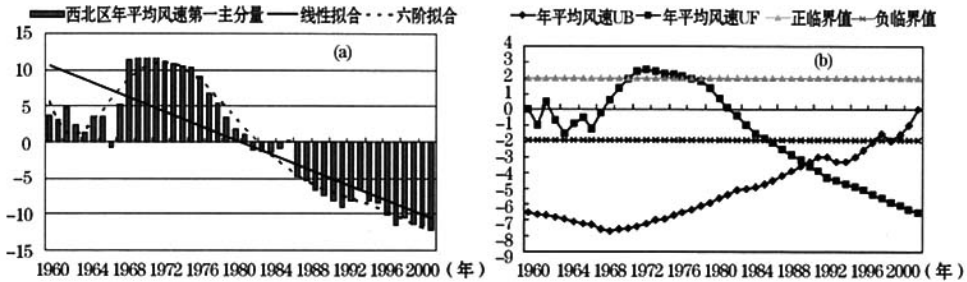


图 8 西北年地面风速时间演变及六阶和线性拟合曲线 (a)、Mann-Kendall 突变检测曲线 (b)
 Fig.8 The time evolution, and linearity and six step fitting curve (a), M-K sudden change check curve (b) of annual average su in Northwest China

6 影响蒸发的其它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)、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逐气候因子的关系，将西北地区年蒸发量同以上各气象要素做了散点图(图 9)，从中可以清楚的看出，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。

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明显显著于白天温度的增加，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

表 1 西北地区蒸发量与其它气候因子相关系数
 Table 1 Correlation coefficient between pan evaporation and else climate factor of northwest China

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

发相应地逐渐减少，所以日较差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地区外，基本都表现为显著的增温趋势，增温速率普遍为 0.2 ~ 0.9℃/10a，大部分地区高于 0.22℃/10a 的全国平均水平，与全球变暖的大背景相一致。另外西北地区年平均气温在 1994 年还发生了一次增温突变现象。

(2) 随着全球气候系统变暖，20 世纪 60 年代以来，南北半球中纬度西风带在加强^[9]，许多热带地区降水量增多，副热带大部分降水量减少，高纬度地区降水量趋于增多^[22,23]，而我国西北地区年降水量在纬度较高且属于西风带气候区的新疆、内蒙西

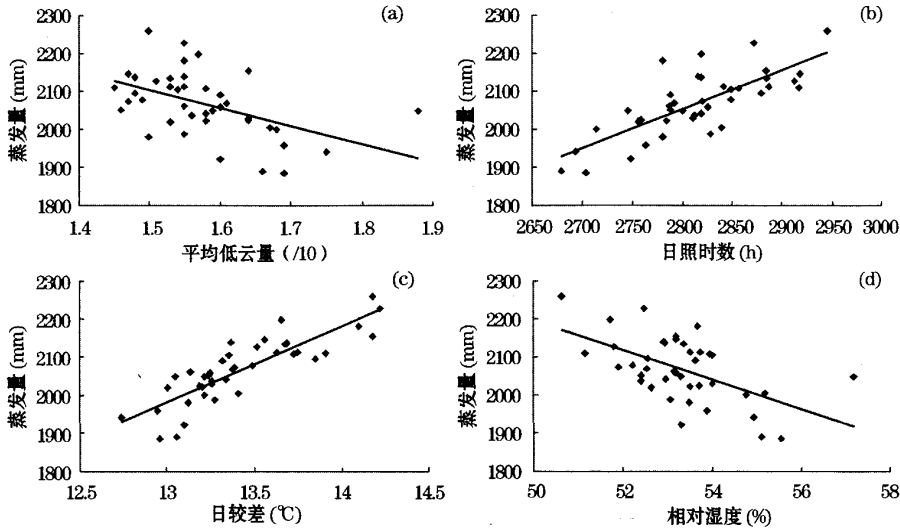


图 9 西北地区年区域平均蒸发量同其它气候因子的离散点图

Fig. 9 Relationship between annual region-averaged pan evaporation and else climate factors over the Northwest China

