

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2018.0066

LI Kaiming, ZHONG Xiaofei, JIANG Ye, et al. Study on vertical gradient change of air temperature and precipitation in Ürtümqi River basin during 1961–2016[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2018, 40(3): 607–615. [李开明, 钟晓菲, 姜焯, 等. 1961–2016年乌鲁木齐河流域气温和降水垂直梯度变化研究[J]. 冰川冻土, 2018, 40(3): 607–615.]

# 1961–2016年乌鲁木齐河流域气温和降水垂直梯度变化研究

李开明<sup>1,2</sup>, 钟晓菲<sup>1</sup>, 姜焯<sup>1</sup>, 李佳宁<sup>1</sup>, 李林凤<sup>2</sup>, 周平<sup>3</sup>

(1. 兰州城市学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州交通大学, 甘肃 兰州 730070; 3. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 新疆乌鲁木齐河流域高山区和平原区气候条件差异较大, 对该流域气温和降水垂直梯度变化的研究, 有利于了解不同地理要素之间的作用过程。利用乌鲁木齐河流域6个气象观测站数据, 分析研究了气温和降水的变化趋势、气温和降水及其倾向率与海拔的关系, 以及不同月份气温和降水随海拔的变化特征。结果表明: 1961–2016年间, 乌鲁木齐河流域气温和降水总体呈上升趋势, 其中乌鲁木齐站气温和降水倾向率分别为 $0.189\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和 $28.83\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ , 大西沟站气温和降水倾向率分别为 $0.268\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和 $18.85\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ; 气温和降水与海拔关系密切, 随海拔降低气温逐渐升高, 而降水呈减少趋势; 高海拔区气温升温倾向率总体大于低海拔区, 降水倾向率随高度增加而明显增加; 月气温变化速率随海拔升高呈“钟”形分布, 并在5–8月达到最大; 月降水变化速率随海拔变化表现为下降~上升~下降~上升, 并在5–8月达到峰值。

**关键词:** 乌鲁木齐河流域; 气候变化; 梯度变化; 气温; 降水

**中图分类号:** P467      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-0240(2018)03-0607-09

## 0 引言

全球气候系统变暖是毋庸置疑的事实。IPCC第四次报告指出, 1906–2005年全球气温升高 $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>, 第五次报告数据表明, 1880–2012年间全球地表温度升高了 $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[2]</sup>, 在未来一段时期内将会持续升高。在全球气候变暖背景下, 干旱区是气候变化的敏感地区。施雅风等<sup>[3]</sup>提出西北气候由暖干向暖湿转型, 幅度高于全球平均值。1951–2000年西北干旱区年均温上升速率是 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ , 降水量呈波动变化, 增长率为 $3.2\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ <sup>[4]</sup>。新疆是气候转型的显著区<sup>[5]</sup>, 1960–2013年间年平均气温升温倾向率为 $0.32\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ , 表现为由南向北降低的趋势; 降水增加率为 $8.23\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ , 表现为由南向北增多的趋势<sup>[6]</sup>; 天山地区年降水呈现“西多东少, 北

多南少, 高山多外围少”的特征, 年降水变化率为 $6.0\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ <sup>[7]</sup>。气候系统的变化, 必然导致陆地表面各种地理要素的改变, 如天山博格达峰地区冰川在1962–2006年间面积减少了21.6%<sup>[8]</sup>, 新疆冰川在过去26~44a之间, 由于升温使冰川面积减少了11.7%<sup>[9]</sup>, 并对区域水资源和水文过程产生重大影响。以融雪径流补给的河流, 出现最大径流前移, 夏季径流减少; 以冰川融水补给的河流, 汛期径流明显增大, 年径流量增加<sup>[10]</sup>, 甚至冰雪洪水、冰湖溃决、冰川泥石流等灾害发生的频次和强度增加<sup>[11]</sup>。气候变化与人类活动共同作用, 对区域生态环境产生重大影响<sup>[12–14]</sup>。

乌鲁木齐河流域是比较受关注的区域, 气温升高主要发生在20世纪90年代后, 降水基本呈持续增加趋势<sup>[15]</sup>; 山区气温变化较平原地区小, 降水量在减少的同时其变率增加, 且大致在海拔1900m

收稿日期: 2018-02-05; 修订日期: 2018-04-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41661014, 41771077); 兰州城市学院2017年度本科生科研创新基金项目(2017-55)资助

作者简介: 李开明(1974–), 男, 甘肃民勤人, 副教授, 2011年在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所获博士学位, 从事冰川变化及寒旱区水资源研究。E-mail: lkm\_wd@126.com.

和 3 500 m 左右有两个较大降水带<sup>[16]</sup>。气候变化研究更多地关注时间尺度的变化和高原区,而对高山区气候变化研究,尤其是气候变化敏感区域内气候变化的垂直梯度研究较少。选择乌鲁木齐河流域作为研究对象,一是流域内分布有冰川、冻土和积雪,是主要的产流区,对气候变化非常敏感;二是乌鲁木齐河是乌鲁木齐市主要水源供应地,对下游生产生活具有重要影响;三是流域山势高、坡降陡,高差达 2 809 m,下垫面复杂。加强气温和降水垂直梯度变化研究,对深入认识寒旱区地理与环境要素的演化过程,了解高山区和平原区气候变化差异具有重要意义。

## 1 研究区概况

乌鲁木齐河流域位于天山北坡中段,准噶尔盆地南缘,介于 86°45′~87°56′ E 和 43°00′~44°07′ N 之间(图 1),属于典型的大陆型气候区。流

