

# 近 50 年乌鲁木齐河流域垂直气候带的异同变化特征

陈 霞<sup>1,2</sup> 魏文寿<sup>3</sup> 刘明哲<sup>1</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002; 4. 中国科学院天山积雪雪崩研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 依据乌鲁木齐河流域各站点近 50 a 的观测数据, 分析垂直带内气候变化的异同特征。结果表明, 年增温趋势最强的是低山带  $0.554^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 贡献最大是冬季温度。温度距平变化幅度除中山带为进入 21 世纪最大外, 其他均为 1990 s 最大。显著增温突变年际尺度(2 a)上, 低海拔带响应早于中、高山带; 年代际尺度(16~23 a)上高山带最早, 中山带最晚。年增湿趋势最显著的是高山带  $20.8\text{ mm}/10\text{ a}$ , 贡献最大是夏季降水。降水距平幅度除高山带 1990 s 振幅最大外, 其他均为 1980 s 最大。降水突变特征为随着海拔高度的增加突变的响应时间依次推后。

**关 键 词:** 乌鲁木齐河流域; 气候变化; 突变检验; 小波分析

中图分类号: P463.21+3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2010)04-0606-07

近年来, 全球变暖的趋势十分明显, 第四次 IPCC 报告指出, 1906~2005 年的线性趋势是  $0.74^{\circ}\text{C}^{[1]}$ 。在全球气候变暖背景下<sup>[2~4]</sup>, 干旱区作为气候变化的敏感地区, 响应尤为显著。施雅风等提出西北气候由暖干向暖湿转型, 幅度高于全球的平均值<sup>[5~7]</sup>。任朝霞等认为近 50 a 西北干旱区年均温上升倾向率是  $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ; 降水量呈波动变化, 增长率为  $3.2\text{ mm}/10\text{ a}^{[8]}$ 。新疆作为显著转型区<sup>[9]</sup>, 气候总体上呈变暖变湿趋势<sup>[10,11]</sup>。胡汝骥等指出自 1940 年代后期, 新疆降水增加 20%~30%<sup>[12]</sup>。其中乌鲁木齐河流域气温在 1985~2003 年升高  $1.6^{\circ}\text{C}$ , 流域年降水量平均增加  $22\text{ mm}^{[13]}$ 。

当前, 气候变化研究极为关注时间尺度问题, 却较少关注空间尺度问题。主要是因为空间尺度的区域性强、规律性差、不确定性因素多, 数据获取困难, 理论应用复杂, 使得相关研究结论难以得到广泛认同。近些年对气候变化在不同下垫面的垂直高度分布规律的研究, 逐步受到重视<sup>[14~20]</sup>。一个固定流域在相同气候背景下, 气候变化垂直带特征的研究工作目前开展较少。本文研究在全球变暖的气候背景下, 乌鲁木齐河流域作为敏感区, 不同海拔高度下、不同类型区气候要素的变化趋势, 尝试探

讨不同空间尺度上区域气候变化的具体差异, 旨在得出不同海拔区域水、热净资源的变化规律。

## 1 资料与方法

### 1.1 站点选择

本文基于 1:5 万的 DEM 数据, 以 500、1 000、2 000、3 500 m 海拔高度为界限划分垂直带(图 1)。依据天山北部独特的山盆系统地貌构造<sup>[21,22]</sup>, 参照天山北坡垂直带谱划分结果<sup>[23]</sup>, 结合草地类型、土壤类型的垂直分异规律<sup>[24]</sup>, 将天山北坡中段划为 6 种垂直气候带(表 1)。目前, 天山北坡中段内共 8 个气象站点(图 1), 分属于乌鲁木齐河流域、头屯河流域及柴窝堡洼地, 其中头屯河与乌鲁木齐河的尾间均位于准格尔盆地。因此, 考虑到流域差异性及站点有限性, 选择乌鲁木齐河流域大西沟站(1958-06~2007-12, 数据起止, 以下同)代表高山带, 牧业站(1978-01~2007-12)代表中山带, 乌鲁木齐站(1951-01~2007-12)代表低山带, 米泉站(1961-04~2007-12)代表绿洲带, 蔡家湖站(1958-10~2007-12)代表荒漠绿洲交错带。以上各站点气象要素数据总体上符合时间序列长、海拔高度差异大、地貌类型齐全要求。

