

念青唐古拉山南坡气温分布及其垂直梯度

谢 健^{1,2}, 刘景时¹, 杜明远³, 王忠彦^{1,2}

(1 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085; 2 中国科学院研究生院,
北京 100080; 3 日本农业环境技术研究所, 日本 筑波 3050053)

摘要: 利用架设在念青唐古拉山南坡 9 个海拔高度 (4 300~ 5 500 m) 的自动气象站 1 a (2006 年 8 月 1 日至 2007 年 7 月 31 日) 的实测数据, 对山坡 1.5 m 高度的近地面气温随海拔梯度和时间的分布进行了分析。表明念青南坡 4 300~ 4 950 m 冷季 (10~ 4 月) 存在逆温。利用高山各观测高度的温度与当雄气象站气温具有良好相关, 推算出多年平均情况下念青唐古拉山南坡各观测高度的年平均气温和各月平均气温。并由此推测念青唐古拉山南坡海拔 5 100 m 以上存在高山多年冻土, 此多年冻土下界高度比《中国冻土》指出的高度高约 200 m。

关 键 词: 青藏高原; 念青唐古拉; 气温分布; 山地气候; 气温直减率; 垂直梯度

中图分类号: P461⁺ 3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2010)01-0113-06

气温作为气候、冰雪水文、生态等环境过程模拟的重要输入参数, 是一个地区的重要基础资料。青藏高原是世界上海拔最高 (平均海拔 4 000 m 以上) 的高原, 其气候和生态环境不仅影响中国乃至亚洲, 对全球环境亦构成不容忽视的影响^[1~7]。中国气象部门在青藏高原的定点气象观测最早多始于 20 世纪 50 年代末或 60 年代初, 1979 和 1998 年的两次青藏高原气象科学实验 (先后分别为 QX-PMEX 和 TIPEX-GAME/Tibet), 青藏高原冰冻圈研究项目 (CREQ, 1989~1993 年) 全球能量水分循环亚洲季风之青藏高原试验 (GEWEX-GAME/Tibet, 1996~2000 年), 以及全球协调加强观测计划之亚澳季风青藏高原试验 (CEOP-CAMP/Tibet, 2001~2005 年) 先后在高原南部的拉萨, 西部的仲巴、改则、狮泉河, 北部的双湖、安多、唐古拉山等地区进行了比较系统的气象学观测。基于这些宝贵资料的积累, 很多围绕青藏高原气温的研究成果^[8~26]发表。

然而, 现有的气象观测大多限于海拔相对较低 (4 800 m 以下)、交通或人力容易到达的地区, 少数出于冰川研究的气象观测^[27,28]尽管海拔较高, 但通常观测期又较短 (通常只观测夏季消融期)。对于沿海拔梯度布设气象站点进行长期观测更是十分少见。本文利用在念青唐古拉山南坡沿不同

高度架设的 9 台自动气象站数据, 对该区高山气温观测结果作初步报道。区内有西藏最大的草场当雄草场, 因此气温连同降水作为水热资源对当地草场生态系统的维持和牧业的发展具有重要意义。

1 场地概况与数据

念青唐古拉山脉位于青藏高原南部, 平均海拔 5 000 m 以上, 是高原亚寒带与温带的分界线^[29], 冰川发育高度平均变化在海拔 5 054~5 695 m^[30]。据周幼吾等人划分, 念青唐古拉山属于藏北高原南部高寒带大片-岛状多年冻土区, 冻土下界基本与年平均气温 -2.0~-2.5℃等值线相吻合, 岛状多年冻土下界高度约为 4 830~4 980 m^[31]。

观测场地位于念青唐古拉山脉西段南坡 (91°02'~90°03'E, 30°28'~30°32'N), 属拉萨市当雄县辖区。位于 4 300 m 山谷的基准站采用美国 Campbell 公司 (Campbell Scientific Inc.) 的自动气象观测系统, 另外在 4 300~5 500 m 的 9 个高度均架设 Onset 公司 (Onset Computer Corporation) 的 Hobo 气象站 (Hobo weather station)。本文所用数据为 9 个高度的气温和当雄气象站 (1963~2006 年) 44 a 的气温, 气温测读的精度是 0.2℃。文中涉及的时间统一为北京时间。