域南起乌鲁木齐河上游天山山脉依连哈比尕山分水岭,北至古尔班通古特沙漠南缘东道海子,西接头屯河流域,东到乌拉泊和柴窝堡洼地之间的分水岭。河源区年平均气温在 -5~-7℃ 之间,多年平均降水量为 425 mm,主要集中在 5-8 月。流域内山势高、坡降陡、垂直地带性明显。海拔 2 900 m 以上山地属于高山灌丛草甸和基岩裸露的冰川-冰缘带。发源于天山北坡的喀拉乌成山主峰——天格尔 II 峰附近的乌鲁木齐河,自南流向东北,横穿过乌鲁木齐市,最后流入准噶尔盆地南缘米东区北沙窝的东道海子,全长 214 km,流域面积 5 803 km<sup>2</sup>,年径流量 2.37 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,是一条冰雪融水、降雨及地下水混合补给的河流。在河源区,中国科学院天山冰川站自 1959 年开始开展冰川、积雪、冻土及冰缘植被等观测项目,并在乌鲁木齐河源区设有 1 号冰川、空冰斗、总控断面等水文气象观测点(图 1)。

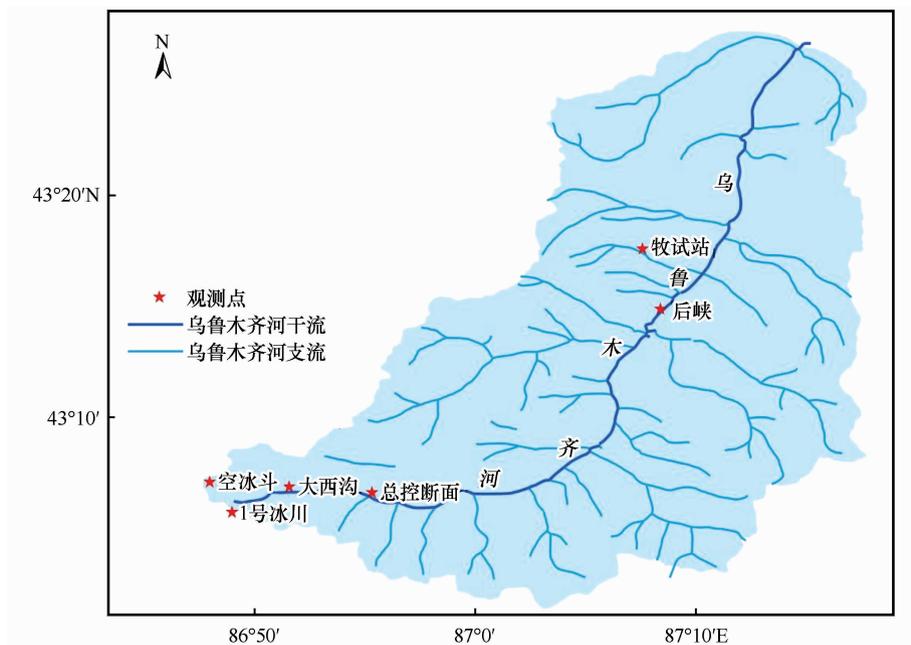


图 1 乌鲁木齐河流域地理位置及观测点

Fig. 1 Map showing the Ürümqi River basin and the location of observation stations

## 2 数据来源与研究方法

本研究气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)中国地面气候资料月值数据集,以及中国科学院天山冰川观测试验站的观测数据,其观测严格按照中国气象局出版的《地面气象观测规范》执行。由于二者数据资料系列的不同步,在数据处理时尽量将观测时段一致的站点数据进行比较研究。观测站点及数据的基本信

息见表 1。对于时间序列主要采用一元线性趋势分析方法,通过气候倾向率反映气温和降水在不同海拔的变化情况。

## 3 结果与讨论

### 3.1 气温和降水年代际变化趋势

气温是反映气候变化的重要参数。气温变化影响流域蒸散发及降水形态,并会改变冰川积雪消融强度与消融时间从而影响流域水资源。选取大西沟

表 1 各观测点基本信息

Table 1 Information of the observation stations

站点名称	海拔/m	位置坐标	观测时间	站点名称	海拔/m	位置坐标	观测时间
1 号冰川	3 695	43°06' N, 86°49' E	2007 - 2016 年	牧武站	2 355.6	43°28' N, 87°12' E	2009 - 2016 年
空冰斗	3 805	43°04' N, 86°30' E	2007 - 2016 年	后峡	2 130	43°12' N, 87°07' E	2007 - 2016 年
大西沟	3 539	43°06' N, 86°49' E	1961 - 2016 年	乌鲁木齐	935	43°46' N, 87°39' E	1961 - 2016 年
总控断面	3 408	43°07' N, 86°52' E	2007 - 2016 年				

气象站(3 539 m)和乌鲁木齐市气象站(935 m)作为高山区和平原区气温变化研究的代表。数据分析表明,1961 - 2016 年两个站点的年平均气温总体上表现为在波动中上升,且步调基本一致。其中乌鲁木齐站多年平均气温为 7.31 °C,升温倾向率为 0.189 °C · (10a)<sup>-1</sup>;大西沟站多年平均气温为 -4.97 °C,升温倾向率为 0.268 °C · (10a)<sup>-1</sup>(图 2)。升温主要发生在 1995 年之后,年均温度基本高于过去 56 a 间的平均温度。尽管高山区和平原区年际温度相差很大,但气温变化步调基本一致。