收稿日期: 2009-12-18; 修订日期: 2010-03-22

基金项目: 科技部社会公益专项(GYHY200706008)、中国科学院研究生科技创新项目、新疆生地所人才培养计划(0771021)、中国科学院“西部之光”——“巩乃斯河流域积雪资源对气候变化的区域响应”项目资助。

作者简介: 陈 霞(1981-), 女, 内蒙古莫旗人, 博士研究生, 主要从事气候变化与环境方面的研究。E-mail: chenxia1218@sina.com

通讯作者: 魏文寿, 男, 博士生导师。E-mail: weiwsh@idm.cn

表 1 天山北坡中段垂直带谱及站点分布

Table1 Classification of altitudinal belts and distribution of meteorologic stations in the middle part of northern slope of Tianshan Mountains

| 海拔高度(m)     | 垂直气候带型    | 草地类型            | 土壤类型     | 地貌类型    | 站点分布                                       |
|-------------|-----------|-----------------|----------|---------|--------------------------------------------|
| >3 600      | 冰雪带       | 小莎草、杂类草高寒草甸     | 冰渍物 粉砂土  | 高山带     | —                                          |
| 2 800~3 600 | 高山草甸带     | 细果苔+草珠+芽线蓼叶蒿草草甸 | 亚高山草甸土   | 高山带     | 大西沟(3 500 m)                               |
| 1 700~2 800 | 山地森林带     | 无芒雀麦+草原糙苏+杂类草草甸 | 暗栗钙土+黑钙土 | 中山带     | 小渠子(2 161 m)、牧业站<br>(1 940 m)、达坂城(1 104 m) |
| 800~1700    | 山地草原带     | 新疆亚菊+针茅+苔草草原    | 棕钙土      | 低山带     | 乌鲁木齐(918 m)                                |
| 500~800     | 山地荒漠带     | 散枝猪毛菜+角果藜草地     | 灰漠土      | 绿洲带     | 米泉(601 m)、昌吉(579.3 m)                      |
| <500        | 温带荒漠灰棕漠土带 | 盐柴类半灌木荒漠草地      | 灰棕漠土     | 荒漠绿洲交错带 | 蔡家湖(441 m)                                 |

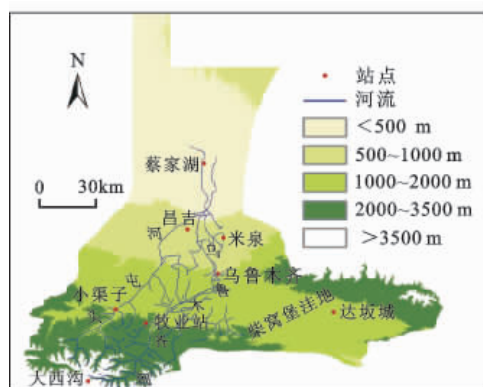


图 1 基于 1:5 万 DEM 数据的乌鲁木齐河流域垂直带内站点分布图

Fig.1 Stations distribution at altitudinal belt in Urumqi River Basin based on DEM data

## 1.2 数据处理

据新疆气象局信息中心提供的以上 5 个站点日观测数据,通过剔除 4 倍方差外异常值和缺测数据进行数据质量控制,研究海拔高度在 400~3 500 m 间垂直带气候变化异同特征。

牧业站(87.18°E、43.45°N, alt 1 940 m)数据观测自 1978 年开始,数据年限较短,而位于头屯河流域的小渠子站(87°E、43.5°N, alt 2 161 m)的经纬度、海拔高度均与牧业站相近,两站月温度数据相关性达 0.996,降水相关性为 0.894。本文通过建立确定性系数 99.19% 的月平均温度和确定性系数 81.01% 的月降水量相关性方程,延长牧业站的观测时限至 1956 年 5 月。乌鲁木齐气象站有过 3 次搬迁(1960、1975、2000 年),其中在 1960~1975 年的观测点(87.47°E、43.9°N, alt 653.5 m)数据变化较大,后续没有连续观测,无法利用原站点进行订正。该观测点经纬度、海拔高度与米泉气象站(87.65°E、43.96°N, alt 602 m)相接近,经过月数据相关性检验,月平均温度及降水相关系数分

别为 0.999、0.936。本文将米泉气象站作为乌鲁木齐气象站校正站点,通过建立确定系数 99.95% 的月均温度和 99.78% 的月降水量函数,得到乌鲁木齐气象站 1960~1975 年间的订正数据。

