

近 60 年河西走廊绿洲农作区近地面水汽变化特征分析

高振荣^{1,2}, 李红英², 朱彩霞², 任桂萍³

(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. 甘肃省酒泉市气象局, 甘肃 酒泉 735000; 3. 嘉峪关市气象局, 甘肃 嘉峪关 735100)

摘 要: 根据河西走廊地面气象观测时间最长的敦煌、瓜州、玉门、酒泉、高台、张掖、山丹、武威、民勤 9 个站的水汽压观测资料, 运用线性回归、小波和 Mann-Kendall 方法对绿洲农作区近地面水汽变化特征进行趋势、周期及突变分析。结果表明: 近 60 a 河西走廊绿洲农作区近地面水汽均呈波动上升趋势, 线性递增率为 $0.123 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。夏、秋两季上升幅度最大, 线性递增率分别为 $0.192 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 和 $0.198 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$, 春季递增率仅为 $0.056 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 属最小; 年水汽变化存在 3 a 主周期和 30 a 较长主周期, 还有 10 a 较弱周期。春、夏季水汽变化有 5 a 主周期和 20 ~ 30 a 左右的较长周期尺度; 秋季水汽变化有 5 a 主周期, 还存在 30 ~ 40 a 长周期; 冬季水汽变化存在 5 a 周期, 随着时序延长, 周期也在延长, 2000 年以后有 15 a 周期。年水汽含量在 1985 年出现突变; 春季水汽含量在 1980 年出现突变; 夏季水汽含量在 1986 年出现突变; 秋季水汽含量 1994 年出现突变; 冬季水汽含量在 1983 年出现突变。水汽含量对气候变暖响应明显, 年、季水汽压与平均气温之间相关显著, 年平均、春、夏、秋、冬季相关系数分别为 0.592、0.192、0.551、0.532、0.285。说明河西走廊年、夏、秋、冬季近地面水汽变化与河西走廊平均气温有显著正相关。

关键词: 水汽; 变化特征; 绿洲农作区; 河西走廊
中图分类号: S161.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0239-07

Characteristic analysis for the water vapor change in near-surface of the oasis agricultural areas in the Hexi Corridor during recent 60 years

GAO Zhen-rong^{1,2}, LI Hong-ying², ZHU Cai-xia², REN Gui-ping³

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province;
Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of CMA; Institute of Arid Meteorology, China Meteorology Administration, Lanzhou, Gansu 730020, China;
2. Jiuquan Meteorological Bureau of Gansu, Jiuquan, Gansu 735000, China;
3. Jiayuguan Meteorological Bureau of Gansu, Jiayuguan, Gansu 735100, China)

Abstract: Using the linear regression, wavelet analysis and Mann-Kendall methods, we carried out the trends, cycles and mutation analysis for the water vapor changing characteristics in near-surface of the oasis agricultural areas, according to the observed water vapor pressure information come from the nine stations of Dunhuang, Guazhou, Yumen, Jiuquan, Gaotai, Zhangye, Shandan, Wuwei and Minqin, which had the longest ground meteorological observations in the Hexi Corridor. The results shown that: In recent 60 years, the near-surface water vapor pressure in the oasis agricultural areas of the Hexi Corridor has been shown a wavy increasing trend, the linear increase was $0.123 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$. The maximal rise extent was in summer and autumn, with the linear increasing rate was $0.192 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$ and $0.198 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$, respectively. The minimal increasing rate was in spring with the rate only $0.056 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$. The yearly water vapor change existed a 3-year main cycle and a 30-year longer main period, also a 10-year weaker cycle. In spring and summer season, there was a 5-year main cycle and a 20 ~ 30-year longer period cycle for the water vapor change scale. In autumn, there was a 5-year main cycle, also existed a 30 ~ 40-year longer cycle. The water vapor change in winter also existed a

收稿日期: 2013-12-30
基金项目: 国家科技部公益行业科研专项“农田水分利用效率对气候变化的响应与适应技术”(GYHY201106029)
作者简介: 高振荣(1957—), 男, 甘肃酒泉人, 高级工程师, 主要从事天气预报及气候分析工作。E-mail: gaozrong@163.com。
通信作者: 李红英(1979—), 女, 甘肃高台人, 高级工程师, 主要从事天气预报及气候分析工作。E-mail: gsjqlhy@163.com。

5-year cycle, but with the time sequence extended, the cycle was extended too. there was a 15-year cycle after 2000. The yearly water vapor content was emerged mutation in 1985, For the four seasons as spring, summer, autumn and winter, the water vapor content was emerged mutation in 1980, 1986, 1994 and 1983, respectively. The response of water vapor content to climate warming was apparent. There were statistically significant correlations between annual and seasonal water vapor pressure with the mean temperature. The correlation coefficients in annual mean, spring, summer, autumn and winter were 0.592, 0.192, 0.551, 0.532 and 0.285, respectively. This indicated that the near-surface water vapor changes was significant positive correlation with the mean temperature in Hexi Corridor.