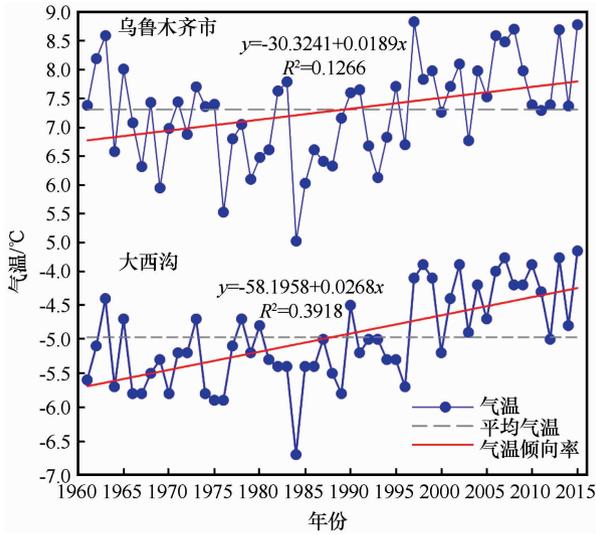


图 2 1961 - 2016 年乌鲁木齐市和大西沟气象站气温变化趋势

Fig. 2 The air temperature variations at Ürümqi (up) and Daxigou (down) meteorological stations during 1961 - 2016

降水主要通过流域下垫面的作用补给河流,它也是高山区冰川主要物质来源。图 3 表明,1961 - 2016 年间,两站点的降水均呈增加趋势,并在 20 世纪 80 年代后期增加趋势更为显著,其中大西沟多年平均降水量为 460.50 mm,年代际降水倾向率为 18.85 mm · (10a)<sup>-1</sup>,乌鲁木齐多年平均降水量为 269.50 mm,年代际降水倾向率为 28.83 mm · (10a)<sup>-1</sup>。从空间格局看,平原区年代际降水倾向

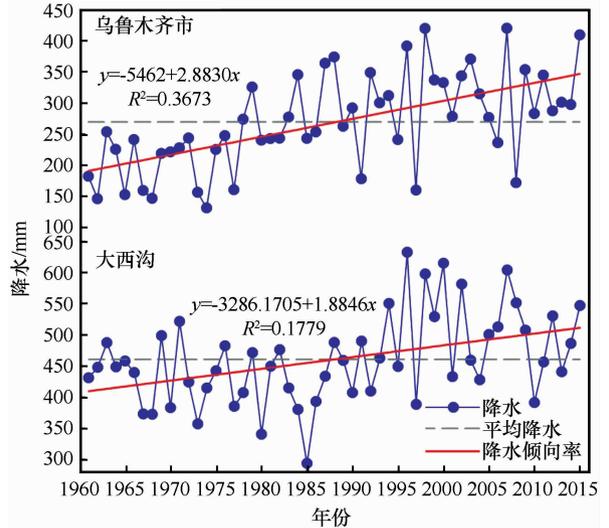


图 3 1961 - 2016 年乌鲁木齐市和大西沟气象站降水变化趋势

Fig. 3 The precipitation variations at Ürümqi (up) and Daxigou (down) meteorological stations during 1961 - 2016

率大于高山区,降水增加主要发生在 1995 年之后。

水热条件变化必定影响到流域固态和液态水资源量的空间分配格局。1964 年乌鲁木齐河流域共有冰川 155 条,面积 48.04 km<sup>2</sup>,至 1992 年面积减少了 13.8%<sup>[17]</sup>,该区定位观测冰川乌鲁木齐河源 1 号冰川面积在 1962 - 2006 年期间面积由 1.95 km<sup>2</sup>缩小到 1.68 km<sup>2</sup><sup>[9]</sup>,至 2012 年面积缩小为 1.59 km<sup>2</sup><sup>[18]</sup>,1962 - 2006 年期间冰川储量减少了 29.51 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>,相当于冰川厚度减薄了 8.9 m<sup>[19]</sup>,冰川融水径流大幅增加。吴素芬等<sup>[20]</sup>研究表明,高山区冰川融水径流的变化主要受气温变化影响,降水主要影响中高山径流,乌鲁木齐河流域降水径流与冰川融水增加量相当,1959 - 1985 年冰川融水径流量平均值为 19.294 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>,1986 - 2001 年的平均值为 32.348 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>。气温升高与降水增加共同作用,影响高山区冰川积雪消融。监测表明,乌源 1 号冰川物质平衡总体呈亏损状态,其贡献使冰川径流增加了 69.7%<sup>[21]</sup>。

### 3.2 多年平均气温和降水随海拔的变化

对不同海拔带多年平均气温和平均降水变化特征研究表明,气温和降水随海拔带的变化规律比较明显(图4)。海拔大于3000 m的空冰斗、1号冰川、大西沟和总控断面处的多年平均气温均小于0℃,海拔小于3000 m的后峡、牧试站、乌鲁木齐的多年平均气温均大于0℃,且随高度降低而逐渐升高。多年平均气温在不同海拔带的分布规律表明,在海拔2500~3500 m之间有一年平均气温值为0℃的区域。若根据图5(a)所给出的线性趋势回归方程,则可粗略地判定该0℃区域应在2600 m左右的区域带内。

随海拔降低,降水总体呈减少趋势,但其减少趋势并非线性的,而是按某一规律呈波动变化。在海拔小于2500 m的中低山带,降水减少幅度较大。降水随海拔变化的倾向率为 $3.26 \text{ mm} \cdot (100\text{m})^{-1}$ (图5b)。在2400~3400 m的这一中高山带,由于无降水观测数据,降水变化规律尚不清