部,甘肃河西地区以及属于青海高原绝大部分地区近 44 年来年降水量表现为小幅增加趋势,而纬度较低且属于季风带气候区的青海东南部、甘肃河东、宁夏及陕西 44 年来年降水量表现为小幅减少趋势。这同已有的研究完全相符。

(3) 近 44 年来西北地区年水面蒸发量除了西北东南部极少部分区域外,其它大部分地区从 1974 年开始呈现十分明显的持续下降趋势,1982 年开始这种下降趋势表现得更为显著,减少突变发生在 1976 年。

(4) 对近 44 年西北地区地面风速的分析表明,从 1976 年开始除新疆东部和贺兰山附近的小部分区域外,西北地区绝大部分地区地面风速表现为显著的减少趋势,从 1986 年开始这种减少趋势更为显著,减少突变发生在 1990 年,这与该地区沙尘暴的减少趋势相一致^[20,21];地面平均风速减小直接影响沙尘天气发生频次减少、潜在风能资源蕴藏量降低和水面蒸发量下降。

(5) 平均风速减少、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西北地区水面蒸发减小的重要原因,要想搞清楚其影响机理还有待于进一步研究。

参考文献 (References):

[1] IPCC. Climate Change 2001: The Science of Climate Change [C] // Houghton J T, Y Ding, D J Griggs, et al. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001:156-159.

[2] Qin Dahe. Evolution of environment evolution in West China [M]. Beijing: Science Press, 2002, 2-10. [秦大河. 中国西部环境演变评估 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 2-10.]

[3] Fang Xiuqi, Yu Weihong. Progress in the studies on the phonological responding to global warming [J]. *Advances in Earth Science*, 1999, (4): 714-719. [方修琦, 余卫红. 物候对全球变暖响应的研究综述 [J]. 地球科学进展, 2002, (5): 714-719.]

[4] Jiang Tong, Shi Yafeng. Global climate warming, the Yangtze floods and potential loss [J]. *Advances in Earth Science*, 2003, (2): 277-284. [姜彤, 施雅风. 全球变暖、长江水灾与可能损失 [J]. 地球科学进展, 2003, (2): 277-284.]

[5] Wang Pengxiang, Wang Baojian, Huang Yuxia, et al. The distribution and changing character of water vapor in Qinghai plateau during the past 43 years [J]. *Plateau Meteorology*, 2006, 25 (1): 60-65. [王鹏祥, 王宝鉴, 黄玉霞, 等. 青海高原近 43 年夏季风水汽分布及演变特征 [J]. 高原气象, 2006, 25 (1): 60-65.]

[6] Guo Liping Lin Erda. Research advances on mitigating global warming and greenhouse gas sequestration [J]. *Advances in Earth Science*, 1999, (4): 521-528. [郭李萍, 林而达. 减缓全球变暖与温室气体吸收汇研究进展 [J]. 地球科学进展, 1999, (4): 521-528.]

[7] Shi Guangyu, Li Changming (translated). Earth is Warming [M]. Beijing: China Meteorology Press, 1992: 66-87. [石广玉, 李昌明译. 地球在变暖 [M]. 北京: 气象出版社, 1992: 66-87.]

[8] Ye Duzheng. Preliminary Research of Global Change in China [M]. Beijing: China Meteorology Press, 1992: 40-53. [叶笃正. 中国的全球变化预研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1992: 40-53.]

[9] Qin Dahe, Chen Zhenlin, Luo Yong, et al. Updated understanding if climate change sciences [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(2): 63-73. [秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认知 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63-73.]

[10] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary Study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and*