Keywords: water vapor; change characteristic; Oasis agricultural areas; Hexi Corridor

水文循环是地球上最重要的物质循环之一,而水汽则是水文循环系统中重要的大气分量之一,同时水汽还是产生降水的直接因素^[1]。近地面水汽与空中可降水量有密切的正相关关系^[2-3]。在我国东部、南部和低纬度地区,涉及暴雨形成的水汽条件、水汽源地、输送路径、水汽辐合及其与中国雨季和雨带的关系等已有很多研究^[4-7]。对西北地区水汽的研究,大多是从 20 世纪 90 年代才开始较多关注^[8-12]。李红军等^[13]对近 47 a 塔里木盆地近地面水汽含量的趋势和突变进行了研究,结果表明:近 47 a 来水汽含量有明显的、一致增多的趋势,其变化趋势年均值和四季变化具有年际和年代际差异,并发生了明显的突变。俞亚勋等^[14]对西北地区空中水汽分布特征及变化趋势进行了分析,指出近 43 a 来河西地区到塔里木盆地为一个水汽相对的高值中心,从上世纪 60~90 年代水汽呈增多趋势,尤其以 90 年代以来增加趋势更加明显。随着全球气候变暖影响,河西走廊地区自然降水呈增多趋势,该地区出现了气候由暖干向暖湿转型的信号,洪水灾害增多。许多学者都对西北区及河西走廊的气候变化趋势进行了系统研究,得出西北区及河西走廊气候变暖趋势明显^[15-21]。但对河西走廊绿洲区近地面水汽变化趋势研究相对较少。本文在借鉴前人研究水汽成果的基础上,重点对河西走廊绿洲农作区近 60 a 来近地面水汽含量演变特征进行了分析,对揭示干旱绿洲农作区的水分循环过程和全球气候变化背景下的区域响应,合理开发、利用水汽资源,改善干旱地区自然生态环境具有重要意义。

1 资料和方法

1.1 资料来源和研究地区

水汽资料由甘肃省气象局信息中心提供。选用河西走廊地面气象观测资料时间序列达 60 a 的敦煌、瓜州、玉门、酒泉、高台、张掖、山丹、武威、民勤等 9 个地面气象站 1953 年 1 月—2013 年 2 月逐月水汽压观测资料,并利用各站同时间数据求其平均值,作

为同期河西走廊绿洲农作区水汽压平均值。季节划分时间为:以 3—5 月、6—8 月、9—11 月、12—次年 2 月分别代表春、夏、秋、冬季节。由于上述 9 个地面气象观测站地址均地处绿洲农作区,其观测资料可真实地反映绿洲农作区近地面水汽含量变化特征。

1.2 研究区概况

河西走廊(见图 1)位于祁连山以北,东起乌鞘岭,西与新疆交接,北部是马鬃山、龙首山和合黎山,地理位置大致在 $37^{\circ}17' \sim 42^{\circ}48'N$, $93^{\circ}23' \sim 104^{\circ}12'E$ 之间,呈西北东南长条状,总面积 27.11 万 km^2 ,占甘肃省的 60%,境内多戈壁、荒漠,分布着沙漠或活动性沙丘,自然植被稀疏,生态环境脆弱。绿洲面积大约只占本区域面积的 25% 左右。这里气候干燥,降水稀少,属西北内陆极干旱区。走廊地带分布着敦煌、瓜州、玉门、酒泉、高台、张掖、山丹、武威、民勤等主要绿洲农作区,海拔高度大致在 1 100~1 700 m 之间。同时,这里冷热变化剧烈,风大沙多。年日照时数均在 3 000 h 以上,最多的敦煌达 3 336 h。年均气温 $7.1^{\circ}C \sim 9.3^{\circ}C$,但极端最高气温达 $42.8^{\circ}C$,极端最低气温为 $-29.3^{\circ}C$,二者较差 $72.1^{\circ}C$ 。平均气温日较差在 $15^{\circ}C$ 左右,年无霜期在 115~156 d 之间。走廊地带自然降水量自东而西急剧减少,如河西东部武威市年平均降水量为 171.0 mm,而最西端的敦煌市年降水量仅 42.2 mm。干旱缺水是河西走廊最主要的气候特点。因而选择河西走廊绿洲农作区近地面水汽含量作为研究对象,分析其变化规律,合理开发、利用水汽资源,对改善本区自然生态环境具有重要的现实意义。

1.3 计算方法

(1) 线性趋势拟合^[22]; (2) 小波分析^[23]; (3) Mann-Kendall 方法^[24]。

由于上述方法在诸多文献中均作了详细的计算原理阐述,本文在此就不再进行赘述。

2 结果分析

2.1 水汽月变化特征

由图 2 得知,河西走廊绿洲农作区近地面水汽

压月变化表现为“单峰”型。1 月为一年之中水汽含量最少的月份,仅为 1.5 hPa,以后水汽逐渐增多,在 7 月达峰值为 12.2 hPa,次高值出现在 8 月为 11.5 hPa。随之呈现为逐渐递减趋势。到 12 月已递减为 1.8 hPa。5—9 月逐月水汽压均高于年均值(5.6

hPa),其中 6—8 月平均水汽压为 11.1 hPa,比年均值偏高 5.5 hPa。而 12 月—2 月则是全年水汽含量最少的时段,平均为 1.7 hPa,比年均值偏少 3.9 hPa。河西走廊绿洲农作区水汽月变化与本区域气温月变化分布特征相同。