收稿日期: 2009-03-16 修订日期: 2009-07-11
基金项目: 国家重点基础研究发展计划“青藏高原冰冻圈变化与能量水分循环过程”(2005CB422003)、国家自然科学基金(40561002)、日本环境省项目“利用青藏高原实施温暖化的早期发现和早期预测”、中国科学院“百人计划”项目资助。
作者简介: 谢 健 (1978-), 男, 江西宜春人, 博士研究生, 从事寒区气象水文与冻土方面的研究。E-mail: jianxi@itpcas.ac.cn

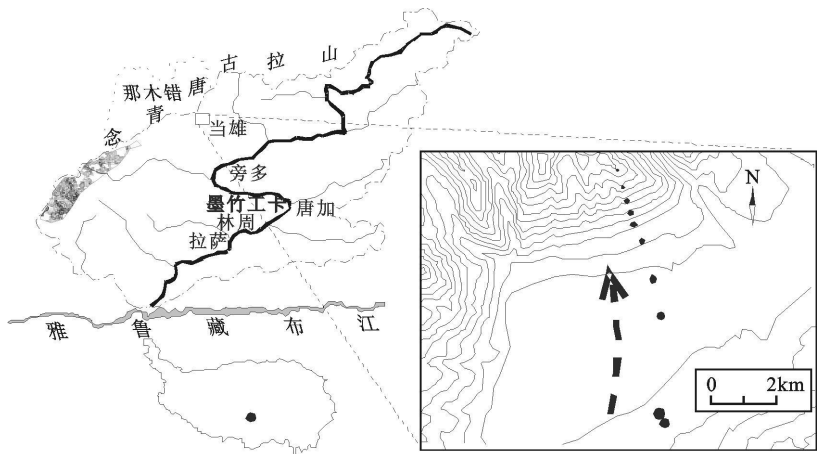


图 1 观测场地位置与站点分布

Fig 1 Site location(upper left panel) and topography (square panel) at the southern slope of the Nyaingqentanglha Mountains

2 气 温

2 1 气温分布

表 1可见山坡气温随海拔增高而降低 (4 300 m 位于山下谷地, 受局地影响气温较山上低) 的趋势。但从气温季节变化看, 10~ 4月 4 300~ 4 950 m 存在一个逆温层。且逆温高度自 10月的 4 400 m 开始上升, 至 12月到达 4 950m 附近, 此后逆温层开始下移, 于翌年 4月退至坡底 (表 1中黑体所示, 考虑气温观测的精度为 0.2℃, 逆温层的界定以温差大于 0.4℃计)。年平均气温最高值位于山坡底部的海拔 4 400m 处, 为 3.2℃; 4 950m 以上, 年平均气温已低于 0℃; 至接近山顶 (5 500 m) 气温最低, 为 - 4.1℃。2月份为各研究高度最冷月, 最冷月山麓 (4 400 m) 和山顶 (5 500 m) 气温分别

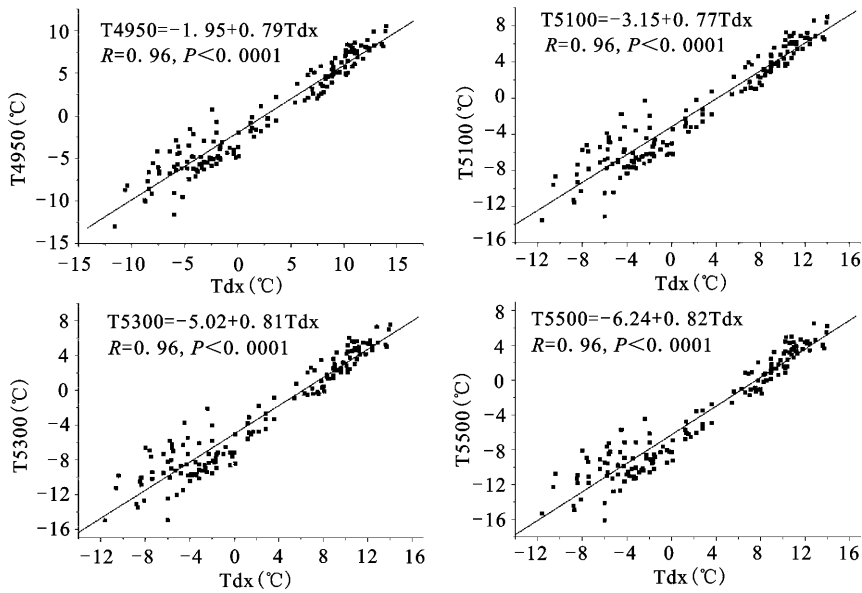
为 - 6.0℃和 - 13.2℃; 最热月除 4 300 m 山谷为 7 月份外, 山坡上均为 8月份。最热月山麓 (4 400 m) 和山顶 (5 500 m) 气温分别为 11.0℃和 3.3℃。

