

# Temperature and Humidity Characteristics of the Qinghai-Tibet Plateau from 1979 to 2018

Yueqi Li, Ruomei Zhong

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan  
Email: 2285074504@qq.com, 352708752@qq.com

Received: Jul. 2<sup>nd</sup>, 2020; accepted: Jul. 16<sup>th</sup>, 2020; published: Jul. 23<sup>rd</sup>, 2020

---

## Abstract

This article will use the Chinese Meteorological Forced Data Set (CMFD) to analyze the characteristics of air temperature and humidity in the Qinghai-Tibet Plateau from 1979 to 2018, mainly to study the spatial and temporal distribution characteristics of air temperature and humidity from 1979 to 2018, as well as air temperature, humidity and precipitation, correlation of meteorological factors such as radiation. The conclusions are as follows: 1) The changes in air temperature and humidity in time series are consistent, but the change in humidity is greater than that in air temperature; the distribution of air temperature and humidity are affected by the terrain, and the annual average air temperature and specific humidity are averaged in the radial and latitude directions both have a great negative correlation with the altitude, that is, the temperature and humidity decrease with the increase of altitude; 2) In addition to the influence of natural factors such as altitude and latitude and longitude, temperature and humidity are also highly related to meteorological elements such as long-wave downward radiation and precipitation.

## Keywords

The Tibetan Plateau, The Temperature, Humidity, The Correlation

---

## 1979年~2018年青藏高原气温与湿度特征分析

李悦绮, 钟若媚

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都  
Email: 2285074504@qq.com, 352708752@qq.com

收稿日期: 2020年7月2日; 录用日期: 2020年7月16日; 发布日期: 2020年7月23日

## 摘要

本文将利用中国气象强迫数据集(CMFD), 对1979~2018年的青藏高原区域进行气温与湿度的特征分析, 主要研究1979~2018年气温与湿度的时空分布特征, 以及气温、湿度与降水, 辐射等气象因素的相关性。结论如下: 1) 气温与湿度在时间序列上的变化具有一致性, 但湿度的变化幅度比气温更大; 气温和湿度的分布均受地形影响, 年平均气温和比湿在径向平均和纬向平均下都与海拔高度有很大的负相关性, 即气温和湿度都随海拔高度的增高而减小; 2) 气温和湿度除了受海拔高度和经纬度等自然因素的影响, 还与向下长波辐射、降水等气象要素有很大的相关性。

## 关键词

青藏高原, 气温, 湿度, 相关性

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

青藏高原作为地球第三极, 既是世界屋脊、也是亚洲水塔, 更是我国重要的生态安全屏障、战略资源储备基地。青藏高原作为第三极的核心可以说是全球气候变暖最强烈的地区, 也是对未来全球气候变化影响不确定性最大的地区。地球第三极以青藏高原为核心起点向西辐散, 覆盖包括青藏高原、帕米尔高原、兴都库什、天山、伊朗高原、高加索、喀尔巴阡等山脉。泛第三极地区的面积约为 2000 万平方公里, 是“一带一路”的核心区, 它的气候变化与 30 多亿人的生存与发展环境密切相关。泛第三极既是地球上生态环境最脆弱的地区, 也是人类活动最强烈的地区, 且伴随着“一带一路”重大倡议建设的实施, 泛第三极的环境变化受到全球关注。保护泛第三极地区的资源环境、可持续性将为“一带一路”建设提供重要环境、科技支撑。泛第三极包含有: 中国、尼泊尔、印度、不丹、巴基斯坦、阿富汗、孟加拉国、缅甸、斯里兰卡、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、哈萨克斯坦、土库曼斯坦、伊朗等 20 多个国家和地区, 面积大概在 2000 万平方公里, 人口超 30 亿, 且它所在区域与丝绸之路经济带高度重合。随着有关科学问题的研究深入和“一带一路”建设的实施, 泛第三极的环境变化重要性受到全球的广泛关注。目前, 泛第三极的环境正在发生重大变化, 西风与印度季风的相互作用是触发泛第三极环境变化的动力源, 超常的气候变暖是泛第三极环境变化的放大器。从以往的气候变化看, 整个泛第三极地区的升温速率是全球变化平均的两倍, 按照巴黎气候大会所设定全球温升 2°C 的上限预测, 那么这一地区的温升可能将高达 4°C。如此强烈的气候变化将会对此地区生态环境和人类活动产生怎样严重的后果, 这存在着很大的不确定性。气候变暖导致亚洲水塔区上游的冰川退缩、湖泊扩张、冰湖溃决、洪水频发, 这将对“一带一路”沿线的国家社会经济发展产生了严重威胁。与此同时, 由于冰雪融水是维系泛第三极地区重要的水资源。因此由于该地区特别是天山地区冰川的变化幅度大于全球的平均水平, 冰川退缩从而改变水循环, 使得下游中亚大湖区沙漠绿洲未来命运有很大风险。此外, 荒漠化等特殊地表过程加重了泛第三极地区生态环境的恶化, “一带一路”建设六大经济走廊中就有四条走廊带受到严重的荒漠化威胁。因此, 需要深入研究泛第三极资源环境变化规律和驱动机制, 科学的预估未来变化趋势, 为人类活动最强烈的丝绸之路带来可持续发展提供科学依据和决策支持。

