

doi:10.3799/dqkx.2012.S1.019

# 玉龙雪山东坡气温和降水 梯度年内变化特征

辛惠娟<sup>1,2</sup>, 何元庆<sup>1</sup>, 李宗省<sup>1,2</sup>, 王世金<sup>1,2</sup>, 杜建括<sup>3</sup>, 王春风<sup>3</sup>, 蒲 焘<sup>3</sup>, 张 蔚<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室, 玉龙雪山冰川与环境观测研究站, 甘肃兰州 730000

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

3. 兰州大学资源与环境研究院, 甘肃兰州 730000

**摘要:** 依据玉龙雪山东坡4个不同海拔高度处自动气象站观测的2008年10月至2009年9月的气温和降水资料, 系统分析了该区气温和降水梯度的年内变化特征。结果表明, 同一海拔区间温度梯度月变化存在显著差异, 海拔2400~3046 m之间温度梯度绝对值的最大值和最小值分别出现在4月(1.01 °C/100 m)和12月(0.39 °C/100 m), 两者相差0.62 °C/100 m; 海拔3046~4300 m之间温度梯度绝对值的最大最小值分别出现在4月(0.60 °C/100 m)和1月(0.32 °C/100 m), 两者相差0.28 °C/100 m; 在4300~4800 m之间, 月温度梯度绝对值最大值和最小值分别为2月(0.80 °C/100 m)和8月(0.46 °C/100 m), 两者相差0.32 °C/100 m。另外, 玉龙雪山东坡海拔2400、3046、4300和4800 m处的2009年5月到10月的降水总量依次为788.40、1884.30、735.30和1680.70 mm; 该区雨季降水量(5—10月)随海拔变化存在两个峰值带, 第一大降水带在海拔2800~3200 m左右, 养育了森林植被, 第二大降水带在海拔4800~5000 m左右, 养育了冰川。同时, 月降水梯度随海拔升高呈现出“正—负—正”的变化形式。

**关键词:** 玉龙雪山; 气温梯度; 降水梯度; 冰川; 气候变化; 环境工程。

**中图分类号:** P416.2

**文章编号:** 1000-2383(2012)S1-0188-07

**收稿日期:** 2011-07-08

## Inter-Annual Variation of Temperature and Precipitation Gradient at the Eastern Slope of Yulong Snow Mountain

XIN Hui-juan<sup>1,2</sup>, HE Yuan-qing<sup>1</sup>, LI Zong-xing<sup>1,2</sup>, WANG Shi-jin<sup>1,2</sup>, DU Jian-kuo<sup>3</sup>,  
WANG Chun-feng<sup>3</sup>, PU Tao<sup>3</sup>, ZHANG Wei<sup>1,2</sup>

1. State Key Laboratory of Cryosphere Science, Yulong Glacial and Environmental Observation Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. College of Resources and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

**Abstract:** Based on the data of temperature and rainfall recorded by automatic weather stations at different altitudes in the eastern slope of Yulong Snow Mountain from Oct. 2008 to Sep. 2009, the inter-annual variations of temperature and precipitation gradient have been systematically analyzed. The results show that the monthly variation of temperature gradient is significant. Between 2400 m to 3046 m, the maximum absolute value of the temperature gradient is 1.01 °C/100 m in April, the minimum is 0.39 °C/100 m in December, and the difference is 0.62 °C/100 m; and the maximum absolute value of the temperature gradient is 0.60 °C/100 m between 2400 m to 3046 m in April, the minimum is 0.32 °C/100 m in January, both differ by 0.28 °C/100 m; whereas the maximum absolute value of the temperature gradient is 0.80 °C/100 m in February, the minimum is 0.46 °C/100 m in August, and the difference is 0.32 °C/100 m between 3046 m to 4300 m. The precipitation at 2400, 3046,

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(No. 40971019); 国家重点基础研究发展 973 计划(No. 2007CB411501); 冰冻圈科学国家重点实验室自主项目; 中国科学院研究生科技创新与社会实践资助专项; 国家自然科学基金基础人才培养基金冰川学冻土学特殊学科点(No. J0630966); 丽江市玉龙雪山管委会资助项目; 中国科学院重要方向性项目(No. KZCXZ-YW-317); 中国科学院“西部之光”人才培养计划“西部博士资助项目”(No. O828A11001); 国家自然科学基金项目(Nos. 90511007, 40801028); 国家自然科学基金基础人才培养基金冰川学冻土学特殊学科点(No. J0630966); 中国科学院研究生科技创新与社会实践资助专项。

**作者简介:** 辛惠娟(1985—), 女, 硕士, 主要从事冰冻圈与气候变化研究。E-mail: xinhj642@163.com

4 300 and 4 800 m above sea level in the eastern slope during May-October is 788. 4, 1 884. 3, 435. 3 and 1 980. 7 mm respectively. What's more, with the rise of elevation, there are two precipitation peaks and precipitation gradient display variations from positive to negative to positive to negative. The first higher rainfall belt is between 2 800 m and 3 200 m above sea level, may supply plenty moisture to the forest area; the second largest precipitation zone is in the glacier covered area between 4 800 m and 5 000 m above sea level, providing mass accumulation for glacier formation.