本文利用蔡家湖站、米泉站、订正后的乌鲁木齐站、延长后的牧业站、大西沟站的年均温、年降水、季均温、季降水数据,分析不同海拔高度下温度( $T$ )、降水( $P$ )的年、季节变化趋势特征及代际特征,并利用 Mann-Kendall、滑动  $T$  检验与 Mexican Hat 小波分析方法进行突变检验,寻找突变发生时间及垂直带内气候变化的异同特征,得到温度、降水要素的垂直廓线特征,进而寻求其内在联系性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 垂直带内温度变化特征

1) 年、季均温趋势变化特征。不同海拔高度下年均温倾向率增加显著(图 2),均通过 0.01 的显著水平( $T$  检验 sig=0.000)检验,但增温强度却各不相同。低山带的增温最为剧烈,倾向斜率为 0.554℃/10 a,是增温率最小的高山带的 2.50 倍,比王绍武等<sup>[25]</sup>研究的近 50 a 中国西部地区增温趋势 0.2℃/10 a 结果高出 1.77 倍,同样高出新疆 0.27℃/10 a 和北疆 0.36℃/10 a 的研究结果<sup>[26]</sup>;其次,绿洲带为 0.542℃/10 a,荒漠绿洲交错带为 0.309℃/10 a。温度小波系数等值线(图 3)显示,在气候带的主周期(表 2)内其高值中心均已出现,且荒漠绿洲交错带-低山带(图 3a~e)分别于 2002、2001、2000 年达到极值,表现为随海拔高度的增加高值中心出现时间提前 1 a 的规律,而中、高山带(图 3d~e)则分别在 2005、2003 年达到极值,之后进入新的冷中心形成期;次 2 a 周期高值中心出现 2007 年,之后温度有减小趋势。2007 年后温度增加趋势将逐步减弱。

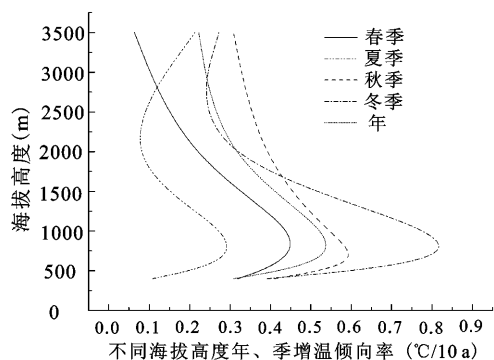


图2 不同海拔高度下年、季平均温度倾向率

Fig. 2 Tendency rate of annual and seasonal temperature at different altitudes

不同海拔高度的增温倾向率差异性表现为,年增温倾向率在山区随海拔高度增加而减小,春、冬季的温度廓线为明显“S”型特征。尽管5种类型区在年均温度上均表现出显著增加的趋势特征,但在季节变化上,春、夏季增温强度低于年均值,而秋、冬季高于年均值,即在乌鲁木齐河流域对于年均温度增加贡献,主要是秋、冬季平均气温增加所致。年增温倾向率在海拔高度上的差异为荒漠绿洲交错带、绿洲带、低山带冬季增温最剧烈,分别达到年均温的1.27、1.52、1.54倍,与全球变暖学说中暖冬现象的观点相一致<sup>[8 27~29]</sup>;中、高山带为秋季,分别为年均温1.36和1.39倍,在其他地区气