由表 1可知, 2006年 5 100m 高度年平均气温低于 - 1.3℃。附近 10 km 当雄气象站 (4 250 m) 2006年年气温为 3.1℃, 是 1963年以来观测的最高值, 较 (1963~ 2005年) 多年平均气温 1.6℃高 1.5℃, 而高山各观测日温度与当雄站气温有很好的相关 (图 2 $R=0.96$ $P=0.01$), 由此估计 5 100 m 高度以上多年平均气温低于 - 2.8℃, 结合周幼吾等^[27]认为高原上粘性土发育冻土的温度是年平均气温 $\leq - 2.6\sim - 2.8^{\circ}\text{C}$, 因此 5 100 m 以上存在高山多年冻土, 此高度可认为是念青唐古拉山南坡多年冻土的下界高度, 比周幼吾等^[27]推算的高度高 200 m 左右。

表 1 各观测高度地面 1.5 m 处月、年平均气温 (℃)

Table 1 Mean monthly and annual air temperature (℃) at various sites from 1 August 2006 to 31 July 2007

海拔 (m)	4300	4400	4500	4650	4800	4950	5100	5300	5500
8月	10.7	11.0	10.1	9.1	8.2	7.1	5.8	4.3	3.3
9月	8.2	8.5	7.6	6.7	5.7	4.8	3.5	2.1	0.9
10月	1.0	1.7	0.7	0.1	- 0.8	- 1.5	- 2.9	- 4.7	- 5.9
11月	- 3.5	- 2.5	- 3.4	- 3.9	- 4.7	- 5.3	- 6.5	- 8.9	- 9.9
12月	- 6.2	- 4.2	- 4.8	- 4.8	- 5.3	- 5.7	- 6.7	- 8.5	- 10.1
1月	- 5.6	- 3.6	- 4.3	- 4.6	- 5.2	- 5.7	- 7.0	- 8.7	- 10.0
2月	- 7.1	- 6.0	- 7.0	- 7.6	- 8.4	- 9.0	- 10.4	- 12.2	- 13.2
3月	- 1.1	- 0.1	- 1.0	- 1.5	- 2.4	- 3.2	- 4.6	- 6.3	- 7.5
4月	2.5	3.0	2.2	1.4	0.5	- 0.4	- 1.8	- 3.5	- 4.6
5月	8.4	8.8	8.0	7.0	6.0	4.9	3.4	1.8	0.8
6月	10.3	10.3	9.5	8.4	7.2	6.2	4.8	3.2	2.3
7月	11.0	10.8	10.0	8.8	7.7	6.7	5.3	3.9	2.9
年均	2.5	3.2	2.4	1.7	0.8	0.0	- 1.3	- 3.0	- 4.1



T_{4950} 、 T_{5100} 、 T_{5300} 、 T_{5500} 和 T_{dx} 分别是海拔4950、5100、5300、5500 m和当雄气象站的气温

图 2 各观测高度气温与当雄气象站(4200 m)气温相关关系

Fig 2 Correlation between observational alpine air temperature and air temperature from Damxung Weather Station

2.2 逆温频率

按气温差大于 0.4℃界定逆温的存在,以逆温出现天数占某一时段总天数的百分比率计算逆温频率,4300~4400 m年逆温频率高达 53.4% (195 d)。11~1月逆温频率高达 84.8%,7月份不存在逆温现象;4300~4500 m除 6~9月无逆温外,其余月份都存在逆温。逆温高频主要发生在 12~3月(逆温频率 63.6%),年逆温频率为 27.9% (102 d);4300~4800 m逆温高频发生在 12~1月(逆温频率 54.8%),4~10月无逆温,年逆温频率为 15.6% (57 d);而 4300~4950 m逆温高频发生在 12~1月(逆温频率 51.7%),年逆温频率 11.5% (42 d);4950 m以上全年无逆温(图 3)。