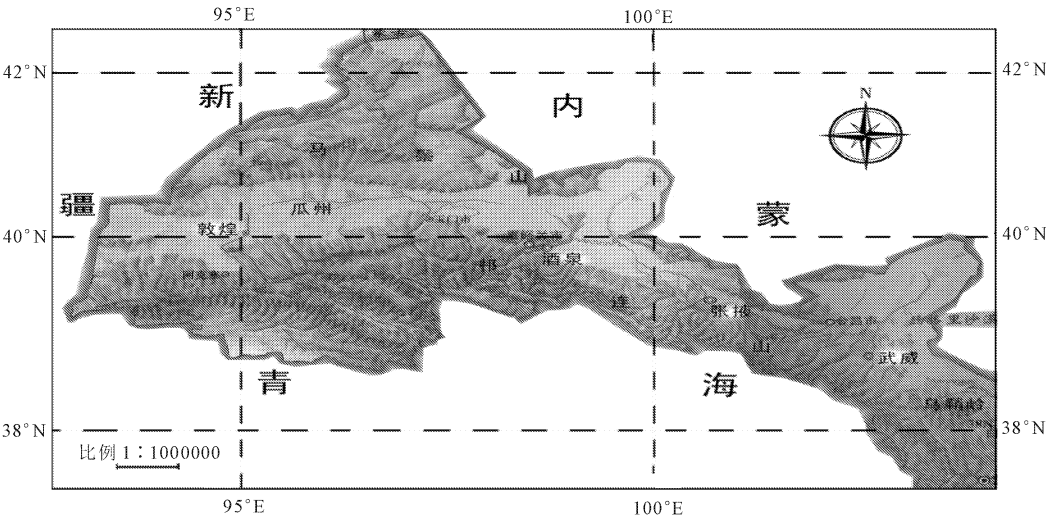


图 1 研究区域地理位置
Fig.1 The geographical position of the study area

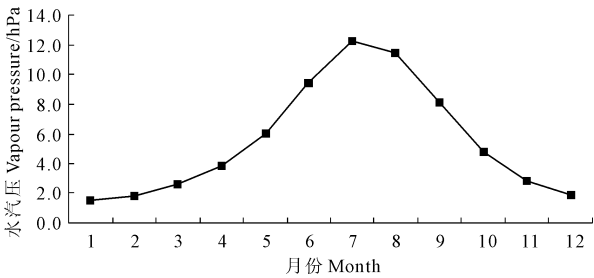


图 2 河西走廊地区近地面水汽月变化
Fig.2 Monthly variability of the water vapor change
in near-surface of Hexi Corridor

2.2 水汽季节变化特征

从表 2 中可以看出:20 世纪 50 年代春季水汽处在低值期,负距平 0.5 hPa,60 年代明显上升为正距平 0.2 hPa,但从 70 年代以后波动幅度不大。近 60 a 时间序列演变趋势增加缓慢,上升趋势为 0.056 hPa·10a⁻¹(通过 0.1 信度检验)。夏季水汽变化特征较明显,其中 20 世纪 50 年代为水汽处在低值期,60 年代和 70 年代虽属负距平,但呈现出缓慢上升趋势,从 80 年代开始水汽处在一个相对的丰水期,呈现出正距平递增趋势,其中 2001 年至 2012 年增加 0.4 hPa,比 20 世纪 50 年代增加 1.0 hPa。在近 60 a 的时间序列演变中,夏季水汽增加趋势明显,线性递增率为 0.192 hPa·10a⁻¹($r^2 = 0.2716$; $F = 21.6242$, $> F_{0.001}$,通过显著性信度检验)。秋季水汽演

变趋势与夏季相同,20 世纪 50 年代距平值表现为 -0.6 hPa,说明此期近地层水汽含量处在一个相对的枯水期。随后各年代际开始缓慢上升,从 20 世纪 50 年代到 2012 年秋季水汽均值增加 1.2 hPa。在近 60a 的时间序列演变中,线性增加趋势明显,递增率为 0.198 hPa·10a⁻¹(通过 0.001 显著性信度检验),是四季当中递增率最为显著的季节。冬季水汽演变特征主要表现为两个住时段:20 世纪 50 年代至 70 年代距平值均为 -0.2 ~ -0.1 hPa;20 世纪 80 年代至 2012 年呈现为上升,但没有出现大起大落的波动现象。从 20 世纪 50 年代到 2012 年冬季水汽均值增加 0.5 hPa。在近 60 a 的时间序列演变中,线性增加趋较缓慢,递增率为 0.059 hPa·10a⁻¹(通过 0.1 信度检验)。

2.3 水汽年变化特征

图 3 是河西走廊绿洲农作区 1953—2012 年逐年水汽压变化趋势。从图中可以看出,近 60 a 来,河西走廊绿洲农作区水汽呈现出缓慢波动上升趋势,年最低值为 4.6 hPa(出现在 1957 年),次低值为 4.7 hPa(出现在 1956 年);20 世纪 50 年代和 60 年代以负距平值为主(仅 1964 年和 1967 年为正距平),说明此期河西走廊绿洲农作区近地面水汽处在一个相对的枯水期。从 1988—2012 年的 25 a 时间里只有 1997 年为负距平值(-0.1 hPa),最大值为 6.2

hPa(分别出现在 1998 和 2007 年),最大值和最小值相差 1.6 hPa。从 1988 年开始河西走廊水汽处在一个相对的丰水期,其上升趋势与河西走廊气温上升趋势基本一致。从 1953—2012 年的时间序列演变

中可以看出,河西走廊绿洲农作区年水汽变化呈现出波动上升趋势,线性递增率为 $0.123\text{ hPa}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ($r^2=0.4875$, $F=54.4769$; 通过 0.001 的显著性信度检验)。

表 1 河西走廊地区各年代际水汽压演变特征(距平/hPa)和倾向率/(hPa·10a⁻¹)
Table 1 The decadal water vapor pressure evolved characteristics and trend rate in Hexi Corridor

季节 Season	50 年代 1950s	60 年代 1960s	70 年代 1970s	80 年代 1980s	90 年代 1990s	2001—2012 年	倾向率/(hPa·10a ⁻¹) Trend rate
春季 Spring	-0.5	0.2	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.056 [*]
夏季 Summer	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.192 ^{**}
秋季 Autumn	-0.6	-0.2	0.0	0.1	0.3	0.6	0.198 ^{**}
冬季 Winter	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.2	0.3	0.059 [*]