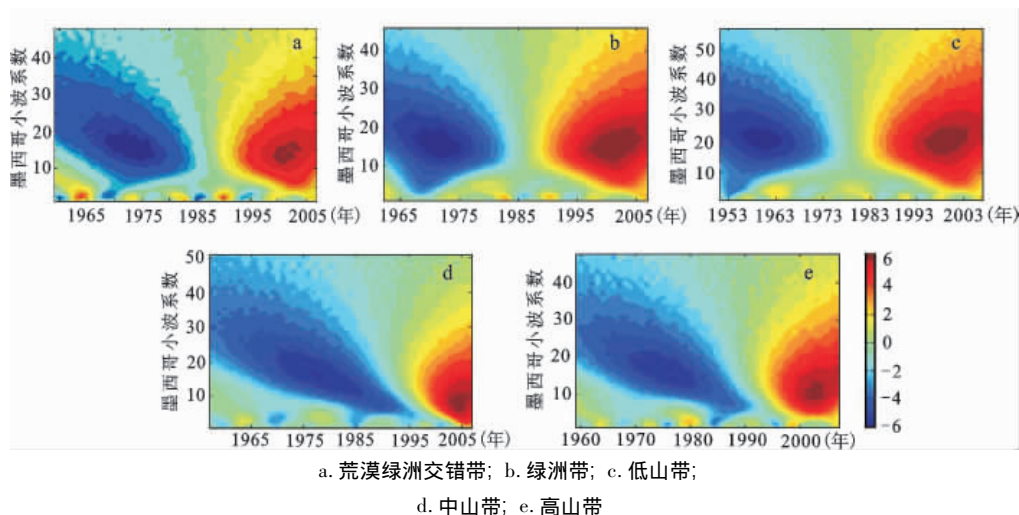


图3 温度小波系数等值线图

Fig. 3 Isolines of Wavelet coefficients in annual temperature

候变化研究中较少出现。

2) 年均温代际特征。根据WMO和中国气象局有关规定,各气候区的气温、降水平均值使用1971~2000年平均值。本文选择5种类型区观测时间一致的数据,得到温度、降水在1960、1970、1980、1990s及21世纪以来(2000~2007年)的距平百分率。结果表明,中、高山带在1960~1980s持续降温,而进入1990s年代以后增温剧烈。荒漠绿洲交错带-低山带则表现为1960s以来的持续增温,且随海拔高度的增加,增温幅度增大。温度距平变化幅度除中山带为21世纪以来最大外,其他各类型区均为1990s振幅最大。因此,应对西北地区的暖湿趋势,乌鲁木齐河流域温度上反映最为敏感的是中山带。

3) 年均温突变特征。本文突变检验利用非参

数检验的Mann-Kendall、滑动T检验和Mexican Hat小波分析3种方法进行检验(表2)。滑动T检验步长取1~8,每一序列得到8组检验值,选择连续稳定时间点为突变点,以此消除突变点漂移问题。小波分析通过对标准化数据进行对称性延拓以消除数据边界效应,最后取实际观测数据范围,检验周期和准周期尺度上的突变点,突变点显著性通过滑动T进行检验。结合3种突变检验方法的优缺点<sup>[30]</sup>,至少有两种方法结果相接近(<2a误差)时,确定突变时间,以小波定年为准。

由3种方法的对比分析可知(表2),乌鲁木齐河流域温度突变特征为,荒漠绿洲交错带2a尺度于1997年发生由低到高的显著性突变,17a尺度的突变年为1988年;绿洲带于1991年发生由低到高的显著性突变,17a尺度突变年为1987年;低山

表 2 不同海拔高度下年均温度突变特征

Table 2 Jump transition of annual temperature at different altitudes

| 海拔高度( m) | 滑动 T 检验                | M - K 检验                           | 小波检验                                                                  |
|----------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 400      | 1966 ,1984 ,1991       | 1981 ,1986 ,1988 ,1997             | 1997 ~ 1998<br>1987 ~ 1988( 17 a)<br>1974 ,1989 ,1997 2001( 2 a)      |
| 600      | 1966 ,1979 ,1984 ,1991 | 1981 ,1988 ,1997                   | 1991 ,1992 ,1994<br>1986 ~ 1987( 17 a)                                |
| 1 000    | 1984 ,1992             | 1955 ,1961 ,1972 ,1976 ,1988 ,1997 | 1980 ~ 1981 ,1984 ~ 1985 ,1978<br>1980( 23 a)                         |
| 2 000    | 1968 ,1984 ,1992       | 1976 ,1996 ,1997 2003              | 2003 ~ 2004<br>1992( 16 a)                                            |
| 3 500    | 1973                   | 1976 ,1977 ,1990 ,1996 ,1997       | 1997 ~ 1998 2001<br>1979 ~ 1980( 17 a)<br>1974 ,1989 ,1997 2001( 2 a) |

带于 1984 年发生由低到高的温度显著性突变, 23 a 尺度的突变年为 1980 年; 中山带于 2003 年温度发生由低到高的显著性突变, 16 a 尺度的突变年为 1992 年; 高山带温度 2 a 尺度于 2001 年发生由低到高的显著性突变, 17 a 尺度的突变年为 1979 年。尤卫红等研究表明, 近百年来全球气温增暖的突变点是 1979 年, 中国气温增暖的突变点是 1987 年<sup>[31]</sup>。因此, 乌鲁木齐河流域的山前地带( 600 m 以下) 与全国突变年份一致, 而低山、高山带与全球突变年份相一致。