**Key words:** Yulong Snow Mountain; temperature gradient; precipitation gradient; glacier; climate change; environmental engineering.

水(降水)、热(气温)及其组合是影响冰川发育的主要气候因子. 其中,降水决定冰川的积累,气温决定冰川消融;降水的多寡及其年内分配和年际变化影响冰川的补给和活动性(张学成和杨针娘,1991),气温的高低影响成冰作用和冰川融水,并和降水共同决定冰川的性质、发育和演化(黄茂桓和施雅风,1988). 定量认识冰川区气温和降水的真实变化情况,是准确探究冰川变化及其对气候变化响应机理的关键. 山岳冰川多分布在气候极其恶劣的高海拔地区,导致气象观测仪器的安置及持续观测难以开展,因此,已有研究使用气温及降水梯度对冰川区的气温和降水进行插值推算,其中,气温和降水梯度多为固定值或经验值(谢自楚,1980;曾群柱和谢应钦,1986;刘潮海和谢自楚,1987;白重瑗,1989). 但不同海拔高度的地表状况等环境要素存在很大的差异性,很可能使气温及降水梯度发生显著的时空变化;因此极有必要研究气温降水梯度的年内分布情况,证实其是否存在显著的时空差异,以便更准确的使用梯度开展冰川区气温降水变化研究. 海拔高度是山岳冰川发育最基本的地形条件之一(施雅风,2000),结合了山岳冰川区特有的气候垂直地带分布特征(冰川—裸石—植被),因此了解冰川区气温降水梯度时空分布特征,将有助于探究山岳冰川区特有的气候垂直地带分布特征.

中国科学院冰冻圈科学国家重点实验室在我国天山托木尔峰科奇卡尔巴西冰川、玉龙雪山白水1号冰川、祁连山老虎沟12号冰川等不同类型的冰川区架设了数台自动气象站,部分冰川区建成了梯度气象观测网,并获取了一系列高精度的气象观测资料. 近几年来,对这些气象资料开展的研究主要集中于点或面上的冰川表面微气象要素变化特征分析(张勇等,2004;韩海东等,2008;蒋熹等,2008;孙维君等,2010),缺乏从时空角度对气温及降水在冰川区的垂直分布特征开展研究. 本文选择我国典型季风海洋型冰川区——玉龙雪山为研究对象,对其东坡的气温降水梯度进行统计分析,以求对冰川区气

温降水梯度的年内变化及垂直分布特征进行研究,为相对准确的开展冰川区气温降水插值奠定基础.

## 1 研究区域概况

玉龙雪山( $27^{\circ} 10' \sim 27^{\circ} 40' N$ 、 $100^{\circ} 09' \sim 100^{\circ} 20' E$ ),位于青藏高原东南缘和横断山南端,滇西北丽江市以北25 km处,主峰扇子陡海拔5 596 m,是中国最南的一座雪山,也是欧亚大陆距赤道最近的海洋型冰川区(图1). 雪山南北长35 km,东西宽13 km,分布有19条冰川,总面积11.61 km<sup>2</sup>(李吉均和苏珍,1996). 玉龙雪山分布的冰川具有积累量大、消融量大、冰川温度高、底部滑动明显、运动较快和对气候变化反应十分敏感的特点(何元庆等,2000),气温的小幅度升降即可引起冰川大幅度的后退或前进(施雅风等,1988),是气候变化的敏感指示器. 该区最大的冰川是位于东坡的白水1号冰川,长2.70 km,面积1.52 km<sup>2</sup>,积累区广阔平坦、面积约为1 km<sup>2</sup>,2008年冰舌末端海拔4 300 m,大量研究证实气候变暖已对该冰川产生了重要影响(张宁宁等2007;李宗省等,2008,2009,2010;宋波,2008; Li *et al.*, 2010a, 2010b; He *et al.*, 2010a, 2010b). 该区属典型季风气候区,冬季降水稀少,夏季降水充沛;5—10月降水量几乎达到年降水总量的90%(李吉均和苏珍,1996).