楚。为全面了解降水梯度变化规律,今后应在该高度带加强观测,探明是否有降水减少的区域出现。

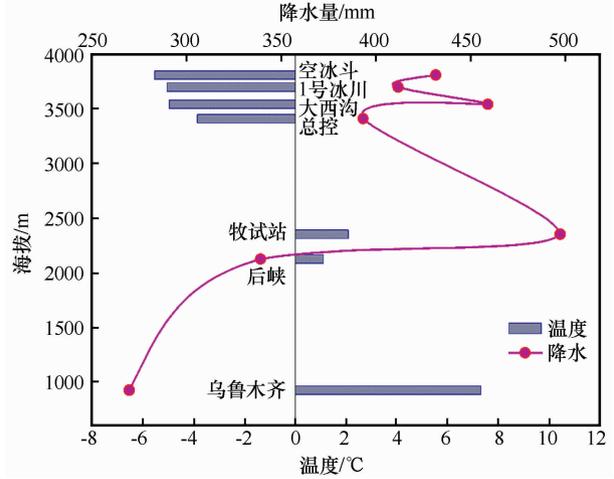
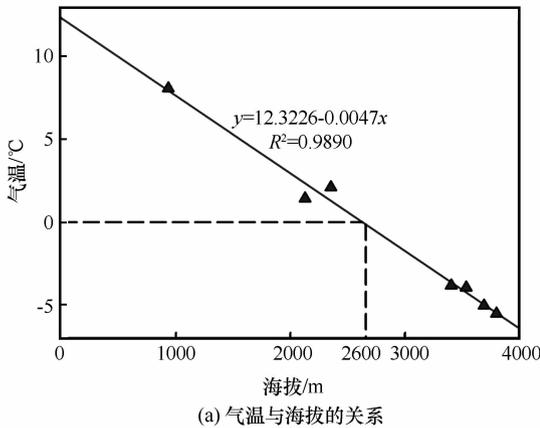
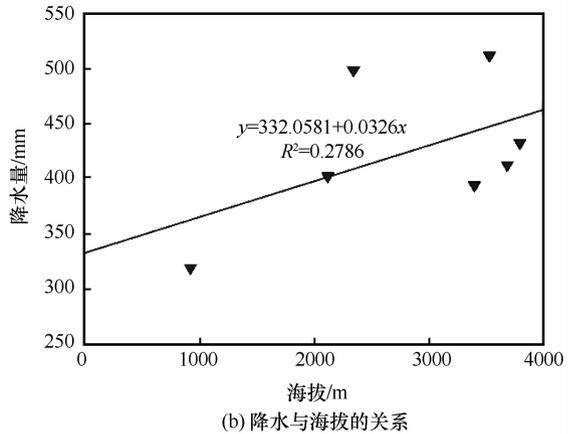


图4 温度和降水随海拔的变化情况  
Fig. 4 Variations of air temperature and precipitation with altitude



(a) 气温与海拔的关系



(b) 降水与海拔的关系

图5 气温和降水随海拔的变化情况  
Fig. 5 Variations of air temperature (a) and precipitation (b) with altitude

乌鲁木齐河流域气温和降水均随时间变化呈增加趋势,尤其自1995年以后升温幅度比较显著,这与他人研究成果一致<sup>[20,22]</sup>。通过对不同气象数据进行一元线性回归分析表明(表2),高海拔地区气温升温速率较大,如海拔大于3000 m的1号冰川、空冰斗、大西沟和总控断面观测站年代际气温倾向率分别为 $0.927$ 、 $0.722$ 、 $0.268$ 和 $1.585 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,而海拔低于3000 m的后峡、乌鲁木齐站的年代际气温倾向率分别为 $0.399$ 、 $0.206 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,表明高海拔区气温升温速率总体大于低海拔区。降水倾向率基本随海拔增加呈明显的增加趋势,1号冰川和空冰斗年际降水倾向率分别为 $18.62 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $25.61 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ,其它观测站降

水倾向率介于 $0.97 \sim 3.21 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间。6个观测站年际气温倾向率随海拔变化的速率为 $0.02 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (\text{a} \cdot 100\text{m})^{-1}$ ,  $R^2 = 0.2798$ (图6a),降水倾向率随海拔变化速率为 $0.51 \text{ mm} \cdot (\text{a} \cdot 100\text{m})^{-1}$ ,  $R^2 = 0.3080$ (图6b)。表明气温升温速率和降水增加速率与海拔具有密切联系。

韩添丁等<sup>[23]</sup>研究表明,河源区降水连续增加和升温导致冰川强烈消融,使乌鲁木齐河流域径流呈现明显增加趋势,而降水增加的区域出现在高山带及山前平原区,中低山带降水增加趋势不明显。史玉光等<sup>[24]</sup>研究表明,新疆大气含水量分布与降水量分布相反,决定新疆降水差异的根本原因不在于水汽多少,而在于降水产生的动力条件、水汽辐

表 2 观测站点气温和降水的回归拟合方程

Table 2 Regression fitting equations of temperature and precipitation in different observation sites

站点名称	海拔/m	气温线性回归方程	降水线性回归方程
1 号冰川	3 695	$y = 0.0927x - 191.4620, R^2 = 0.3049$	$y = 18.6176x - 37036.6036, R^2 = 0.2413$
空冰斗	3 805	$y = 0.0722x - 150.7427, R^2 = 0.1885$	$y = 25.6121x - 51086.0618, R^2 = 0.5037$
大西沟	3 539	$y = 0.0268x - 58.1958, R^2 = 0.3918$	$y = 1.8846x - 3286.1705, R^2 = 0.1779$
总控断面	3 408	$y = 0.1585x - 322.6493, R^2 = 0.5528$	$y = 3.2109x - 6064.6836, R^2 = 0.0363$
后峡	2 130	$y = 0.0399x - 78.7593, R^2 = 0.3986$	$y = 0.9685x - 1537.9251, R^2 = 0.0226$
乌鲁木齐	935	$y = 0.0206x - 33.5715, R^2 = 0.1503$	$y = 2.8327x - 5363.4282, R^2 = 0.3709$