- Geocryology*, 2002, 24(3):219-226. [施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3):219-226.]
- [11] Menne MJ, Peterson TC, Malone RW. evaporation changes over the contiguous United State and the former USSR: Are assessment[J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28:2 665-2 668.
- [12] Peterson T C, Golubev V S, Grolsman P Y. Evaporation losing its strength[J]. *Nature*, 1995, 377:687-6 881.
- [13] Ohmura A, Wild M. Is the hydrological cycle accelerating? [J]. *Science*, 2002, 298:1 345-1 346.
- [14] Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi *et al.* climate changes of China's mainland over the past half century[J]. *Atmospheric Sciences*, 2005, 63(6):942-955. [任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近50年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6):942-955.]
- [15] Zuo Hongchao, Li Dongliang, Hu Yinqiao, *et al.* Nearly 40a climate change trend and relationship with pan evaporation change in China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(11). [左洪超, 李栋良, 胡隐樵, 等. 近40a中国气候变化趋势及其同蒸发皿观测的蒸发量变化的关系[J]. 科学通报, 2005, 50(11).]
- [16] Shi Neng, Polybasic Statistics Analytical Method in the Middle of Weather Research and Forecast [M]. Beijing: China Meteorology Press, 2002:120-122, 143-146. [施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京:气象出版社, 2002:120-122, 143-146.]
- [17] Ding Yuguo, Jiang Zhihong. Signal Process of Meteorological Data Time Sequence [M]. Beijing: China Meteorology Press, 1998: 166-160. [丁裕国, 江志红. 气象数据时间序列信号处理 [M]. 北京:气象出版社, 1998:155-160.]
- [18] Shi Neng, Chen Jiaqi, Tu Qipu. 4-phase climate change features in the last 100 years over China[J]. *Acta Meteorological Sinica*, 1995, 51(4):431-439. [施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近100年来4个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4):431-439.]
- [19] Chen Longxun, Zhu Wenqin, Wang Wen, *et al.* Studies on climate change in China in recent 45 years[J]. *Acta Meteorological Sinica*, 1998, 56(3):257-271. [陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等. 中国近45年来气候变化的研究[J]. 气象学报, 1998, 56(3):257-271.]
- [20] Zhou Zijiang, Zhang Guocai. Typical heavy sandstorm event in the North China(1954-2002) [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(11):12-18. [周自江, 章国材. 中国北方典型的强沙尘暴事件(1954—2002年)[J]. 科学通报, 2003, 48(11):12-18.]
- [21] Zhou Zijiang, Wang Xiwen, Niu Reyun. Climate characteristic of sandstorm in China in recent 47 years[J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2002, 13(2):193-200. [周自江, 王锡稳, 牛若芸. 近47年中国沙尘暴气候特征研究[J]. 应用气象学报, 2002, 13(2):193-200.]
- [22] Groisman P, Karl T, Easterling D, *et al.* Changes in the probability of extreme precipitation: Important indicators of climate change[J]. *Climatic Change*, 1999, 42:243-283.
- [23] Zhai Panmao, Ren Fumin, Zhang Qiang. Detection of trends in China's extreme precipitation [J]. *Acta Meteorological Sinica*, 1999, 57(2):208-216. [翟盘茂, 任福民, 张强. 中国降水极端值变化趋势检测[J]. 气象学报, 1999, 75(2):208-216.]

Climate Change Characteristic of Northwest China in Recent Half Century

WANG Peng-xiang^{1,2}, YANG Jin-hu², ZHANG Qiang¹,
HE Jin-hai², WANG De-min¹, LU Deng-rong¹

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Change and Disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China; 2. Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: By use of data of annual average temperature, annual precipitation, pan evaporation, and annual average surface wind speed collected at 131 stations from 1960 to 2003 in Northwest China (covering the provinces and regions of Xingjiang, Qinghai, Gansu, Ningxia, Shanxi and the west of Inner Mongolia), the climate change characteristic was analyzed for the last half century. The result showed that temperature display marked increasing tendency in Northwest China except in the southeast of Qinghai and fraction area of Xinjiang, and the tendency rate was 0.2~0.9°C/10a. Sudden change took place from low to high in 1994; it was found that annual total precipitation showed increasing tendency in westerly climate region of Northwest China. Decreasing tendency in Monsoon climate region of Northwest China displayed, but the tendency was weak; it was proved that pan evaporation showed decreasing tendency in whole Northwest China, and sudden change took place from more to few in 1976; it was also found that the main cause which pan evaporation was decreased was likely the decrease of surface wind speed, sun-light duration, average daily range and the increase of relative humidity, average low cloud cover.

Key words: Northwest China; Climate; Change.