## 2 资料与方法

中国科学院玉龙雪山冰川与环境观测研究站自2006年成立以来,陆续在玉龙雪山东坡架设了3套自动气象站(TRM-ZS2),结合丽江市气象局的气象站,现已在玉龙雪山东坡建成了分布于海拔2 400、3 046、4 300和4 800 m的梯度气象观测网. 本文选取2008年10月—2009年9月玉龙雪山东坡4个不同海拔高度处架设的自动气象站记录的气温和降水数据,对高海拔山岳冰川区气温降水梯度

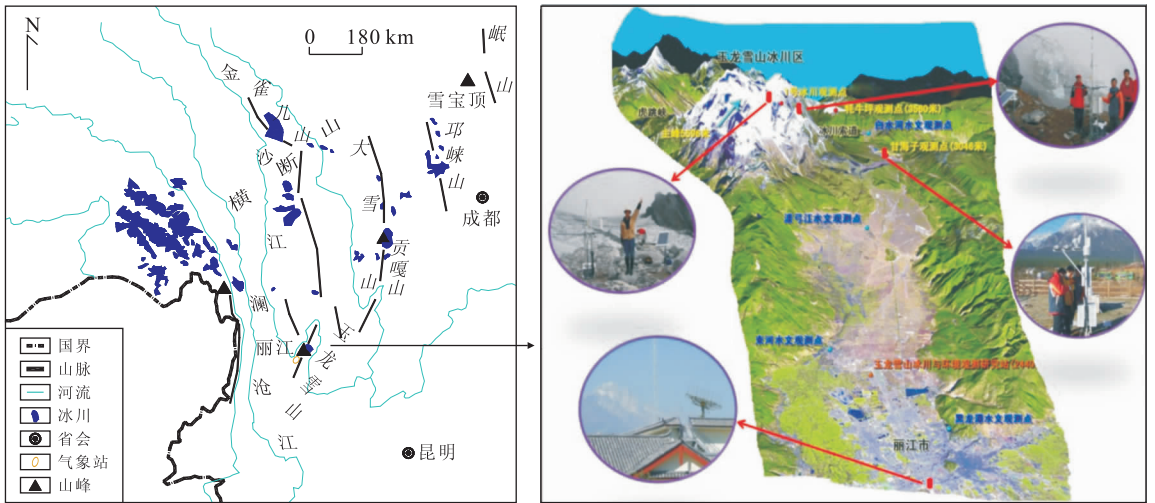


图 1 玉龙雪山地理位置及其东坡梯度自动气象站分布

Fig. 1 Location of the Yulong Snow Mountain and the automatic weather stations at different altitudes at the east slope of Yulong Snow Mountain

表 1 不同海拔高度间月平均温度 Pearson 相关系数

Table 1 Pearson correlation coefficient of monthly mean temperature at different altitudes

高度间距(m)	2 400~3 046	3 046~4 300	4 300~4 800
Pearson 相关系数	0.96	0.98	0.99

的年内变化及垂直分布特征进行分析. 4 个自动气象站的分布情况如图 1 所示, 其中, 丽江市气象站位于丽江市城郊, 该数据源自中国气象数据共享服务网; 甘海子气象站海拔 3 046 m 位于森林植被覆盖区; 4 300 m 气象站位于白水 1 号冰川末端; 4 800 m 处架设的气象站位于白水 1 号冰川物质平衡线附近(物质平衡线数据依据中国冰川编目).

为了对比分析玉龙雪山东坡气温降水梯度的年内变化特征, 本研究选择了观测数据相对完整的 2008 年 10 月—2009 年 9 月作为研究时段, 主要开展了以下研究. 2008 年 10 月—2009 年 9 月不同海拔高度间月平均温度表现显著相关(表 1), 表明气温随海拔高度的变化为线性规律; 并据此定量分析了 1—12 月玉龙雪山东坡气温梯度随海拔高度的空间变化. 另外, 由于高海拔、低温、山谷地形等条件限制, 架设在玉龙雪山东坡冰川区的自动气象站的雨量传感器只准确记录了该区 2009 年 5—10 月的液态降水量, 所以本文只选取自动气象站 5—10 月的降水资料对该区降水梯度的空间分布特征进行分析, 并探究了山区降水量随海拔高度的变化特征.