注 Note: ** , $\alpha=0.001$; * , $\alpha=0.1$ 。

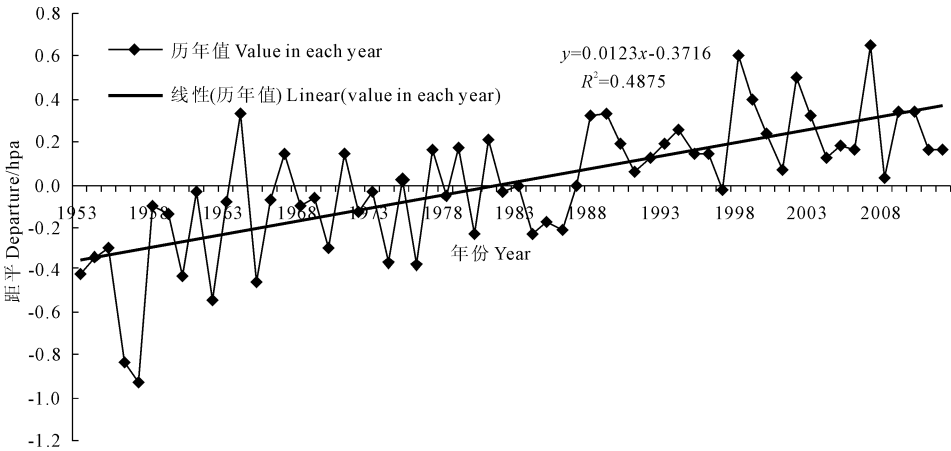


图 3 河西走廊绿洲农作区近地面年水汽压演变趋势

Fig.3 The evolving trend of the yearly water vapor pressure in near-surface for oasis agricultural areas of the Hexi Corridor

2.4 水汽的周期变化

对河西走廊绿洲农作区近地面水汽变化进行小波分析,如图 4 可以看出年水汽和各季节水汽的变化存在着明显的年代际尺度的周期性变化。年水汽含量在 60 a 的振荡周期变化中可以分为 3 个阶段:1953—1976 年间存在 3 a 周期;1978—1995 年存在 10 a 周期;1996—2012 年又存在 3 a 周期。10 a 变化周期强度略强于 3 a 变化周期。另外,在年水汽含量 60 a 的时间序列中还存在 30 a 左右的变化周期,且强度较强。从 1953—2012 年的整个时序中,水汽变化基本上表现为偏少期和偏多期交替出现,2007 年以后偏多周期的强度明显减弱。春季水汽振荡变化存在 25~30 a 周期,强度较强(见图 4(b))。但也存在 5 a 周期(其中 1975—1988 年 5 a 周期不明显,有 7~10 a 弱的周期),在 5 a 周期尺度上,偏少和偏多交替出现。另外在 1990 年以后还存在 15~20 a 是弱周期。在 25~30 a 周期尺度上,可以看出 20 世纪 50 年代、70 年代至 80 年代、2007 年以后等三个

时段均为水汽偏少期,20 世纪 60 年代和 90 年代为两个明显的水汽偏多期。夏季水汽振荡变化在各时段有一定差异(见图 4c):20 世纪 50 年代至 70 年代前期存在 5 a 周期,70 年代中期至 80 年代前期周期不明显,80 年代中期以后又有 5 a 弱周期。在 5 a 周期尺度中,均以偏多和偏少交替出现。在夏季 60 a 的水汽振荡变化中,还存在 25~30 a 的周期尺度,其中 60 年代以前、80 年代和 2007 年以后为水汽的偏少期,60 年代~70 年代中期、90 年代~2005 年为水汽的偏多期。秋季水汽振荡变化以 5 a 周期尺度为主,且以偏多和偏少交替出现(见图 4d)。此外,50 年代~70 年代有弱的 10~20 a 周期尺度,亦存在偏多和偏少交替。在 60 a 的水汽振荡变化时间序列中,还存在 30~40 a 的长周期尺度,强度较强。偏少和偏多交替出现,即 20 世纪 50 年代~60 年中期、80 年代初~90 年代末为水汽的偏少期;60 年代中期~70 年代末、21 世纪初以后均为水汽的偏多期。冬季水汽振荡变化与其它季节略有不同。20

世纪 50 年代~60 年代初以 5 a 周期尺度为主,随着时间序列延长而周期尺度亦有明显延长(见图 4e),从 60 年代中期 7 a 周期逐渐延长至 2000 年以后的