据 IPCC 第五次报告指出近 100 年来, 全球平均气温已经上升了  $0.89^{\circ}\text{C}$  左右[1], 正处于全球变暖时期。刘晓东等人发现青藏高原特殊的地理位置和独特的环境对中国乃至全球的天气气候都有重要的影响[2] [3] [4]。青藏高原气温变化特征有很多学者进行过研究。王绍武[5]等人利用冰芯代用资料得到了 1880~2000 年我国西部 4 个区即: 西北、新疆、青藏、西南地区的气温序列, 得出近百年来我国西部地区的气温变化趋势和我国东部地区较一致, 经历了冷 - 暖 - 冷 - 暖的变化。姚莉等人[6]在 2002 年对 1969~2008 年青藏高原的 15 个站点的气温进行分析, 得出了近 30 年的青藏高原地区年平均气温的增温率为  $0.167^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 而年平均最高气温增温率为  $0.008^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 年平均最低气温的增温率为  $0.278^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。Liu 等人[7]在 2000 年发现, 与北半球变暖情况相比, 青藏高原的变暖则发生较早, 而且青藏高原温度上升的速率相比北半球和其同纬度其他地区的快。有研究表明近些年来, 青藏高原地区的气温呈现出明显的上升趋势, 升温幅度明显高于全球气温变化的平均水平[8], 且时间距今越近, 增温的趋势就越明显[9], 但是各个季节有明显的差异, 四季中以冬季的增温趋势最为显著。但是也有研究指出, 在 2003~2012 年青海省大部分和西藏部分的草地地区, 最高气温和最低气温均呈现出下降的趋势[10]。Wu 等人[11]进行探索, 发现在 1971~2000 年, 相对湿度在高原的东南和西南部呈现出增加的趋势。You 等人[12]发现, 1961~2013 年高原上相对湿度在夏季达到最大值, 而其冬季最小。另外, 区域平均的年均相对湿度呈现出减少的趋势, 并且此趋势在夏季达到最大。早在 2010 年, Hardwick 等人[13]和 Simmons 等人[14]就发现全球大部分地区存在温度升高但相对湿度却减少的变化事实, 但对于这种变化的响应解释却相对较少。

青藏高原是世界上海拔最高、地形最复杂的高原, 青藏气候对我国气候乃至全球天气气候系统都具有显著的影响。本文将采用中国气象强迫数据集(CMFD), 针对青藏高原区域分别在时间和空间上对温度、湿度进行特征分析, 并研究降水、风速等气象要素对温度和湿度的影响以及它们之间相关性大小。并重点研究青藏高原关于海拔对温湿带来的影响, 且以几个海拔代表区进行分析, 如: 柴达木盆地, 雅鲁藏布大峡谷区, 藏北高原等。以此来简单的对青藏高原地区温度与湿度特征分析的方法提供参考, 并为气候变化提供依据。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究区概况

青藏高原处于我国西南部的岷山 - 邛崃山 - 锦屏山以西地区, 介于昆仑山、阿尔金山、祁连山与喜马拉雅山之间, 地势高峻, 平均海拔 4000~5000 米, 是全世界海拔最高的大高原, 其中高原上的珠穆朗玛峰海拔 8844.43 米, 号称“世界的第三极”。青藏高原面积约为 250 万平方公里, 东西间距有 300 公里, 南起  $25^{\circ}\text{N}$ , 北至  $40^{\circ}\text{N}$ , 跨越了 15 个纬度, 南北宽为 1500 公里, 约占我国陆地面积的 1/4, 雄踞在亚洲的中部, 处在我国的西南部。

青藏高原地高天寒, 气温相比同纬度的东部平原低得多, 年平均的气温除了高原南部的谷地较高外, 大都低于  $5^{\circ}\text{C}$ , 藏北高原与山脉上部的气温均在  $0^{\circ}\text{C}$  以下。青藏高原的空气稀薄, 日照丰富, 而且地面多裸露岩、沙砾, 致使地面白天吸热多, 增温迅速; 而在夜晚, 地面长波辐射冷却很快, 气温下降非常迅速, 故使得气温日较差大。在高原的热源作用下, 夏季气温低, 冬季多晴天, 日照时间比较长, 导致白天不阴凉, 因此气温年较差较小。