### 3 结果与分析

#### 3.1 气温梯度

如表 2 所示, 不同海拔高度、不同月份的温度梯度变化差异显著: 在 2 400~3 046 m 之间温度梯度绝对值最大值出现在 4 月, 为 1.01 °C/100 m, 最小值出现在 12 月, 为 0.39 °C/100 m, 最大值与最小值之差达 0.62 °C/100 m, 该区间年内温度梯度均值为 -0.77 °C/100 m; 在 3 046~4 300 m 之间温度梯度绝对值的最大最小值分别出现在 4 月和 1 月, 其值分别为 0.60 °C/100 m 和 0.32 °C/100 m, 最大值最小值之差为 0.28 °C/100 m, 该区间年内温度梯度均值为 -0.51 °C/100 m; 在 4 300~4 800 m 之间, 2 月温度梯度绝对值最大, 为 0.80 °C/100 m, 8 月温度梯度绝对值最小, 为 0.46 °C/100 m, 二者相差 0.32 °C/100 m, 该区间年内温度梯度均值为 0.64 °C/100 m; 4 个不同海拔高度间月平均温度梯度最大和最小绝对值分别为 0.77 °C/100 m 和 0.51 °C/100 m, 两者相差 0.26 °C/100 m, 年内温度梯度均值为 -0.64 °C/100 m.

2008 年 10 月—2009 年 9 月玉龙雪山东坡不同海拔高度间逐月温度梯度变化如图 2. 其中 2 400~3 046 m 代表人类活动区至森林植被覆盖区, 各月温度梯度变化幅度较大, 1—12 月气温梯度呈现线性递增的趋势; 3 046~4 300 m 为森林植被区至冰舌末端, 全年各月温度梯度差别不大, 雨季(5—10 月)变化幅度较干季(11 月—次年 4 月)平缓得多; 在雨季 5—10 月, 4 300~4 800 m 的月温度梯度

表2 玉龙雪山东坡不同海拔高度气温梯度分布( $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ )

Table 2 Temperature gradient at the east slope of Yulong Snow Mountain

时间(月)	高度间距(m)			月平均值
	2 400~3 046	3 046~4 300	4 300~4 800	
1	-0.98	-0.32	-0.78	-0.69
2	-0.84	-0.54	-0.80	-0.73
3	-0.96	-0.59	-0.76	-0.77
4	-1.01	-0.60	-0.66	-0.76
5	-0.98	-0.54	-0.67	-0.73
6	-0.77	-0.56	-0.54	-0.62
7	-0.76	-0.53	-0.48	-0.59
8	-0.66	-0.53	-0.46	-0.55
9	-0.71	-0.54	-0.48	-0.58
10	-0.79	-0.43	-0.60	-0.60
11	-0.42	-0.50	-0.79	-0.57
12	-0.39	-0.44	-0.71	-0.51
年平均值	-0.77	-0.51	-0.64	-0.64

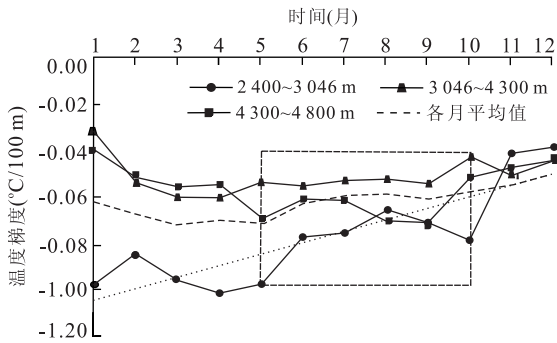


图2 不同海拔高度间温度梯度逐月变化趋势

Fig. 2 Trends of monthly temperature gradient at different altitudes

变化与同期 3 046~4 300 m 呈现相反趋势,与同期 2 400~3 046 m 呈现相同趋势(图 2,虚线框内),而在干季 11 月一次年 4 月,4 300~4 800 m 的月温度梯度变化与同期 3 046~4 300 m 呈现相同变化趋势,与 2 400~3 046 m 呈现相反变化趋势,干季雨季截然相反. 4 个不同海拔高度间的月平均温度梯度变化情况与 3 046~4 300 m 之间的温度梯度年内变化趋势基本一致,但各月温度梯度均较该区间的温度梯度小于  $0.10\sim 0.20\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ,雨季 5—10 月的温度梯度值更接近于 3 046~4 300 m 之间的温度梯度值.