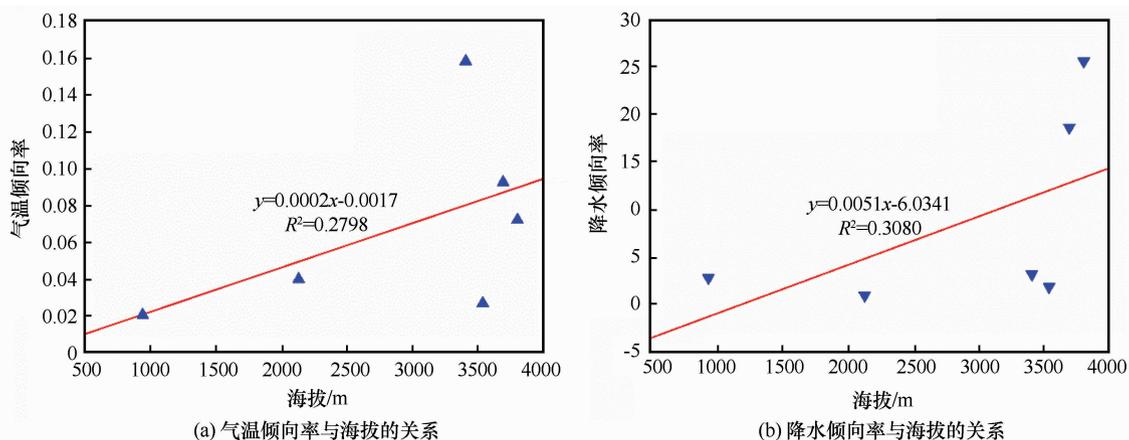


图 6 气温和降水倾向率与海拔的关系

Fig. 6 Inclination rates of air temperature (a) and precipitation (b) changing with altitude

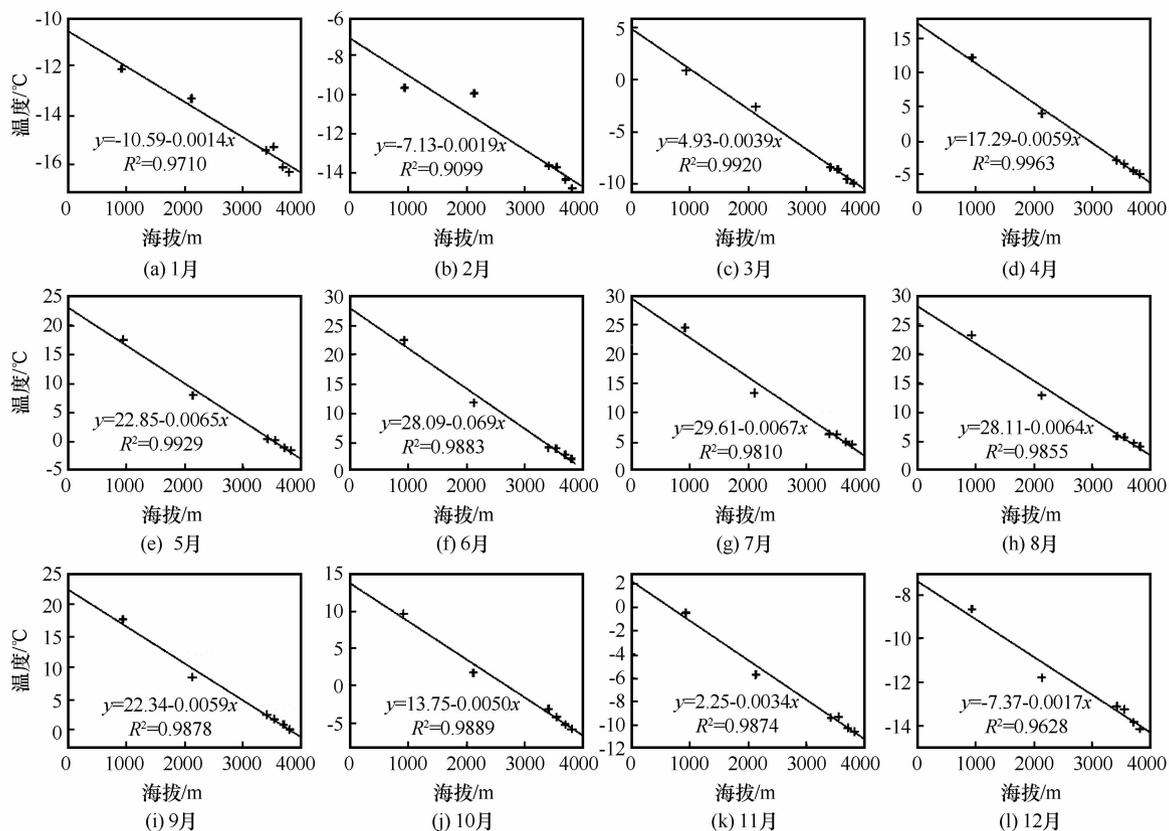


图 7 2007 - 2016 年间平均温度与海拔之间的线性关系

Fig. 7 The linear relationships between monthly mean air temperature and altitude during 2007 - 2016

合和其他因素差异。从乌鲁木齐河流域不同高度带降水及降水倾向率变化可以看出，高山带的变化幅度大于中低山带，除垂直高度影响之外，高山带复杂的地形条件对降水的空间分布也具有很重要的影响<sup>[25]</sup>。

### 3.3 月气温和降水与海拔的关系

以乌鲁木齐河流域内的乌鲁木齐站(935 m)、后峡站(2 130 m)、总控断面(3 408 m)、大西沟站(3 539 m)、1号冰川水文断面(3 695 m)、空冰斗(3 805 m)共6个气象站处2007-2016年观测数据为基础，探查气候变化与海拔之间的关系。数据分析表明，1-12月平均气温均随海拔升高而呈显著下降趋势(图7)，图7(a)~7(l)的线性倾向率分别为0.14、0.19、0.39、0.59、0.65、0.69、0.67、0.64、0.59、0.50、0.34、0.17 °C · (100m)<sup>-1</sup>，变化趋势都通过了95%的置信度检验。随海拔升高，1-12月气温倾向率随海拔升高而变化的趋势呈“钟”形分布(图8)，即先上升，在冰川消融期(5-8月)达到最大，之后逐渐下降，6月(图7g)和7月(图7h)达到最大值，分别为0.69 °C · (100m)<sup>-1</sup>和0.67 °C · (100m)<sup>-1</sup>，在1月(图7a)、2月(图7b)