显著增温突变在低海拔地区发生较早, 尤其以低山带最早, 且主要发生在年际时间尺度上。而主周期的年代际尺度上总体仍是低海拔带较早。与范丽红的北疆年均温突变年为 1989 年, 天山山区为 1995 年山区相对较晚的结论相一致<sup>[32]</sup>。

## 2.2 垂直带内降水变化特征

1) 年、季降水趋势特征。分析年降水倾向率随海拔高度的变化( 图 4) 可知, 年降水增加趋势不如温度一致性强( 图 2), 其波动性更大。增湿最为显著的是高山带 20.8 mm/10 a, 最小的是荒漠绿洲交错带 7.8 mm/10 a, 与 93°E 以西年降水量呈增加趋势的结论相一致<sup>[33]</sup>。中山带近 50 a 的倾向率为 -3.79 mm/10 a, 且自 1978 年以来减少趋势为 -7.9 mm/10 a。

本文通过对其它地区中山带站点进行核实, 结果表明, 位于西天山积雪雪崩站( alt 1 775 m) 在有记录的时间内年降雨量也为减少的趋势, 趋势系数 -0.075<sup>[34]</sup>; 位于西天山南坡昭苏站( alt 1 854 m) 增加趋势极不显著, 趋势系数为 0.027; 位于中天山的天池站( alt 1 935 m) 和小渠子站( alt 2 161 m) 趋势系数均 <0.13。因此, 可以认为北疆中山带年降水增加趋势微弱或者趋于减少。降水小波系数等值线( 图 5) 显示, 除中山带( 图 5d) 尺度嵌套较

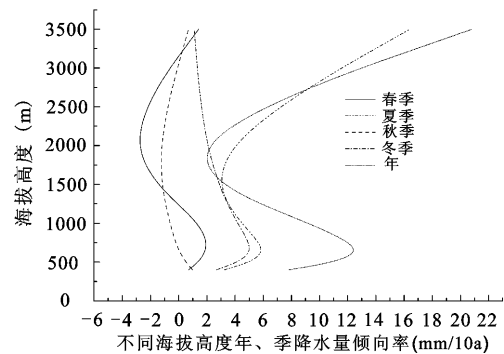


图 4 不同海拔高度年、季降水倾向率

Fig. 4 Tendency rate of annual and seasonal precipitation at different altitudes

多, 变化不稳定, 在 1976 年出现干中心后, 逐渐回弹外, 其它类型区在 14 ~ 17 a 尺度( 表 3) 范围内, 依次在 1998、1998、2002、2000 年形成湿中心后( 图 5a ~ e) 进入干中心的形成期, 且 2 ~ 3 a 尺度上湿中心在 2007 年形成, 即 2007 年后增湿趋势将减弱。

年降水增湿趋势随海拔高度变化的差异性( 图 4) 表现为, 最大年增湿趋势是最小年的 2.66 倍, 比温度趋势( 2.49 倍) 差异大。季节分配除中山带外, 对年降水倾向率增加贡献最大是夏季, 高山带表现最显著; 秋、冬季降水增加倾向率垂直差异最小, 且秋季降水量在绿洲带 - 中山带均表现减少特征; 中山带春季降雨量减少是年降雨量减少主要原因。响应于西北地区的暖湿化趋势, 乌鲁木齐河流域降水最为敏感的是高山带。

2) 年降水代际特征。不同海拔高度降水年代际变化表明, 中山带以下类型区均表现为降水量于 1970 s 开始持续增加, 而高山带为 1980 s 开始剧增。因此, 乌鲁木齐河流域降水代际特征在高山带具有明显滞后 10 a 的效应。垂直带上距平幅度一致性较高, 中山带以下均为 1980 s 振幅最大, 且随海拔高度的增加振幅减弱; 而高山带为 1990 s 振