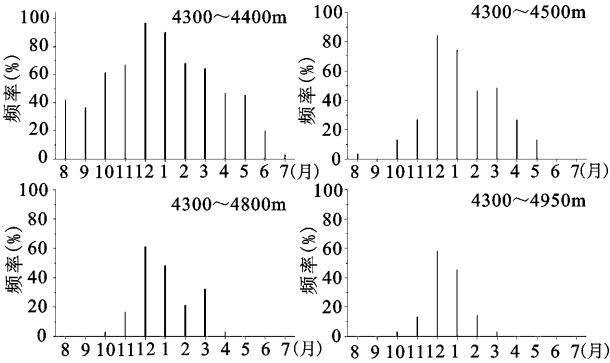


图 3 不同高度段空气逆温频率的季节变化

Fig 3 Seasonality of inversion frequency for various elevation intervals

3 多年平均气温

利用当雄气象站 2006年年均气温比 1963~2005年多年平均气温高 1.5℃这一关系,推测念青唐古拉山南坡 4300、4400、4500、4650、4800、4950、5100、5300和 5500 m的多年平均气温分别为 1.0、1.7、0.9、0.2、-0.7、-1.5、-2.8、-4.5和 -5.6℃。

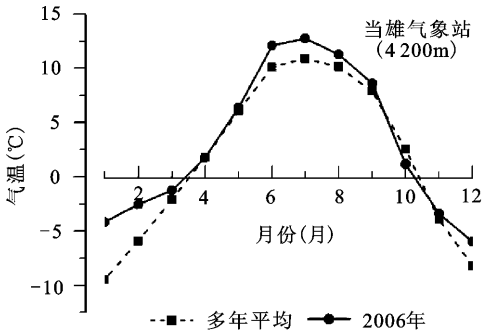


图 4 当雄气象站 2006年各月气温(T_p)与多年(1963~2005年)平均水平(T_m)对比

Fig 4 Mean monthly air temperatures at Damxung Weather Station in 2006 (T_p) compared to the mean perennial values (T_m)

图 4进一步对当雄气象站 2006年各月气温与多年平均水平进行对比。利用 2006年各月气温相对多年平均的偏差值,推算出多年平均水平下念青唐古拉山南坡各观测高度的月平均气温(表 2)。

表 2 念青唐古拉山南坡各观测高度多年平均月气温 (℃)

Table 2 Mean perennial values of mean monthly air temperatures (℃) over the studied slope for various observation altitudes

海拔 (m)	4300	4400	4500	4650	4800	4950	5100	5300	5500
1月	- 10.9	- 8.9	- 9.6	- 9.9	- 10.5	- 11.0	- 12.3	- 14.0	- 15.3
2月	- 10.5	- 9.4	- 10.4	- 11.0	- 11.8	- 12.4	- 13.8	- 15.6	- 16.6
3月	- 2.0	- 1.0	- 1.9	- 2.4	- 3.3	- 4.1	- 5.5	- 7.2	- 8.4
4月	2.5	3.0	2.2	1.4	0.5	- 0.4	- 1.8	- 3.5	- 4.6
5月	8.1	8.5	7.7	6.7	5.7	4.6	3.1	1.5	0.5
6月	8.3	8.3	7.5	6.4	5.2	4.2	2.8	1.2	0.3
7月	9.1	8.9	8.1	6.9	5.8	4.8	3.4	2.0	1.0
8月	9.6	9.9	9.0	8.0	7.1	6.0	4.7	3.2	2.2
9月	7.4	7.7	6.8	5.9	4.9	4.0	2.7	1.3	0.1
10月	2.4	3.1	2.1	1.5	0.6	- 0.1	- 1.5	- 3.3	- 4.5
11月	- 4.0	- 3.0	- 3.9	- 4.4	- 5.2	- 5.8	- 7.0	- 9.4	- 10.4
12月	- 8.4	- 6.4	- 7.0	- 7.0	- 7.5	- 7.9	- 8.9	- 10.7	- 12.3
年平均	1.0	1.7	0.9	0.2	- 0.7	- 1.5	- 2.8	- 4.5	- 5.6

4 气温直减率

气温直减率即单位高度的气温变化值, 通常以℃/100 m计。气温随海拔增高而降低, 气温直减率为正, 反之为负^[32]。考虑逆温层的影响, 将山坡按不同高度段分别计算气温直减率(表 3), 可见由于山坡中下部(4 950 m 以下)存在逆温层, 气温

直减率总体以 4 950 m 为分界线, 往上气温直减率月平均值变化在 0.69~0.87℃/100 m, 最低值和最高值分别发生在 7和 11月; 而往下气温直减率总体小于 4 950 m 以上值, 如 4 300~4 950 m 气温直减率月平均值变化范围为 0.04~0.70℃/100 m, 最低值和最高值分别发生在 12和 7月, 体现受冷季逆温的影响。

表 3 念青唐古拉山南坡多年平均气温直减率的季节变化 (℃/100 m)