15 a 周期,且强度逐渐增强。同时从 1990 年代以后还存在 5 a 周期尺度。冬季水汽振荡变化周期不论尺度长短,均表现为偏少和偏多交替出现的特征。

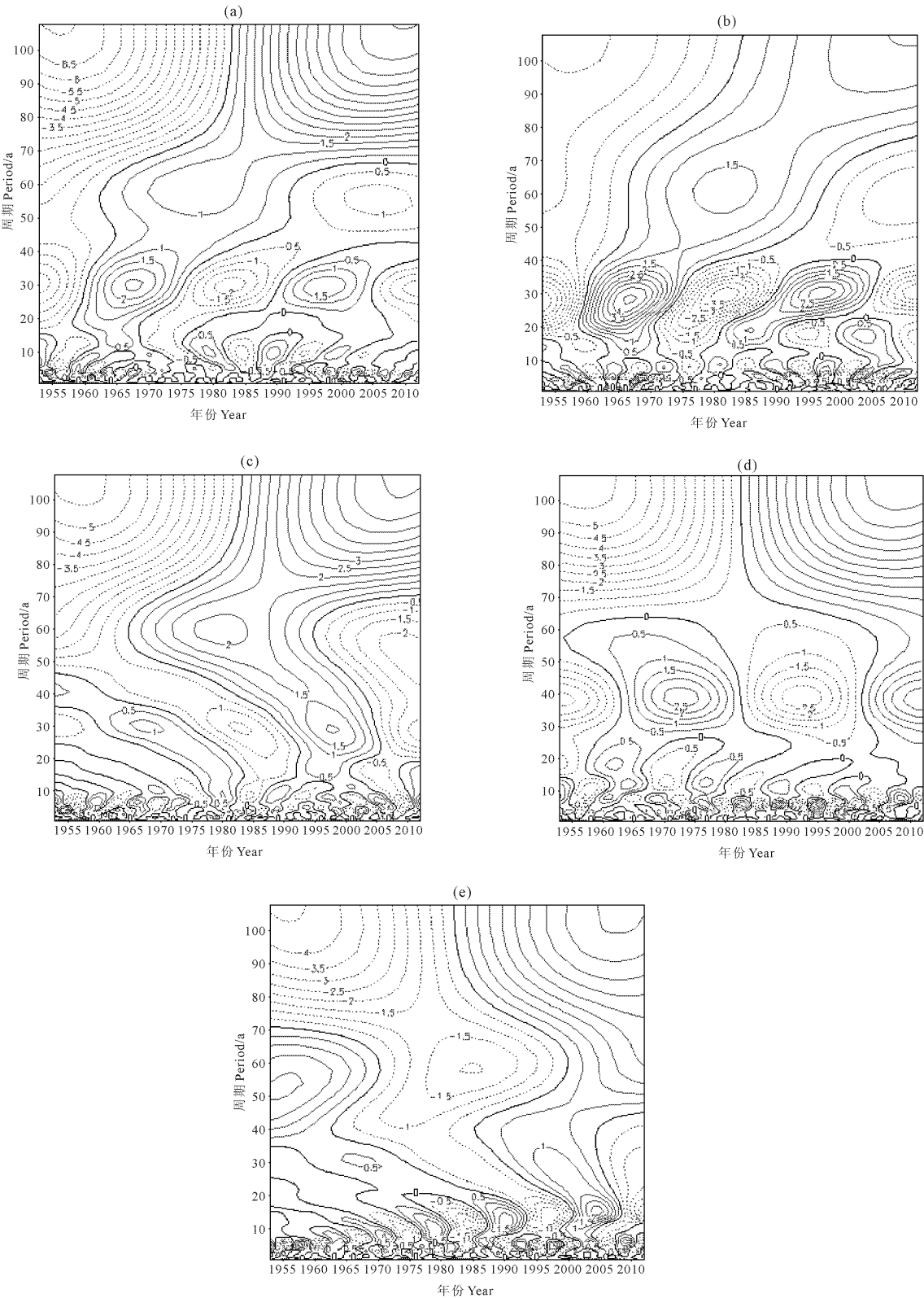


图 4 河西走廊 1953~2012 年(a)、春(b)、夏(c)、秋(d)和冬(e)水汽小波变换

Fig.4 Wavelet analysis for the water vapor in Hexi Corridor in 1953—2012 (a); spring (b); summer (c); autumn (d) and winter (e)

2.5 水汽含量的突变

近 60 a 来河西走廊近地面水汽含量年、季均出现了增多趋势,这种增多是否达到突变水平则需进一步分析。由河西走廊水汽含量突变图(见图 5)可知,年水汽含量除在 20 世纪 50 年代出现减少趋势外,其余时间都是增多趋势,UF 和 UB 的交点出现在 1985 年(通过 0.01 的显著水平),这表明年水汽含量在 1985 年发生了突变。春季水汽含量在 1953~1962 年为偏少,1963—1973 年为偏多,随后又持续减少,1979 年以后为波动增多趋势。UF 和 UB 的交点出现在 1980 年(通过 0.01 的显著水平),这表

明春季水汽含量在 1980 年发生了增多突变。夏季水汽含量变化趋势和突变与年水汽含量的相似,增多突变期出现在 1986 年(通过 0.01 的显著水平),比年突变迟一年。秋季水汽含量变化波动最大,20 世纪 50 年代为偏少期,60 年代至 90 年代初为偏多偏少交替出现的波动期,1994 年出现突变期(通过 0.01 的显著水平)。冬季水汽含量在近 60 a 时间演变序列中呈现为波动上升趋势,但从 1985 年开始上升趋势更加明显,UF 和 UB 的交点出现在 1983 年(通过 0.01 的显著水平),说明冬季水汽含量变化在 1983 年发生了突变。