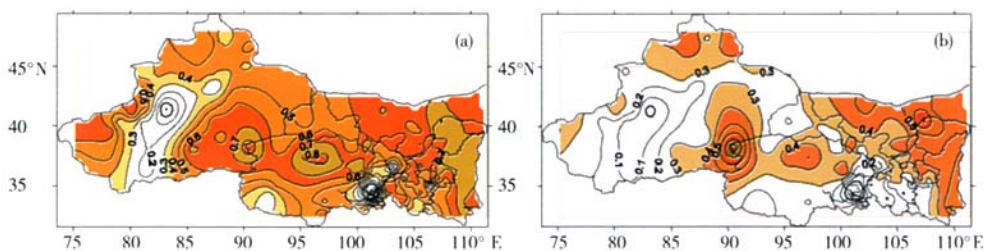


图 1 西北年平均气温 44 年来的趋势系数 (a)、倾向率 (b) 空间分布

Fig. 1 Annual average temperature tendency coefficient, tendency rate spatial distribution over Northwest China in recent 44a

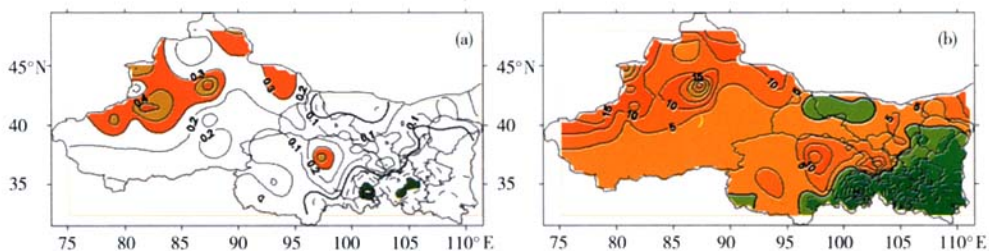


图 3 中国西北 44 年来年降水量的趋势系数 (a)、倾向率; (b) 空间分布图

Fig. 3 Annual precipitation tendency coefficient, tendency rate spatial distribution over Northwest China in recent 44 a

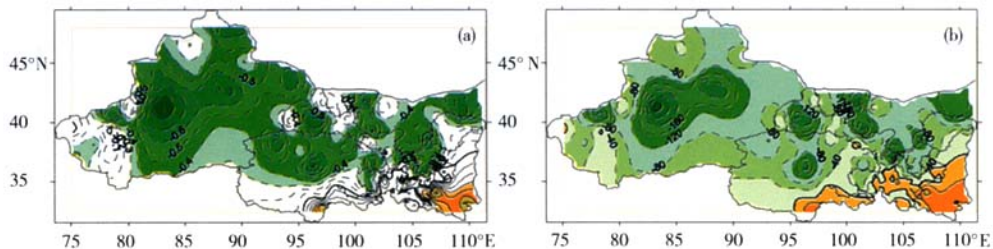


图 5 西北近 44 年来年蒸发量的趋势系数 (a)、倾向率; (b) 空间分布

Fig. 5 Annual pan evaporation tendency coefficient, tendency rate spatial distribution over Northwest China in recent 44a

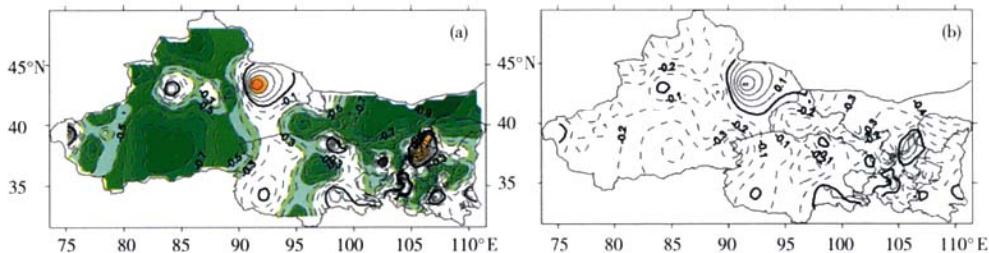


图 7 西北近 44 年来年地面风速的趋势系数 (a)、倾向率; (b) 空间分布图

Fig. 7 Annual surface wind speed tendency coefficient, tendency rate spatial distribution over Northwest China in recent 44a