Table 3 Seasonality of temperature lapse rate(℃/100m) using linear regression method for various elevation intervals at the southern slope of Na inqentanglha Mountains

海拔 (m)	4300~ 4400	4300~ 4650	4300~ 4950	4400~ 4950	4950~ 5500	4300~ 5500	4400~ 5500
1月	- 2.00	- 0.17	0.14	0.36	0.79	0.46	0.57
2月	- 1.10	0.24	0.39	0.52	0.77	0.58	0.65
3月	- 1.00	0.20	0.40	0.54	0.79	0.60	0.67
4月	- 0.50	0.37	0.50	0.61	0.77	0.65	0.70
5月	- 0.40	0.45	0.60	0.70	0.75	0.70	0.75
6月	0.00	0.58	0.68	0.75	0.71	0.72	0.75
7月	0.20	0.65	0.70	0.75	0.69	0.72	0.73
8月	- 0.30	0.51	0.60	0.69	0.69	0.67	0.71
9月	- 0.30	0.48	0.58	0.66	0.70	0.65	0.69
10月	- 0.70	0.33	0.46	0.56	0.81	0.63	0.68
11月	- 1.00	0.20	0.36	0.49	0.87	0.60	0.67
12月	- 2.00	- 0.28	0.04	0.25	0.81	0.39	0.51
年均	- 0.70	0.30	0.45	0.57	0.75	0.61	0.67

5 结束语

本研究通过在念青唐古拉山南坡架设的 9台自动气象站 1年(2006年 8月至 2007年 7月)的实测数据, 对该区高山气温观测结果进行了初步分析。指出观测期间冷季(10~ 4月)山坡 4 300~

4 950 m 存在逆温带, 并计算了各高度范围的逆温频率。同时利用高山各观测高度的气温与当雄气象站具有良好相关, 推算出多年平均情况下念青唐古拉山南坡各观测高度的年平均气温和各月平均气温。并由此推测念青唐古拉山南坡 5 000 m 高度以上可能存在高山多年冻土。应该说, 1 a 的观

测资料难以深入研究很多问题,对多年平均温度的推算也具冒险性,但鉴于目前该地区海拔 4 300 m 以上尚无完整气象资料的现实,本研究成果具参考意义。

参考文献:

[1] 叶笃正,高由禧. 青藏高原气象学 [M]. 北京: 科学出版社, 1979 1~ 9.

[2] Ueda H, Yasunari T. Role of warming over the Tibetan Plateau in early onset of the summer monsoon over the Bay of Bengal and the South China Sea [J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 1998, 76(1): 1~ 12.

[3] Yin Z Y, Li Z Y. Temperature anomalies in central and eastern Tibetan Plateau in relation to general circulation patterns during 1951~ 1993 [J]. International Journal of Climatology, 2000 20 (12): 1431~ 1449.

[4] 郑 度,林振耀,张雪芹. 青藏高原与全球环境变化研究进展 [J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 95~ 102.

[5] 孙凤华, 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.

[6] 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.

[7] Kang S Q in D. Annual accumulation in the Mt Nyainqentang lha ice core southern Tibetan Plateau China Relationships to atmospheric circulation over Asia [J]. Arctic, Antarctic and Alpine Research, 2007, 39(4): 663~ 670.

[8] 李 林, 王振宇, 汪青春. 黑河上游地区气候变化对径流量的影响研究 [J]. 地理科学, 2006 26(1): 40~ 46.

[9] 樊启顺, 沙占江, 曹广超, 等. 气候变化对青藏高原生态环境的影响评价 [J]. 地理科学, 2005 13(1): 12~ 18.

[10] 章基嘉, 朱抱真, 朱福康, 等. 青藏高原气象学进展 [M]. 北京: 科学出版社, 1988: 268.

[11] 张国胜, 李 林, 汪青春, 等. 青海高原冻土退化驱动因素的定量辨识 [J]. 地理科学, 2007 27(3): 337~ 341.

[12] 李洪权, 范广洲, 周定文, 等. 青藏高原春季植被变化特征及其对夏季气温的影响 [J]. 地理科学, 2008 28(2): 259~ 265.

[13] 张法伟, 李红琴, 李英年. 青藏高原高寒草甸气温、降水和地上净初级生产力变化的周期特征 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 525~ 530.

[14] 田克明, 刘景时, 康世昌, 等. 西藏纳木错流域冻土环境初步研究 [J]. 地球科学进展, 2006 21(12): 1324~ 1332.