和12月(图7l)气温随海拔的变化速率较小，分别为0.14、0.19和0.17 °C · (100m)<sup>-1</sup>。不同月份气温与海拔之间的关系表明，对于乌鲁木齐河流域，在冬季，不同海拔处的气温极差不大，而夏季气温极差最大，春季和秋季次之。这也是夏季气温较高时，人们往往选择高海拔地区景点作为避暑地的原因之一。

2007-2016年间，1-12月降水量与海拔也有

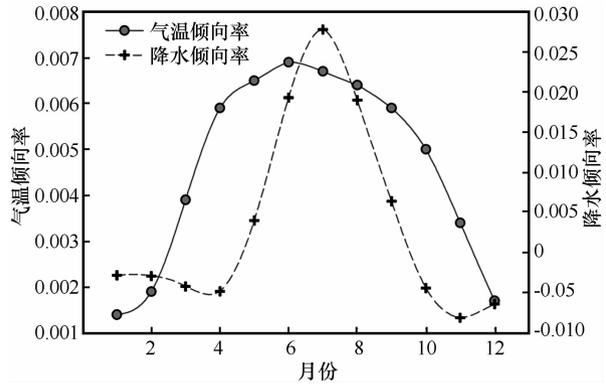


图8 1-12月气温倾向率和降水倾向率变化特征  
Fig. 8 The monthly variations of inclination rates of air temperature and precipitation from January to December

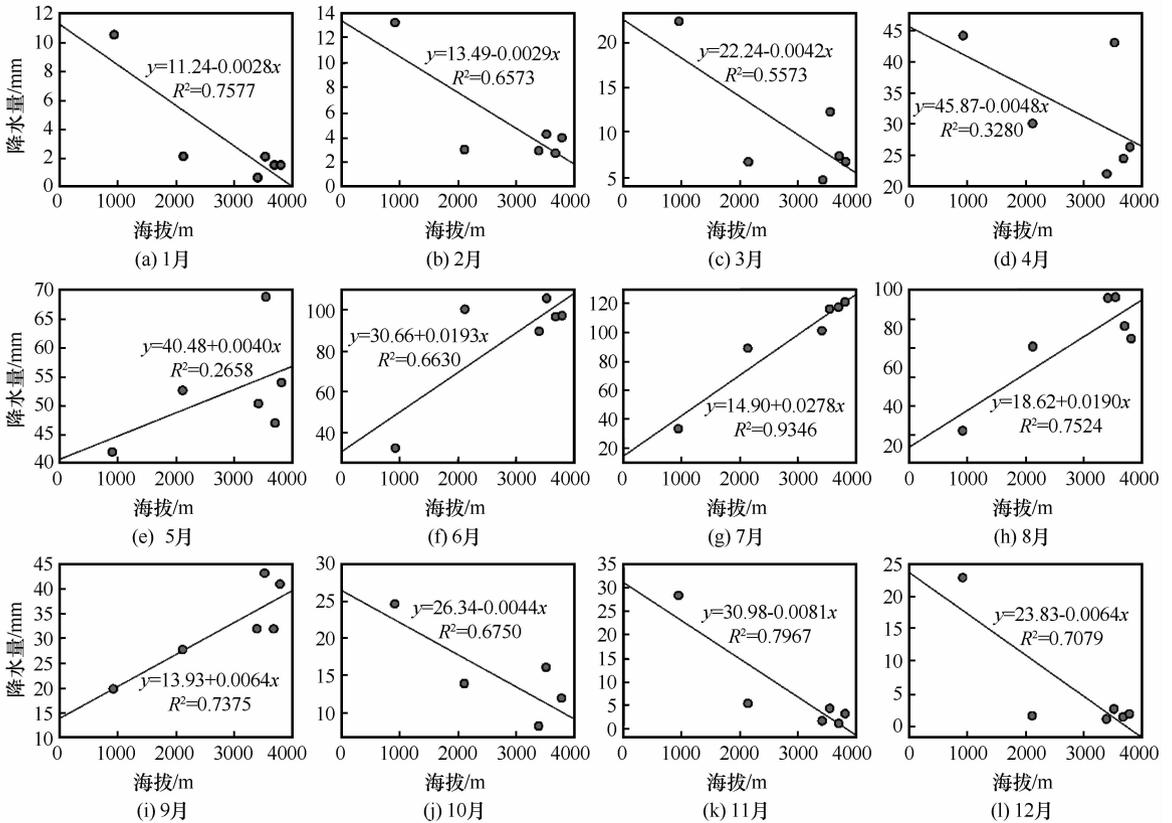


图9 2007-2016年间平均降水与海拔之间的线性关系

Fig. 9 The linear relationships between monthly mean precipitation and altitude during 2007-2016

比较明显的变化特征(图9),图9(a)~9(i)表述的各月的降水倾向率分别为 $-0.28$ 、 $-0.29$ 、 $-0.42$ 、 $-0.48$ 、 $0.40$ 、 $1.93$ 、 $2.78$ 、 $1.90$ 、 $0.64$ 、 $-0.44$ 、 $-0.81$ 、 $-0.64 \text{ mm} \cdot (100\text{m})^{-1}$ ,变化趋势均通过了95%的置信度检验。其中消融期5-9月(图9e~9i)降水随海拔升高呈增加趋势,降水增加倾向率分别为 $0.40$ 、 $1.93$ 、 $2.78$ 、 $1.90$ 、 $0.64 \text{ mm} \cdot (100\text{m})^{-1}$ ,而且6-8月降水增加倾向率较大。总体上不同月份降水倾向率随海拔变化特征表现为先是略微下降,到5月份开始快速上升,到7月份到达最高点,之后开始快速下降,到11月份后又略有上升(图8)。