不同海拔高度间不同季节温度梯度分布不均匀,在不同季节内分别呈现相反或相同的变化趋势.如在雨季(5—10 月)与干季(11 月一次年 4 月)4 300~4 800 m 之间月温度梯度变化趋势与 2 400~3 046 m 和 3 046~4 300 m 的相反或相同(相同或相反),呈现出夹杂着海拔空间和季节变化的复杂匹配

形式,这可能是地形、下垫面特征等因素影响所致.因为不同季节、不同海拔高度的地表状况分布不均匀(如不同海拔高度下垫面状况不一致,表现为从植被到冰川;同一海拔高度地表状况随季节的变化,表现为植被覆盖度及积雪面积随季节变化),也可能是降水量的季节变化及其在不同海拔高度分布差异产生的(5—10 月季风降水占据全年的 90%,不同海拔高度降水量差异显著).

### 3.2 降水梯度

由于条件限制,玉龙雪山东坡架设的高山区自动气象站的雨量传感器无法准确记录该区冰川上的固体降水量,且根据实地观测发现白水 1 号冰川区 5—10 月降水的形式为降雨;另外,玉龙雪山地处典型的西南季风区,受季风环流影响,每年 5—10 月的雨季降水量几乎占全年降水量的 90%(李吉均和苏珍,1996),所以分析 5—10 月的降水量及降水梯度随海拔高度的空间变化特征同样具有重要意义.

2009 年 5—10 月玉龙雪山东坡海拔 2 400、3 046、4 300 和 4 800 m 处的雨季降水总量依次为 788.40、1 884.30、735.30 和 1 680.70 mm,表现出随海拔高度发生了明显变化.如图 3a 黑色曲线箭头所示,玉龙雪山东坡不同海拔处 5—10 月各月降水量随海拔的升高均呈现“增加—减少—增加”的过程;同一海拔高度在 5—10 月各月降水量也有差异,大降水量主要集中在 6、7、8 月,而 5 月和 10 月降水量相对偏少,且呈现抛物线型降水(图 3a,黑色虚线).不同海拔高度间月降水梯度变化如图 3b 所示,5—10 月海拔 2 400~3 046 m 间月降水梯度均为正,海拔 3 046~4 300 m 间月降水梯度均为负,海拔

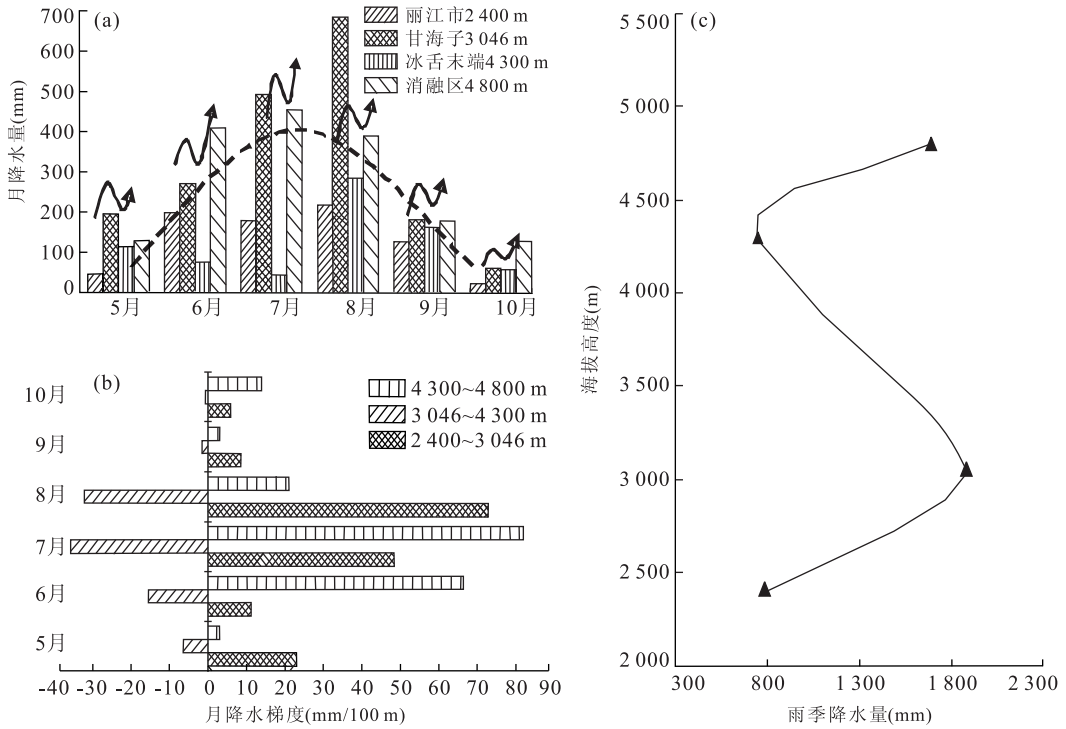


图 3 2009 年 5—10 月玉龙雪山东坡不同海拔高度月降水量分布(a)、不同海拔高度间月降水梯度分布(b)和总降水量随海拔高度的变化(c)