[15] 游庆龙, 康世昌, 田克明, 等. 青藏高原念青唐古拉峰地区气

候特征初步分析 [J]. 山地学报, 2007, 25(4): 497~ 504.

[16] Du M, Kawashina S, Yonemura S, et al Temperature distribution in the high mountain regions on the Tibetan Plateau— Measurement and simulation [C]. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand MODSM 2007 International Congress on Modelling and Simulation N Z Christchurch 2007 2146~ 2152.

[17] 谢 健, 刘景时, 杜明远, 等. 拉萨河流域高山水热分布观测结果分析 [J]. 地理科学进展, 2009, 28(2): 223~ 230.

[18] 徐彦伟, 康世昌, 周石桥. 青藏高原纳木错流域夏秋季大气降水中 $\delta^{18}O$ 与水汽来源及温度的关系 [J]. 地理科学, 2007 27 (5): 718~ 723.

[19] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰. 中国气候与环境的演变及预估——中国气候与环境演变 (上卷) [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 104~ 181.

[20] Liu X D, Chen B D. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades [J]. International Journal of Climatology, 2000 20(14): 1729~ 1742.

[21] 杨梅学, 姚檀栋, 何元庆, 等. 藏北高原地气之间的水分循环 [J]. 地理科学, 2002, 22(1): 29~ 33.

[22] 姚檀栋, 刘晓东. 青藏高原地区的气候变化幅度问题 [J]. 科学通报, 2000 45(1): 98~ 106.

[23] 李宗省, 何元庆, 贾文雄. 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 [J]. 地理科学, 2008 28 (2): 229~ 234.

[24] 张 杰, 李栋梁, 王 文. 夏季风期间青藏高原地形对降水的影响 [J]. 地理科学, 2008, 28(2): 235~ 240.

[25] 陈陵康, 郭建秋, 顾延生, 等. 西藏拉萨桑达地区第四纪植硅体组合特征 [J]. 地理科学, 2008, 28(3): 402~ 406.

[26] 王建林, 欧阳华, 王忠红, 等. 念青唐古拉山东南坡高寒草原生态系统表层土壤有机碳分布特征及影响因素 [J]. 地理科学, 2009 29(3): 385~ 390.

[27] Ohta T, Ueno K, Endoh N, et al Meteorological observations in the Tanggula Mountains Qingzang (Tibet) Plateau from 1989 to 1993 [J]. Bulletin of Glacier Research, 1994 12 77~ 86.

[28] Ohta T, Yasunari T, Ohta T, et al Glaciological studies on Qingzang Plateau 1989— Part 3 Meteorology and hydrology [J]. Bulletin of Glacier Research, 1991 9 33~ 49.

[29] 高由禧. 西藏气候 [M]. 北京: 科学出版社, 1984 70.

[30] 米德生, 谢自楚. 中国冰川目录 (上册) [M]. 西安: 西安地图出版社, 2002 15.

[31] 周幼吾, 郭东信, 邱国庆, 等. 中国冻土 [M]. 北京: 科学出版社, 2000 354~ 356.

[32] 伍光 and 田连恕, 胡双熙, 等. 自然地理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000 72.

Altitudinal Distribution of Air Temperature over a Southern Slope of Nyaingentanglha Mountains Tibetan Plateau

XIE Jian^{1,2}, LIU Jing-shi¹, DU Ming-yuan³, WANG Zhong-yan^{1,2}

(1. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Department of Agro-Meteorology, National Institute for Agro-Environmental Sciences, 30500-53, Tsukuba, Japan)

Abstract Altitudinal and temporal distribution of air temperature were analyzed using an original data set spanning from 1 Aug., 2006 to 31 Jul., 2007 from 9 automated weather stations set up along an altitudinal gradient from 4 300 to 5 500 m a s l, at a southern slope of Nyaingentanglha Mountains Tibetan Plateau. Air temperature inversion was found typically during October to the following April. The mean perennial values of annually and monthly mean air temperature were estimated for various observational altitudes at the studied slope based on the significant correlation between air temperatures at the observed slope and Damxung Weather Station, which has 44 years of continuous meteorological record since 1963. According to the estimated mean perennial air temperature, the lower limit of the alpine permafrost was estimated at about 5 100 m a s l, which is 200 m higher than the previous value proposed in the frozen soil in China.

Key words Tibetan Plateau; Nyaingentanglha Mountains; air temperature distribution; mountain climate; temperature lapse rate; vertical gradient