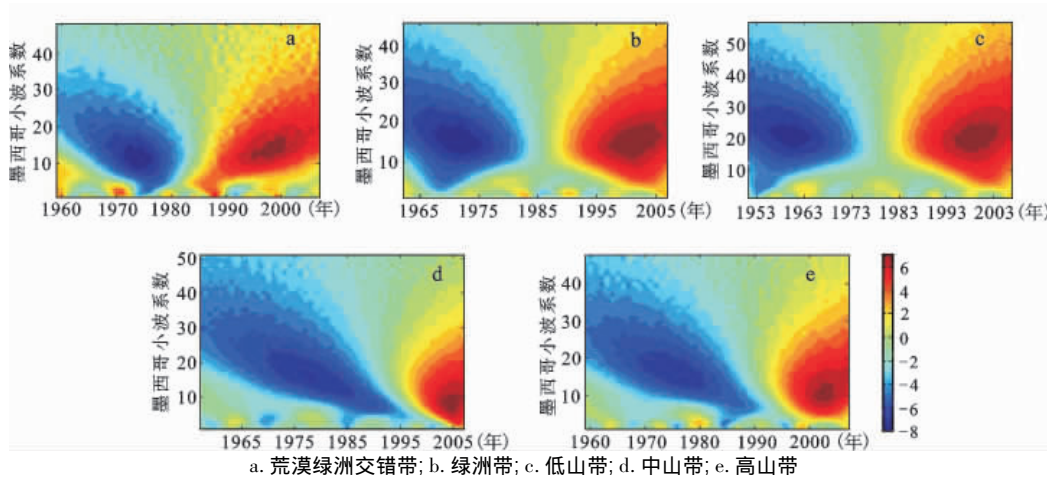


图 5 降水小波系数等值线图  
Fig. 5 Isolines of Wavelet coefficients in annual precipitation

表 3 不同海拔高度下年降水突变特征

Table 3 Jump transition of annual precipitation at different altitudes

| 海拔高度( m) | 滑动 T 检验          |                  | M - K 检验                       | 小波检验                                               |
|----------|------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|
| 400      | 1972 ,1980 ,2000 | 1978 ,1983       | 1987 ~ 1988 ,1990 ,1992        | 1985 ~ 1986( 15 a)<br>1980 ,1990 ,1995 ,2001( 3 a) |
| 600      | 1973 ,1980 ,2000 | 1983 ,1969 ,2002 | 1964 ,1984                     | 1986 ~ 1987( 17 a)                                 |
| 1 000    | 1962 ,1969 ,1989 | 1958 ,1972 ,1991 | 1987 ,1989 ~ 1990 ,1991 ~ 1992 | 1987 ,1952 ~ 1953( 17 a)                           |
| 2 000    | -                | 1987             | -                              | 1974 ,1967 ~ 1968( 9 a)                            |
| 3 500    | 1966             | 1987 ,1992       | 1993 ~ 1994                    | 1990( 14 a)<br>1978( 2 a)                          |

幅最大 ,之后持续增湿;进入 21 世纪后低山带距平增长最为显著 ,其次为高山带。由此可知 ,乌鲁木齐河流域降水代际变化最为强烈的是为高山带。

3) 年降水突变特征。由表 3 可知 ,荒漠绿洲交错带降水显著增湿突变 3 a 尺度为 1980 年 ,15 a 尺度为 1986 和 1992 年;绿洲带显著增湿的突变 17 a 尺度为 1986 年;低山带显著增湿突变 17 a 尺度为 1987 年;中山带因 3 种检测方法中未出现相互验证年份 ,且 M - K 检验均未达显著性水平 ,故认为中山带降水未发生突变;高山带增湿突变 14 a 尺度为 1990 年。

显著增湿突变在乌鲁木齐河流域内规律较为明显 ,随着海拔高度的增加降水突变的影响范围逐渐推向高海拔区域 ,表现为其响应时间依次推后。这与范丽红研究得到的北疆平均年降水量突变年为 1987 年、天山山区为 1993 年的结论相一致<sup>[32]</sup>。

2.3 垂直带内气候要素相互关系差异性特征

气候变化中温度与降水的关系一直没有确定性结论<sup>[35]</sup> ,而要素之间关系的密切程度不能单独

由相关系数的大小来决定。为便于比较 5 种类型区温度、降水要素的相关程度 ,本文利用盈哲公司的在线统计工具包 ,通过给定效能( power = 0.5 )、误差量及样本量 ,计算达到 0.05 显著水平的最小相关系数值 ,利用 SPSS 计算 Pearson 相关系数 ,并利用 Fisher - Z 分布将二者的相关系数转换为服从正态分布的数据 ,通过显著性检验 ,对比其相关程度的大小。结果表明 ,年温度、降水正相关系数在高山带与其它各类型区的差异均达到显著水平 ,即高山带温度、降水相关系数为极显著正相关 ,其他类型区关系均不显著;春季温度、降水负相关系数在低山带以下 3 种类型区与中、高山带间差异显著 ,即荒漠绿洲交错带-低山带温度、降水的极显著负相关在 3 种类型区内差异不大;夏季温度、降水负相关系数只有中山带与各气候类型区间差异均显著 ,即中山带在夏季温度与降水呈现极显著负相关 ,其它各类型区均表现为相关性较弱;秋、冬季各类型区温度、降水相关性系数间差异均未达显著性水平。