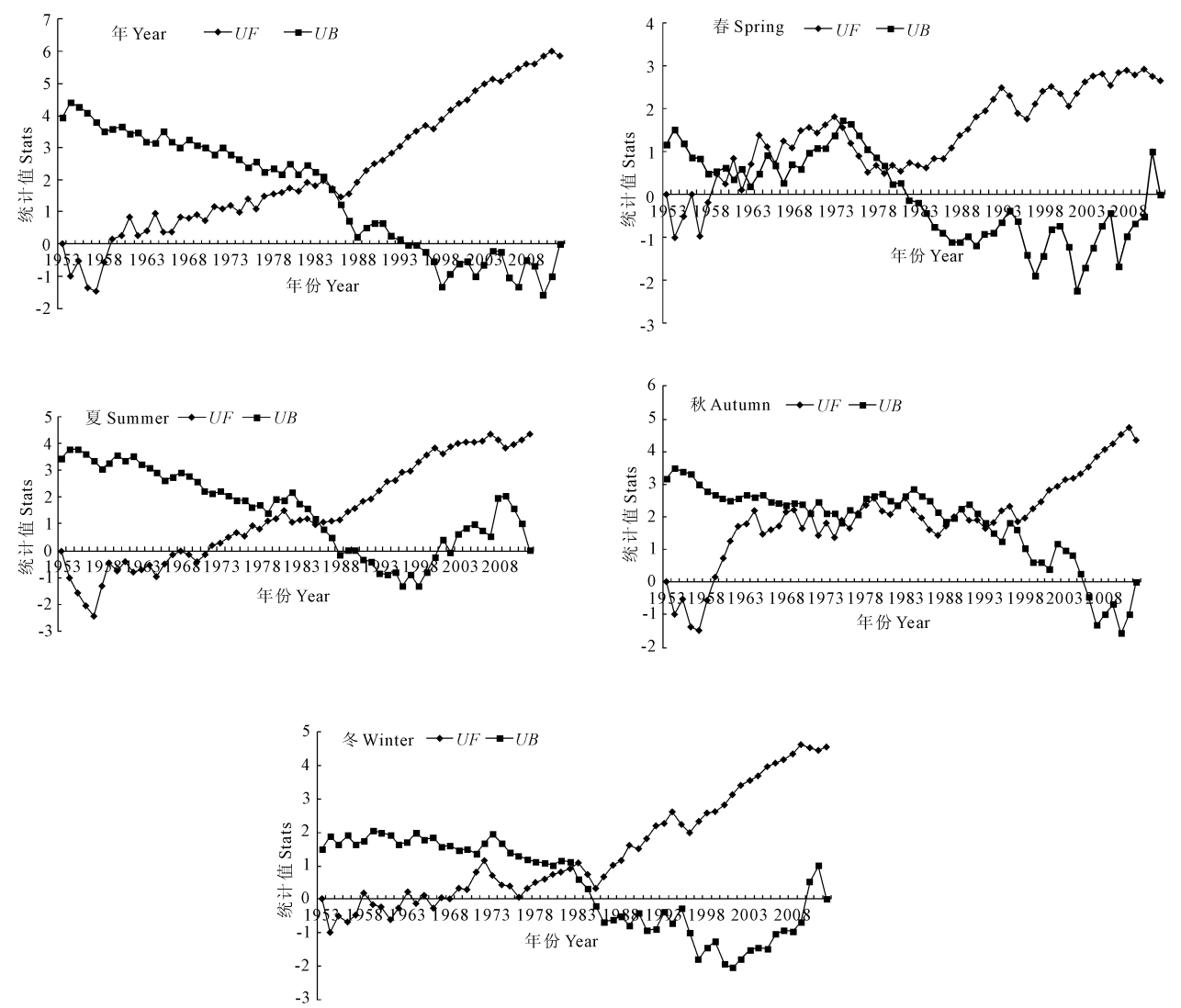


图 5 河西走廊 1953—2012 年、春、夏、秋和冬季水汽压突变

Fig.5 The abrupt change of water vapor pressure in Hexi Corridor in 1953—2012, Spring, Summer, Autum and Winter

2.6 水汽含量地域差异

河西走廊呈西北东南长条状,最西端的敦煌站(94°68'E)与最东部的民勤站(103°08'E)相距 900 多 km。由于同属干旱气候区,绿洲下垫面相同,都属于灌溉农作区,自然植被和农作物生长期亦基本类

同。分析年、季水汽含量地域分布特征(图略)得知,年水汽含量地域分布差异较小,最大值出现在张掖和武威,均为 6.6 hPa,而最小值出现在玉门镇为 4.9 hPa,二者相差 1.7 hPa。就各季各地而言,春季水汽含量最大值出现在威武为 5.1 hPa,最小值出现在玉

门镇为 3.6 hPa。夏季是水汽含量最多的季节,但地域差别较明显,最大值出现在武威为 12.8 hPa,次大值出现在张掖为 12.3 hPa;而最小值出现在玉门镇仅为 10.0 hPa,最大值和最小值相差 2.8 hPa。秋季水汽含量与年平均值相近,最大值出现在武威为 6.6 hPa,最小值出现在玉门镇为 4.4 hPa。冬季水汽含量在 1.7~2.0 hPa 之间,是一年之中水汽最少的季节,且地域分布差异很小。但从河西走廊水汽含量年、季地域分布特征来看,河西走廊绿洲农作区中、东部水汽含量略多于河西西部,这是由于河西中、东部地区降水量多于河西西部,且河西中、东部地区自然植被和绿洲面积大于河西西部的原因所致。

2.7 水汽含量对气候变暖的响应

分析河西走廊气候变化趋势发现,从 20 世纪 80 年代中后期开始,本区域气候开始变暖^[17],近地层水汽含量变化与气候变暖是相联系的。河西走廊地区年平均气温从 1987 年开始呈现为正距平,在 20 世纪 90 年代初出现暖突变,近 60 a 来水汽含量时间演变趋势与河西走廊气温演变趋势变化基本趋于一致,但与水汽变化趋势和突变时期偏晚。通过计算 1953—2012 年河西走廊水汽压与河西走廊年平均气温之间的相关得知:年平均、春、夏、秋、冬水汽压与相对应时段的平均气温之间的相关系数分别为 0.592、0.192、0.551、0.532、0.285,春季未通过显著性检验外(只通过 0.1 信度检验),(冬季通过 0.05 信度检验)夏、秋季相关系数均通过了 0.01 显著性检验,说明河西走廊的年、夏、秋、冬水汽变化与河西走廊平均气温有显著性正相关。