Fig. 3 Monthly precipitation (a), monthly precipitation gradient (b) and distribution of the total precipitation with the altitude (c) from May to Oct, 2009 at the east slope of Yulong Snow Mountain

4 300~4 800 m 间月降水梯度又转为正,降水梯度随海拔高度的增加经历了“正—负—正”的交替变化,证明了山区降水量随海拔高度升高而发生了显著变化. 根据自动气象站实测数据插值计算可知,玉龙雪山东坡 5—10 月总降水量随海拔高度变化存在两个峰值,第一峰值带在海拔 2 800~3 200 m 左右,对应着该区的森林植被带;第二大峰值带在海拔 4 800~5 000 m 左右,与该区间发育的冰川相对应(图 3c). 上述实测数据结果与李吉均和苏珍(1996)对我国西部冰川区降水梯度的观测研究结果一致. 一般而言,山地降水量是随海拔升高而不断增加,到一定高度后又减少,然后从非冰川区过渡到冰川区降水量又有所增加. 横断山降水梯度的变化,特别是极高山区也存在上述降水变化趋势,存在着两个最大降水带;但由于山地所处地理位置、走向、地形等因素的影响,各山地的最大降水带高度不一致. 如贡嘎山东坡海拔 1 600~3 800 m 高度为第一大降水带,5 500 m 左右为第二大降水带(杨梅学等,2000). 实测资料显示,玉龙雪山东坡的第一大降水带在 2 800~3 200 m,第二大降水带在 4 800~5 000 m.

2009 年玉龙雪山东坡不同海拔高度间 5—

表 3 不同海拔高度间月降水梯度 (mm/100 m)

Table 3 Monthly precipitation gradient at different altitudes

时间(月)	高度间距(m)		
	2 400~3 046	3 046~4 300	4 300~4 800
5	22.96	-6.40	2.96
6	11.19	-15.50	66.40
7	48.31	-35.70	81.92
8	72.80	-32.20	20.94
9	8.52	-1.50	2.98
10	5.78	-0.30	13.88

10 月月降水梯度如表 3 所示,各月降水梯度值差异较大:海拔 2 400~3 046 m 和 3 046~4 300 m 之间月降水梯度在 7、8 月达到最大值,而 4 300~4 800 m 之间月降水梯度是在 6、7 月达到峰值. 这种差异可能是由于不同海拔高度地表介质性质之间的差异造成的,也可能是由于地形差异导致水汽运移过程改变引起的,其具体机制仍有待于进一步研究. 相同海拔高度间月降水梯度分布形式与各月降水量的分布形式基本一致,均在 6、7、8 月达到峰值,表明月降水梯度分布形式主要是受各月降水量变化的影响.

## 4 小结与讨论

(1)玉龙雪山东坡不同海拔高度间气温梯度时空分布不均匀,人类活动区、森林植被带和冰川消融区的各月温度梯度变化特征存在显著差异,同一海拔高度间各月温度梯度差值最大可达  $0.62\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (玉龙雪山东坡海拔  $2\ 400\sim 3\ 046\text{ m}$  之间,4月与12月温度梯度的差值);年温度梯度不同海拔高度间也存在明显差异,如在玉龙雪山东坡  $2\ 400\sim 3\ 046\text{ m}$ ,  $3\ 046\sim 4\ 300\text{ m}$ ,  $4\ 300\sim 4\ 800\text{ m}$  的年温度梯度分别为  $-0.77$ 、 $-0.51$  和  $-0.64\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。所以运用气温梯度对高海拔地区进行温度空间插值时,非常有必要考虑不同月份、不同海拔高度间温度梯度的变化情况。

(2)根据自动气象站的实测降水资料,证实玉龙雪山东坡降水量随海拔高度的变化存在两个峰值带。第一个峰值带在海拔  $2\ 800\sim 3\ 200\text{ m}$ ,养育了该区的森林植被带,第二大峰值带在海拔  $4\ 800\sim 5\ 000\text{ m}$ ,发育并维持着玉龙雪山地区的现代冰川。长时间的实测资料验证了我国西部山区降水量随海拔高度的双峰带变化特征。