因此, 乌鲁木齐河流域只有高山带具有暖湿与冷干的气候类型交替出现, 年内春季荒漠绿洲交错带~低山带均为暖干-冷湿的交替型; 夏季仅中山带为暖湿-冷干的交替型。

### 3 结 论

乌鲁木齐河流域垂直带内气候异同特征为:

1) 年增温趋势最强的是低山带, 其倾向率为  $0.554^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 是增温最小的高山带 2.49 倍, 低山带以下对年均温贡献最大的是冬季温度显著增加, 而中、高山带则是秋季强烈增温。山区随海拔高度升高而年增温趋势减弱。低海拔气候带为 1960 s 以来的持续增温, 中、高山带为 1960~1980 s 降温, 进入 1990 s 年代以后增温剧烈, 温度距平变化幅度除中山带为进入 21 世纪最大外, 其他各气候带均为 1990 s 振幅最大。年际尺度(2 a) 显著的增温突变在低海拔带响应早于中、高山带; 而年代际尺度(16~23 a) 突变是高山带最早, 中山带最晚。

2) 年增湿趋势最显著的是高山带, 其倾向率为  $20.8\text{ mm}/10\text{ a}$ , 是最小荒漠绿洲交错带的 2.66 倍; 仅中山带出现减少趋势, 且主要为春季降水减少所致。降水距平幅度中山带以下均为 1980 s 振幅最大, 且随海拔高度的增加振幅减弱, 而高山带在 1990 s 振幅最大。降水突变特征为随着海拔高度的增加, 突变的影响范围逐渐推向高海拔区域, 表现为其响应时间依次推后。

3) 温度、降水在年际之间只有高山带具有暖湿-冷干的气候类型交替, 年内春季荒漠绿洲交错带-低山带均为暖干-冷湿的交替型; 夏季仅中山带为暖湿-冷干的交替型。

### 参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Hansen J, Lebedeff S. Global trends of measured surface air temperature [J]. Journal of Geophysical Research, 1987, **92d**: 13345~13372.
- [3] 林学春, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列 [J]. 大气科学, 1995, **19**(5): 525~534.
- [4] 符宗斌, 王 强. 南亚夏季风气候的突变现象及其与全球迅速变暖的同步性 [J]. 中国科学(B 辑), 1991, **21**(6): 666~672.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 房巧敏, 龚道溢, 毛 睿. 中国近 46 年来冬半年日降水变化特征分析 [J]. 地理科学, 2007, **27**(5): 711~717.
- [8] 任朝霞, 杨达源. 近 50a 西北干旱区气候变化趋势研究 [J]. 第四纪研究, 2006, **26**(2): 299~300.
- [9] 施雅风. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估 [M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [10] 杨 青. 新疆气候变化 [J]. 新疆气象, 1997, **12**(1): 10~20.
- [11] 李红军, 江志红, 魏文寿. 近 40 年来塔里木河流域旱涝的气候变化 [J]. 地理科学, 2007, **27**(6): 801~807.
- [12] 胡汝骥, 马 虹, 樊自力, 等. 新疆水资源对气候变化的响应 [J]. 自然资源学报, 2002, **17**(1): 22~27.
- [13] 吴素芬, 刘志辉, 韩 萍, 等. 气候变化对乌鲁木齐河流域水资源的影响 [J]. 冰川冻土, 2006, **28**(5): 703~706.
- [14] 卢爱刚, 庞德谦, 何元庆, 等. 全球升温对中国区域温度纬向梯度的影响 [J]. 地理科学, 2006, **26**(3): 345~350.
- [15] 孙风华, 任国玉, 赵春雨, 等. 中国东北地区及不同典型下垫面的气温异常变化分析 [J]. 地理科学, 2005, **25**(2): 167~171.
- [16] 崔彩霞, 杨青, 王胜利. 1960~2003 年新疆山区与平原积雪长期变化的对比分析 [J]. 冰川冻土, 2005, **27**(4): 486~490.
- [17] 叶佰生, 丁永建, 康尔泗, 等. 近 40 a 来新疆地区冰雪径流对气候变暖的响应 [J]. 中国科学(D), 1999, **29**(增刊): 40~46.
- [18] 张家宝, 史玉光. 新疆气候变化及短期气候预测研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [19] 魏文寿, 何 清, 刘明哲, 等. 准噶尔盆地的气候变化与荒漠环境研究 [J]. 中国沙漠, 2003, **23**(2): 101~105.
- [20] 史玉光, 杨 青, 魏文寿. 沙漠绿洲-高山冰雪气候带的垂直变化特征研究 [J]. 中国沙漠, 2003, **23**(5): 488~492.
- [21] 张新时. 天山北部山地-绿洲-过渡带-荒漠系统的生态建设与可持续农业范式 [J]. 植物学报, 2001, **43**(12): 1294~1299.
- [22] 赵洪壮, 李有利, 杨景春, 等. 基于 DEM 数据的北天山地貌形态分析 [J]. 地理科学, 2009, **29**(3): 445~449.
- [23] 张百平, 谭 娅, 莫申国. 天山数字垂直带谱体系与研究 [J]. 山地学报, 2004, **22**(2): 184~192.
- [24] 冯 纛. 天山北坡中段草地多样性研究 [D]. 新疆农业大学, 2005.
- [25] Wang Shaowu, Zhu Jinjiang, Cai Jingning. Interdecadal Variability of Temperature and Precipitation in China since 1880 [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2004, **21**(3): 307~313.
- [26] 苏宏超, 魏文寿, 韩 萍. 新疆近 50 a 来的气温和蒸发变化 [J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 174~178.
- [27] 贾文雄, 何元庆, 李宗省, 等. 近 50 年来河西走廊平原区气候变化的区域特征及突变分析 [J]. 地理科学, 2008, **28**(4): 525~531.