3 结 论

1) 河西走廊近地面水汽压月变化表现为“单峰”型。1 月是一年之中水汽含量最少的月份仅为 1.5 hPa,以后水汽逐渐增多,在 7 月达峰值为 12.2 hPa,6~8 月平均水汽压为 11.1 hPa,比年均值偏高 5.5 hPa,是一年中含量最高的季节。而 12 月~2 月则是全年水汽含量最少的时段,平均为 1.7 hPa。河西走廊地区水汽月变化与本区域平均气温月变化分布特征相同。

2) 近 60 a 来各季水汽含量均表现为波动增加趋势,但春季水汽含量增加趋势最为缓慢,上升趋势仅为 $0.056 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$ (通过 0.1 信度检验)。夏季水汽含量增加趋势明显,线性递增率为 $0.192 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$ (通过 0.001 显著性检验)。秋季水汽演变趋势与夏季相同,线性增加趋势明显,递增率为 $0.198 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$ (通过 0.001 显著性检验),是四季

当中递增率最为显著的季节。冬季水汽演变从 20 世纪 50 年代到 2012 年冬季水汽均值增加 0.5 hPa 。在近 60 a 的时间序列演变中,线性增加趋较缓慢,递增率为 $0.059 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$ (通过 0.1 信度检验)。

3) 近 60 a 来河西走廊年水汽含量呈现出缓慢波动上升趋势,年最低值为 4.6 hPa (出现在 1957 年),次低值为 4.7 hPa (出现在 1956 年);20 世纪 50 年代和 60 年代以负距平值为主(仅 1964 年和 67 年为正距平),说明此期河西走廊近地层水汽处在一个相对的枯水期。从 1988 年开始河西走廊水汽处在一个相对的丰水期,其上升趋势与河西走廊气温上升趋势基本一致。从 1953—2012 年的时间序列演变中可以看出,河西走廊年水汽变化呈现出波动上升趋势,线性递增率为 $0.123 \text{ hPa} \cdot 10\text{a}^{-1}$ (通过 0.001 显著性检验)。

4) 通过对河西走廊绿洲农作区近地面水汽含量小波分析得知,年水汽变化存在 3 a 主周期和 30 a 较长主周期,还有 10 a 较弱周期,且不论周期长短,均呈现出偏少和偏多交替。春、夏季水汽变有 5 a 主周期和 20~30 a 左右的较长周期尺度,均存在偏少和偏多交替。秋季水汽变化有 5 a 主周期。还存在 30~40 a 长周期。冬季水汽变化存在 5 a 周期,随着时序延长,周期也在延长,2000 年以后有 15 a 周期。在各季周期转换中,均存在偏少和偏多交替出现。

5) 近 60 a 来河西走廊近地层水汽含量年、季均出现了波动增多趋势。年水汽含量在 1985 年发生了突变;春季水汽含量在 1980 年发生了增多突变;夏季水汽含量增多突变期出现在 1986 年;秋季水汽含量 1994 年出现突变期;冬季水汽含量在 1983 年发生了突变。年和各季突变期均通过 0.01 信度检验。

6) 从河西走廊水汽含量年、季地域分布特征来看,河西走廊绿洲农作区中、东部水汽含量略多于河西西部,这是由于河西中、东部地区降水量多于河西西部,且河西中、东部地区自然植被和绿洲面积大于河西西部的原因所致。

7) 水汽含量对气候变暖响应明显。河西走廊近地层水汽压与河西走廊平均气温之间的相关显著,年平均、春、夏、秋、冬水汽压与相对应时段的平均气温之间的相关系数分别为 0.592、0.192、0.551、0.532、0.285,除春季未通过显著性检验外(通过 0.1 信度检验),(冬季通过 0.05 信度检验)年、夏、秋季相关系数均通过了 0.01 显著性检验,说明河西走廊的年、夏、秋、冬水汽变化与河西走廊平均气温有显著性正相关。
(下转第 258 页)

气象学报,2003,14(3):299-308.

[6] 杨小利,王劲松.西北地区季节性最大冻土深度的分布和变化特征[J].土壤通报,2008,39(2):238-243.

[7] 阿布都克日本·阿巴司,陈荣毅.喀什地区 1961—2010 年最大冻土深度变化[J].沙漠与绿洲气象,2013,7(5):25-29.

[8] 郭 慧,李栋梁,张 强,等.甘肃河西冬季冻结深度年代际变化特征及其气候成因分析[J].冰川冻土,2005,27(4):503-508.

[9] 王秋香,李红军,魏荣庆,等.1961—2002 年新疆季节冻土多年变化及突变分析[J].冰川冻土,2005,27(6):820-826.

[10] 陈 博,李建平.近 50 年来中国季节性冻土与短时冻土的时空变化特征[J].大气科学,2008,32(3):432-443.

[11] 黄 斌,张洪芬.甘肃河西冬季平均冻土深度对春小麦生育期的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):254-257.

[12] 张洪芬,王劲松,刘治国.祁连山区春季冻土深度特征及对春小麦发育期的影响[J].中国农学通报,2009,25(22):301-305.

[13] 王晓巍,付 强,丁 辉,等.季节性冻土水文特性及模型研究进展[J].冰川冻土,2009,31(5):953-959.

[14] 郑 波,张建明,常小晓,等.广州地铁隧道冻结工程冻土力学特性试验研究[J].地下空间与工程学报,2007,3(5):893-897.