(3)2009年5—10月玉龙雪山东坡由海拔  $2\ 400$ 、 $3\ 046$ 、 $4\ 300$  和  $4\ 800\text{ m}$  降水量依次经历“增加—减少—增加”的过程,分别在  $3\ 046$  和  $4\ 800\text{ m}$  处降水量达到大值,降水多则气温低,所以相应的5—10月内  $4\ 300\sim 4\ 800\text{ m}$  的月气温梯度变化与  $2\ 400\sim 3\ 046\text{ m}$  的变化趋势一致,与  $3\ 046\sim 4\ 300\text{ m}$  的变化趋势相反(图2,虚线框内);但转到干季后(11月—次年4月)  $4\ 300\sim 4\ 800\text{ m}$  的月温度梯度变化又与  $3\ 046\sim 4\ 300\text{ m}$  一致,与  $2\ 400\sim 3\ 046\text{ m}$  相反。可见玉龙雪山东坡雨季(5—10月)降水量随海拔高度的分布特征是影响该区雨季月气温梯度空间变化的主导因素;而干季由于降水量的急剧减少(干季降水量只占全年降水量的10%左右),控制月气温梯度变化的主导因素不再是降水,而转为其他影响因素,如下垫面特征变化等,因此出现了干季和雨季截然不同的变化特征。

## References

Bai, Z. Y., 1989. A study of relationship between climate and mountain glaciers. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 11(4): 287—297 (in Chinese with English abstract).

Han, H. D., Liu, S. Y., Ding, Y. J., et al., 2008. Near-surface

meteorological characteristics on the Koxkar Baxi glacier, Tianshan. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 30(6): 967—975 (in Chinese with English abstract).

He, X. Z., Du, J. K., Ji, Y. P., et al., 2010a. Characteristics of DDF at Baishui glacier No. 1 region in Yulong Snow Mountain. *Journal of Earth Sciences*, 22(2): 148—156. doi:10.1007/s12583-010-0013-4

He, Y. Q., Pu, T., Li, Z. X., et al., 2010b. Climate change and its effect on annual runoff in Lijiang basin-Mt. Yulong region, China. *Journal of Earth Sciences*, 22(2): 137—147. doi:10.1007/s12583-010-0012-5

He, Y. Q., Yao, T. D., Yang, M. X., 2000. Spatial features of glacial hydro-chemistry and recent variations of a Chinese temperate glacier in Mt. Yulong. *Journal of Mountain Science*, 18(6): 481—488 (in Chinese with English abstract).

Huang, M. H., She, Y. F., 1988. Progress in the study on basic features of glaciers in China in the last thirty years. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 10(3): 228—237 (in Chinese with English abstract).

Jiang, X., Wang, N. L., Pu, J. C., et al., 2008. The albedo on the Qiyi glacier in Qilian Mountains during the ablation period. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 30(5): 752—760 (in Chinese with English abstract).

Li, J. J., Su, Z., 1996. *Glaciers of Mt. Hengduan*. Science Press, Beijing (in Chinese).

Li, Z. X., He, Y. Q., Wen, Y. H., et al., 2010. Response of runoff in high altitude area over the typical Chinese monsoonal temperate glacial region to climate warming. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(1): 43—50 (in Chinese with English abstract).

Li, Z. X., He, Y. Q., Pu, T., et al., 2010a. Changes of climate, glaciers and runoff in China's monsoonal temperate glacier region during the last several decades. *Quaternary International*, 218(1—2): 13—18. doi:10.1016/j.quaint.2009.05.010

Li, Z. X., He, Y. Q., Wang, S. J., et al., 2009. Changes of some monsoonal temperate glaciers in Hengduan Mountains region during 1900—2007. *Acta Geographica Sinica*, 64(11): 1319—1330 (in Chinese with English abstract).

Li, Z. X., He, Y. Q., Wilfred, H. T., et al., 2010b. Characteristics and environmental significance of pH and EC in summer rainfall and shallow firn profile at Yulong Snow Mountain, Lijiang City, China. *Journal of Earth Sciences*, 22(2): 157—165. doi:10.1007/s12583-010-0014-3