## 4 结论

通过对乌鲁木齐河流域不同海拔气象观测站点资料的分析研究,进一步了解了气温和降水的梯度变化特征和变化趋势,获得了气温和降水及其倾向率与海拔之间的关系,以及不同月份气温和降水随海拔的变化特征,基本结论如下:

(1) 1961-2016年间,乌鲁木齐河流域气温总体呈上升趋势,乌鲁木齐站多年平均气温为 $7.31 \text{ }^\circ\text{C}$ ,年代际升温倾向率为 $0.189 \text{ }^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ;大西沟站多年平均气温为 $4.97 \text{ }^\circ\text{C}$ ,年代际升温倾向率为 $0.268 \text{ }^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。降水也呈增加趋势,大西沟多年平均降水为 $460.50 \text{ mm}$ ,降水增加倾向率为 $18.85 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,乌鲁木齐多年平均降水量为 $269.50 \text{ mm}$ ,降水增加倾向率为 $28.83 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

(2) 气温和降水变化与海拔关系密切。海拔大于 $3000 \text{ m}$ 的空冰斗、1号冰川、大西沟和总控断面处的多年平均气温小于 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,海拔低于 $3000 \text{ m}$ 的后峡和乌鲁木齐的多年平均气温均大于 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,且随高度降低而逐渐升高;随海拔降低,降水呈减少趋势。

(3) 气温倾向率与降水倾向率与海拔关系密切。高海拔区气温升温倾向率总体大于低海拔区,降水倾向率随高度增加而显著增加。

(4) 随海拔升高,1-12月气温倾向率变化趋势随海拔升高而呈“钟”形分布,即先上升,在冰川消融期(5-8月)达到最大,之后逐渐下降;降水倾向率随海拔变化表现为先略有下降,消融期(5-9月)开始上升并到达最高值,之后开始快速下降,到11月份后又略有上升。

致谢: 本研究工作的相关数据来自于中国科学院天

山冰川站研究人员多年艰辛的野外观测,研究过程和论文撰写得到相关专家的建议,在此表示衷心感谢!

## 参考文献(References):

- [1] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change[M]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007: 466-482.
- [2] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change[M]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013: 383-464.
- [3] Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, et al. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in northwest China[J]. Quaternary Science, 2003, 23(2): 152-164. [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.]
- [4] Ren Chaoxia, Yang Dayuan. Study on trend of climate change in the arid region of northwest China in past 50 years[J]. Quaternary Science, 2006, 26(2): 299-300. [任朝霞, 杨达源. 近50 a 西北干旱区气候变化趋势研究[J]. 第四纪研究, 2006, 26(2): 299-300.]
- [5] Shi Yafeng. An assessment of the issues of climatic shift from warm-dry to warm-wet in northwest China[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2003: 4-23. [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: 4-23.]
- [6] Reziwanguli Maimaitiyiming, Yang Jianjun, Liu Yongqiang, et al. Characteristics of changes in temperature and precipitation in Xinjiang in recent 54 years[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(2): 128-133. [热孜宛古丽·麦麦提依明, 杨建军, 刘永强, 等. 新疆近54年气温和降水变化特征[J]. 水土保持研究, 2016, 23(2): 128-133.]
- [7] Liu Youcun, Jiao Keqin, Zhao Kui, et al. The response of precipitation to global climate change in the Tianshan Mountains, China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(4): 748-759. [刘友存, 焦克勤, 赵奎, 等. 中国天山地区降水对全球气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 2017, 39(4): 748-759.]
- [8] Li Kaiming, Li Zhongqin, Wang Cuiyun, et al. Shrinkage of Mt. Bogda glaciers of eastern Tian Shan in Central Asia during 1962-2006[J]. Journal of Earth Science, 2016, 27(1): 139-150.
- [9] Li Zhongqin, Li Kaiming, Wang Lin. Study on recent glacier changes and their impact on water resources in Xinjiang, northwestern China[J]. Quaternary Sciences, 2010, 30(1): 96-106. [李忠勤, 李开明, 王林. 新疆冰川近期变化及其对水资源的影响研究[J]. 第四纪研究, 2010, 30(1): 96-106.]
- [10] Shen Yongping, Su Hongchao, Wang Guoya, et al. The response of glaciers and snow cover to climate change in Xinjiang (I): hydrological effect[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(3): 513-527. [沈永平, 苏宏超, 王国亚, 等. 新疆冰川、积雪对气候变化的响应(I): 水文效应[J]. 冰川冻土, 2013, 35(3): 513-527.]
- [11] Shen Yongping, Su Hongchao, Wang Guoya, et al. The re-