[15] 徐学燕,仲丛利,陈亚明,等.冻土的动力特性研究及其参数确定[J].岩土工程学报,1998,20(5):80-84.

[16] 吴青柏,董献付,刘永智.青藏公路沿线多年冻土对气候变化和工程影响的响应分析[J].冰川冻土,2005,27(1):50-54.

[17] 白 磊,李兰海,李 倩,等.新疆北疆地区季节性冻土冻结过程与日积温的关系[J].冰川冻土,2012,34(2):328-335.

[18] 李 韧,赵 林,丁永建,等.青藏高原季节冻土的气候学特征[J].冰川冻土,2009,31(6):1051-1056.

[19] 杨晓玲,马中华,马玉山,等.石羊河流域季节性冻土的时空分布及对气温变化的响应[J].资源科学,2013,35(10):2104-2111.

[20] 彭小清,张廷军,潘小多,等.祁连山区黑河流域季节冻土时空变化研究[J].地球科学进展,2013,28(4):497-508.

[21] 王春学,李栋梁.中国近 50a 积雪日数与最大积雪深度的时空变化规律[J].冰川冻土,2012,34(2):247-256.

[22] 李海花,刘大锋.新疆阿勒泰地区冬季低温日数气候特征[J].干旱气象,2013,31(3):508-509.

[23] 李海花,刘大锋.1961—2010 年阿勒泰地区冬季降雪日数和强度的气候特征[J].沙漠与绿洲气象,2013,7(S1):28-29.

[24] 李海花,李 焕,葛洪燕,等.阿勒泰地区冬季极端最低气温变化分析[J].沙漠与绿洲气象,2012,6(6):41-44.

[25] 赵 晶,杨淑华,王乃昂,利用 R/S 方法分析兰州城市化气候效应[J].气象,2001,27(2):7-15

[26] 魏凤英.现代气候统计诊断预测技术[M].北京:气象出版社,1999.

[27] 王国亚,毛炜峰,贺 斌,等.新疆阿勒泰地区积雪变化特征及其对冻土的影响[J].冰川冻土,2012,34(6):1293-1299.

(上接第 245 页)

参 考 文 献:

[1] 刘国伟.水文循环的大气过程[M].北京:科学出版社,1997.

[2] 杨景梅,邱金桓.用地面湿度参量计算我国整层大气可降水量及有效水汽含量方法的研究[J].大气科学,2002,26(1):9-22.

[3] 张学文.可降水量与地面水汽压力的关系[J].气象,2004,32(2):9-11.

[4] 徐淑英.我国的水汽输送和水分平衡[J].气象学报,1958,29(1):33-43.

[5] 黄荣辉,张振洲,黄 刚,等.夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别[J].大气科学,1998,22(4):460-469.

[6] 简茂球,秦晓昊,乔云亭.华南大尺度空中水资源时空演变特征[J].中山大学学报(自然科学版),2006,45(6):97-101.

[7] 牛存稳,张利平,夏 军.华北地区降水量的小波分析[J].干旱区地理,2004,27(1):66-70.

[8] 崔玉琴.西北内陆上空水汽输送及其源地[J].水利学报,1994,(9):79-87,93.

[9] 李栋梁,谢金南,王 文.中国西北地区夏季降水特征及其异常研究[J].大气科学,1997,21(3):331-340.

[10] 王秀荣,徐祥德,苗秋菊,等.西北地区夏季降水与大气水汽含量状况区域性特征[J].气候与环境研究,2003,8(1):35-42.

[11] 王可丽,江 灏,赵红岩,等.中国西北地区水汽的平流输送和辐合输送[J].水科学进展,2006,17(2):164-169.

[12] 林振耀,郑度.新疆塔里木盆地东缘水汽输送探讨[J].干旱区研究,1992,9(2):1—7.

[13] 李红军,毛炜峰,赵 勇,等.近 40 a 塔里木盆地近地面水汽含量的趋势和突变研究[J].干旱区地理,2010,33(6):861-867.

[14] 俞亚勋,王劲松,李青燕,等.西北地区空中水汽分布特征及变化趋势分析[J].冰川冻土,2003,25(2):149-156.

[15] 施雅风,沈水平,胡汝骥.西北气候由暖干向暖湿转型的型号、影响和前景初步探讨[J].冰川冻土,2002,24(3):219-226.

[16] 高振荣,刘晓云,杨庆华,等.河西走廊荒漠—绿洲区气候环境演变特征[J].干旱区研究,2010,27(1):31-38.

[17] 李新国,樊自立,李会志,等.开都河下游灌区土壤盐渍化特征分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):147-151.

[18] 李新国,阿斯耶姆·图尔迪,刘 彬,等.近 50 年开都河流域下游降水和气温变化特征分析[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):252-259.

[19] 张宝军,马金珠,赵 鑫,等.近 50 年来民勤县气温变化特征及其原因分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(2):226-229.

[20] 王东方,张风华,孙自武,等.近 60 年来玛纳斯河流域气候时空变化趋势分析[J].干旱地区农业研究,2012,30(5):235-240.

[21] 郭良才,岳 平,李红英,等.河西走廊干旱区的水资源分布及循环过程[J].干旱地区农业研究,2011,29(6):157-163.

[22] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2004:28-88,193-214.

[23] 施雅风,沈永平,李栋梁,等.中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J].第四纪研究,2003,23(2):152-164.

[24] 吴洪宝,吴 蕾.气候变绿诊断和预测方法[M].北京:气象出版社,2005:178-245.