Li, Z. X., He, Y. Q., Jia, W. X., et al., 2008. Response of

- “glaciers-runoff” system in a typical temperate-glacier, Hailuoguo glacier in Gongga Mountain of China to global change. *Scientia Geographica Sinica*, 28(2): 229—234 (in Chinese with English abstract).
- Liu, C. H., Xie, Z. C., 1987. A primary study of the relationship between glacial mass balance and climate in the “July First” glacier. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 9(4): 301—310 (in Chinese with English abstract).
- Shi, Y. F., 2000. Glaciers and their environments in China—the present, past and future. Science Press, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Shi, Y. F., Huang, M. H., Ren, B. H., 1988. An introduction to Chinese glaciers. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Song, B., 2008. Application study in China’s monsoonal temperate glacier region based on GIS and remote sensing (Dissertation). Cold and Arid Region Environment and Engineering Research Institution, Lanzhou (in Chinese).
- Sun, W. J., Qin, X., Hua, X. P., et al., 2010. Variations of the meteorological elements at the Lanong glacier in the Nyainqentanglha range. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 32(1): 62—69 (in Chinese with English abstract).
- Xie, Z. C., 1980. Mass balance of glaciers and its relationship with characteristics of glaciers. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2(4): 1—10 (in Chinese with English abstract).
- Yang, M. X., Yao, T. D., Ken’ichi, UENO, 2000. Analysis of some features of precipitation in July and August of 1998 in Northern Qinghai-Tibet plateau. *Resources Science*, 22(6): 43—45 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, Q. Z., Xie, Y. Q., 1986. A study on land evaporability and dry-wet state of Qinghai-Xizang plateau. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 8(2): 131—142 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y., Liu, S. Y., Han, H. D., et al., 2004. Characteristics of climate on the Keqicar glacier on the south slopes of the Tianshan Mountains during ablation period. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 26(5): 245—255 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, N. N., He, Y. Q., Pang, H. X., et al., 2007. The analysis of icefall at Mt. Yulong. *Journal of Mountain Science*, 25(4): 412—418 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. C., Yang, Z. N., 1991. The primary analysis of water-balance in Binggou basin of Qilian Mountains. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 13(1): 35—42 (in Chinese with English abstract).
- Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 白重瑗, 1989. 冰川与气候关系的研究. 冰川冻土, 11(4): 287—297.
- 韩海东, 刘时银, 丁永健, 等, 2008. 科其喀尔巴西冰川的近地层基本气象特征. 冰川冻土, 30(6): 967—975.
- 何元庆, 姚檀栋, 杨梅学, 2000. 中国典型山地温冰川水化学空间分布特征与近期冰川动态. 山地学报, 18(6): 481—488.
- 黄茂桓, 施雅风, 1988. 三十年来我国冰川基本性质研究的进展. 冰川冻土, 10(3): 228—237.
- 蒋熹, 王宁练, 蒲健辰, 等, 2008. 夏季消融期祁连山“七一”冰川反照率初步研究. 冰川冻土, 30(5): 752—760.
- 李吉均, 苏珍, 1996. 横断山冰川. 北京: 科学出版社.
- 李宗省, 何元庆, 贾文雄, 等, 2008. 中国典型季风海洋性冰川区“冰川—径流”系统的全球变化敏感性研究. 地理科学, 28(2): 229—234.
- 李宗省, 何元庆, 王世金, 等, 2009. 1900—2007 年横断山区部分海洋型冰川变化. 地理学报, 64(11): 1319—1330.
- 李宗省, 何元庆, 温煜华, 等, 2010. 我国典型海洋型冰川区高海拔区输出水量变化对气候变暖的响应. 地球科学——中国地质大学学报, 35(1): 43—50.
- 刘潮海, 谢自楚, 1987. “七一”冰川物质平衡变化与气候相互关系的初步研究. 冰川冻土, 9(4): 301—310.
- 施雅风, 黄茂桓, 任炳辉, 1988. 中国冰川概论. 北京: 科学出版社.
- 施雅风, 2000. 中国冰川与环境——现在、过去和未来. 北京: 科学出版社.
- 宋波, 2008. GIS 和遥感在我国海洋型冰川区的应用研究(博士学位论文). 中国科学院研究生院, 北京.
- 孙维君, 秦翔, 化希平, 等, 2010. 念青唐古拉山拉弄冰川气象要素变化特征. 冰川冻土, 32(1): 62—69.
- 谢自楚, 1980. 冰川物质平衡及其与冰川特征的关系. 冰川冻土, 2(4): 1—10.
- 杨梅学, 姚檀栋, Ken’ichi UENO, 2000. 1998 年夏季(7, 8 月)藏北降水的某些特征分析. 资源科学, 22(6): 43—45.
- 曾群柱, 谢应钦, 1986. 青藏高原陆面可能蒸发量和干湿状况的研究. 冰川冻土, 8(2): 131—142.
- 张宁宁, 何元庆, 庞洪喜, 等, 2007. 玉龙雪山冰川崩塌的分析. 山地学报, 25(4): 412—418.
- 张学成, 杨针娘, 1991. 祁连山冰沟流域水量平衡初析. 冰川冻土, 13(1): 35—42.
- 张勇, 刘时银, 韩海东, 等, 2004. 天山南坡科其卡尔巴契冰川消融期气候特征分析. 冰川冻土, 26(5): 545—550.