- sponse of glaciers and snow cover to climate change in Xinjiang (I): hazards effect[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(6): 1355–1370. [沈永平, 苏宏超, 王国亚, 等. 新疆冰川, 积雪对气候变化的响应(Ⅰ): 灾害效应[J]. *冰川冻土*, 2013, 35(6): 1355–1370.]
- [12] Li Kaiming, Li Xuan, Wang Cuiyun, et al. Research on the environmental effect caused by climate change in the source region of the Yellow River[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(5): 1183–1192. [李开明, 李绚, 王翠云, 等. 黄河源区气候变化的环境效应研究[J]. *冰川冻土*, 2013, 35(5): 1183–1192.]
- [13] Li Zuowei, Wu Rongjun, Ma Yuping. Impact of climate change and human activities on vegetation productivity in the Three-River Headwaters [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(3): 804–810. [李作伟, 吴荣军, 马玉平. 气候变化和人类活动对三江源地区植被生产力的影响[J]. *冰川冻土*, 2016, 38(3): 804–810.]
- [14] Yao Junqiang, Yang Qing, Mao Weiyi, et al. Evaluation of the impacts of climate change and human activities on the hydrological environment in Central Asia[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(1): 222–230. [姚俊强, 杨青, 毛炜峰, 等. 气候变化和人类活动对中亚地区水文环境的影响评估[J]. *冰川冻土*, 2016, 38(1): 222–230.]
- [15] Li Ruixue, Zhang Mingjun, Jin Shuang, et al. Regional difference and catastrophe of climate change over Ürümqi River basin [J]. *Arid Land Geography*, 2010, 33(2): 243–250. [李瑞雪, 张明军, 金爽, 等. 乌鲁木齐河流域气候变化的区域差异特征及突变分析[J]. *干旱区地理*, 2010, 33(2): 243–250.]
- [16] Zhang Yinsheng, Kang Ersi, Liu Chaohai. The climatic features of Tianshan Ürümqi River valley[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1994, 16(4): 333–341. [张寅生, 康尔泗, 刘潮海. 天山乌鲁木齐河流域山区气候特征分析[J]. *冰川冻土*, 1994, 16(4): 333–341.]
- [17] Chen Jianming, Liu Chaohai, Jin Meingxie. Application of the repeated aerial photogrammetry to monitoring glacier variation in the drainage area of the Ürümqi River[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1996, 18(4): 331–336. [陈建明, 刘潮海, 金明燮. 重复航空摄影测量方法在乌鲁木齐河流域冰川变化监测中的应用[J]. *冰川冻土*, 1996, 18(4): 331–336.]
- [18] Wang Puyu, Li Zhongqin, Li Huilin, et al. Analyses of recent observations of Ürümqi Glacier No.1, Chinese Tianshan Mountains[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75: 1–11.
- [19] Wang Puyu, Li Zhongqin, Li Huilin, et al. Comparison of glaciological and geodetic mass balance at Ürümqi Glacier No. 1, Tian Shan, Central Asia[J]. *Global and Planetary Change*, 2014, 114: 14–22.
- [20] Wu Sufen, Lui Zhihui, Han Ping, et al. Impact of climate change on water resources of the Ürümqi River basin[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, 28(5): 703–706. [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.]
- [21] Sun Meiping, Li Zhongqin, Yao Xiaojun, et al. Rapid shrinkage and hydrological response of a typical continental glacier in the arid region of northwest China: taking Ürümqi Glacier No. 1 as an example[J]. *Ecohydrology*, 2013, 6(6): 909–916.
- [22] Liu Shiyin, Wang Ninglian, Ding Yongjian, et al. On the characteristics of glacier fluctuations during the last 30 years in Ürümqi River basin and the estimation of temperature rise in the high mountain area[J]. *Advances in Earth Science*, 1999, 14(3): 279–285. [刘时银, 王宁练, 丁永建, 等. 近30年来乌鲁木齐河流域冰川波动特征与流域高山带升温幅度的估算[J]. *地球科学进展*, 1999, 14(3): 279–285.]
- [23] Han Tianding, Ye Baisheng, Ding Yongjian, et al. Increasing runoff in the Ürümqi River basin since 1980s[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27(5): 655–659. [韩添丁, 叶柏生, 丁永建, 等. 乌鲁木齐河流域径流增加的事实分析[J]. *冰川冻土*, 2005, 27(5): 655–659.]
- [24] Shi Yuguang, Sun Zhaobo. Climate characteristics of atmospheric precipitable water over Xinjiang and its variation [J]. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(3): 519–525. [史玉光, 孙照渤. 新疆大气可降水量的气候特征及其变化[J]. *中国沙漠*, 2008, 28(3): 519–525.]
- [25] Fu Baopu. The effects of topography and elevation on precipitation[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1992, 47(4): 302–314. [傅抱璞. 地形和海拔高度对降水的影响[J]. *地理学报*, 1992, 47(4): 302–314.]

## Study on vertical gradient change of air temperature and precipitation in Ürümqi River basin during 1961 - 2016

LI Kaiming<sup>1,2</sup>, ZHONG Xiaofei<sup>1</sup>, JIANG Ye<sup>1</sup>, LI Jianing<sup>1</sup>, LI Linfeng<sup>2</sup>, ZHOU Ping<sup>3</sup>

(1. Lanzhou City University, Lanzhou 730070, China; 2. Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 3. Northwest Institute of Eco-Environmental and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** There are great differences in climate change between high mountains and plains in the Ürümqi River basin of Xinjiang. Researching the vertical gradient variations of air temperature and precipitation in this regions may be useful for knowing the interaction process among various geographical factors. Based on the observation in the Ürümqi River basin, the change trend of air temperature and precipitation, the relationship between air temperature, precipitation and its inclination rates with altitude are analyzed in this paper. The results showed that the air temperature and precipitation had increased from 1961 through 2016. The inclination rates of air temperature and precipitation in Daxigou Station were  $0.189\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$  and  $28.83\text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , respectively, and those in Ürümqi Station were  $0.268\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$  and  $18.85\text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , respectively. Air temperature and precipitation have close relationship with altitude; air temperature gradually increases and precipitation decreases as elevation decreasing. The inclination rate of air temperature in high altitude is larger than that in lower elevation, while it is reverse for that of precipitation. The curve of monthly air temperature inclination rate varying with elevation shows down ~ up ~ down ~ up, with a peak during ablation period. The value of precipitation inclination rate shows slightly descending ~ dramatically ascending ~ dramatically descending ~ slightly ascending, and reaching the maximum in summer.

**Key words:** Ürümqi River basin; climate change; gradient change; air temperature; precipitation

(本文编辑: 周成林)