- [28] 贾文雄,何元庆,李宗省,等. 祁连山区气候变化的区域差异特征及突变分析[J]. 地理学报, 2008, 63(3): 257~269.
- [29] 宋连春. 西北干旱气候变化及其对全球变暖的响应研究[D]. 南京信息工程大学, 2005.
- [30] 何文平. 动力学结构突变检测方法的研究及其应用[D]. 兰州大学, 2005.
- [31] 尤卫红,段旭. 全球、中国及云南近百年气温变化的层次结构和突变特征[J]. 热带气象学报, 1998, 14(2): 173~180.
- [32] 范丽红. 新疆天山山区与南、北疆气候变化及其影响的比较研究[D]. 新疆大学, 2006.
- [33] 靳立亚,符娇兰,陈发虎. 近44年来中国西北降水量变化的区域差异[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 567~572.
- [34] 任国玉,吴虹,陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 322~330.
- [35] 张丽旭,魏文寿. 天山西部中山带积雪变化趋势与气温和降水的关系——以巩乃斯河谷为例[J]. 山地学报, 2001, 19(5): 403~407.

## Similarities and Differences of Climate Change During Last 50 Years in Altitudinal Belts of Urumqi River Basin

CHEN Xia<sup>1,2</sup>, WEI Wen-shou<sup>3</sup>, LIU Ming-zhe<sup>1,4</sup>

(1 Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011; 2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3 Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi, Xinjiang 830002; 4. Tianshan Snow and Avalanche Research Stations of the Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011)

**Abstract:** Based on the meteorologic data during last 50 years, this paper analyzes the characteristics of climate change in the altitudinal belts with linear tendency rate, Mann-Kendall and Wavelet of Mexican Hat. The results indicate that annual temperature increased significantly in the low mountain zone with the tendency rate of  $0.554^{\circ}\text{C}/10\text{yr}$ , contributed by winter warming, differing from middle mountain zone and alpine zone which were dominated by autumn warming. Besides amplitude of annual temperature departures changed most significantly in the 21th century in middle mountain zone, in other zones the annual temperature fluctuated greatest in the 1990s. Response of annual temperature jump transition in the lower zones is earlier than the middle mountain and alpine zone in the generational scale (2 yr), whereas alpine zone responded earliest in the decadal scale (16–23 yr). Annual precipitation in the alpine zone increased the most at a tendency rate of  $20.8\text{ mm}/10\text{ yr}$ , attributed to summer rainfall. Amplitude of annual precipitation departures fluctuated greatest in the 1980s in other zones except the alpine zone, the highest amplitude of which was in the 1990s. Response to the annual precipitation jump transition was lagged with the increase of altitude.

**Key words:** Urumqi River Basin; climate change; climatic shift test; wavelet analysis