高原上由于夏季的热低压而出现的暖湿降水天气, 冬季冷高压则会形成干寒的大风天气, 独特的高原季风则会产生明显的干湿季变化。盛行风系会随着季节改变发生显著变化, 冬半年由于西风带的控制高原地区为干季(10 月至翌年 4 月), 夏半年因为受湿润的西南与东南季风的影响, 90%以上的降水明显地集中在夏半年(5~9 月), 即称此时间段为湿季。如拉萨 5~9 月降水量占据全年降水量的 97%, 而干季仅占其中的 3%, 干湿季的分别十分明显, 因而出现了明显的干湿季交替的现象。青藏高原降水分布地区的

差异极为悬殊, 东南部察隅以南降水丰沛。位于国境线的巴昔卡处, 海拔有 157 米, 年降水量高达 4495 毫米, 是全国最多的降水中心之一, 而西部柴达木盆地的西端年降水量仅仅只有 13.5 毫米, 降水量最多的地区是最少地区的 300 多倍, 但大部分地区的年降水量在 50~900 毫米之间。且从东南向西北递减, 年降水量梯度约为 100 毫米/100 千米与我国东部平原地区相当。喜马拉雅山横亘于高原的南缘, 对南来北上的湿润气流具有明显屏障作用。青藏高原上的对流旺盛, 经常出现暴雨与冰雹天气, 以那曲、丁青以北、唐古拉山以南的地区出现最多, 全年雷暴和冰雹日高达 100 天。高原终年在高原西风气流控制下会常出现大风。阿里地区全年的 8 级以上大风日数在 150 天以上, 改则更多达 200 天, 冬春是大风季节, 改则的大风经常连刮 3 天以上。可见, 多雷暴、冰雹、夜雨等等的特点也是青藏高原上特殊的气候特色。

## 2.2. 资料概括

本文所用的资料为: 中国气象强迫数据集(CMFD)。其空间分辨率为  $0.1^\circ$ , 时间分辨率为 3 小时。该数据集可用于水文建模, 地表建模, 土地数据同化和其他地面建模。

用于产生强迫数据的此数据源包括: CMA (中国气象局) 1979~2018 年期间的气象站观测数据(风, 气温, 相对湿度, 日照时长, 降水和表面压力), 观测数据与根据观测日照持续时间估算的辐射数据一起用作气象参数的真实值。1998~2018 年期间的 TRMM 卫星降水分析数据(3B42)和 1979~2018 年期间的 GLDAS 降水, 1998~2018 年期间的 GLDAS 降水数据仅用于替代 TRMM 3B42 数据, 这些数据在  $40^\circ\text{N}$  以上才可用。1983.07~2007.12 期间的 GEWEX-SRB 下行短波辐射以及 1979.01~1983.06 和 2008.01~2018.12 的 GLDAS 下行短波辐射数据。1979~2015 年期间的现代时代研究与应用回顾(MERRA) (表面压力), 2015 年后使用 GLDAS 数据(表面压力)。1979~2018 年期间的 GLDAS 数据(风, 气温, 相对湿度)。

## 2.3. 研究方法

对于本文来说影响气温和湿度最大的自然因素应该是海拔高度、地形, 其次是经纬度, 所以作者将在下文着重讨论海拔高度与经纬度对气温和湿度的影响。

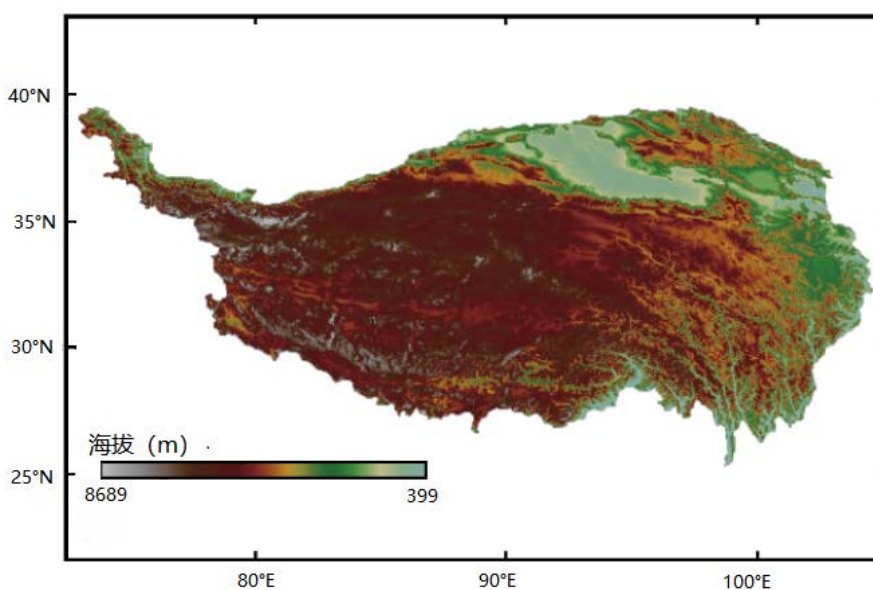


Figure 1. Topographic map of the Tibetan Plateau

图 1. 青藏高原地形高度分布图

本文对数据的基本处理方法:

- 1) 青藏高原区域平均下月累计降水的计算

$$\overline{sumA}_j = \sum_{n=sum+1}^{sum+a_i} \overline{A}_n, (j=1,2,3,\dots,12)$$

- 2) 任意两个气象要素的相关系数计算

相关系数是一个衡量任意两个气象要素之间关系密切程度的统计量。对任意两个要素变量  $x_k, x_l$ , 其相关系数的计算公式为:

$$r_{(k,l)} = \frac{S_{kl}}{S_k S_l} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ki} x_{li} - n \overline{x_k} \overline{x_l}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{li}^2 - n (\overline{x_l})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ki}^2 - n (\overline{x_k})^2}}$$

相关系数这个统计量的大小是否显著需要做显著性检验, 对应总体不相干的两个随机变量, 由于抽样的缘故, 其相关系数不一定等于零, 可能会出现其他数值, 因此样本相关系数也是一个随机变量。对此我们可以用 t 检验法来检验, 即在原假设  $H_0: \rho=0$  的条件下统计量:

$$t = \sqrt{n-2} \frac{r}{\sqrt{1-r^2}}$$

遵从自由度为  $n-2$  的  $t$  分布 ( $n=12$ )。

- 3) 各气象要素经/纬向平均的计算

$$\overline{A}(x, n) = \frac{1}{140} \sum_{y=1}^{140} A_{(x,y,n)}; \quad \overline{A}(y, n) = \frac{1}{320} \sum_{x=1}^{320} A_{(x,y,n)}$$

- 4) 各气象要素的青藏高原区域平均

$$\overline{A}_{(n)} = \frac{1}{140} \sum_{x=1}^{140} \left( \frac{1}{320} \sum_{y=1}^{320} A_{(x,y,n)} \right)$$

- 5) 各气象要素的月平均

$$\overline{A}_j = \frac{1}{a_i} \sum_{n=sum+1}^{sum+a_i} \overline{A}_n, (j=1,2,3,\dots,12; i=1,2,3)。$$

### 3. 数据处理和分析

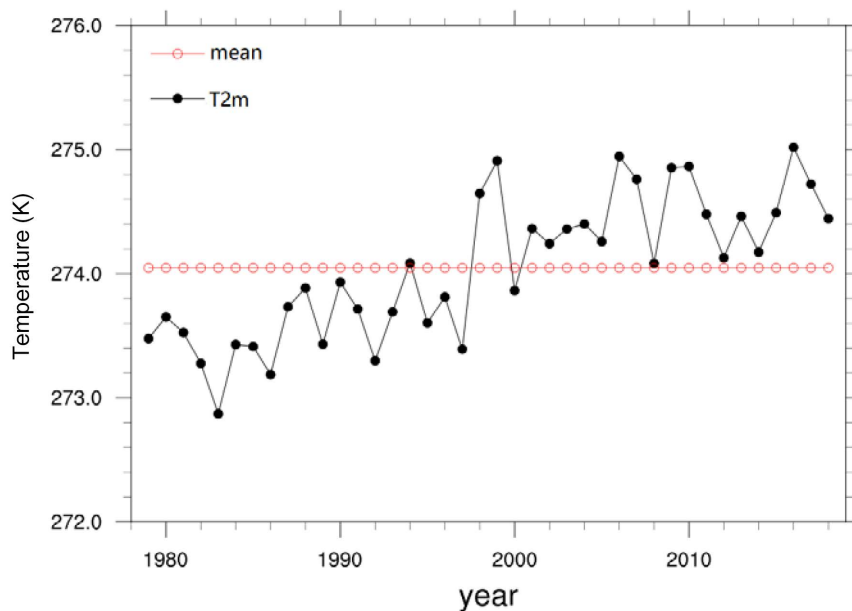
#### 3.1. 青藏高原地面两米处温度与比湿的特征分析

##### 3.1.1. 青藏高原地面两米处温度时空分布特征

从图 2 中可以看出高原气温在这四十年中总体是呈波动上升的趋势, 但在 1979 年以前, 气温并没有明显的增高趋势, 气温基本维持在这 40 年平均气温以下, 气温距平值呈现负距平。在 1997 到 1998 年间, 气温迅速升高, 这是因为 1997 年到 1998 年间太平洋地区发生的厄尔尼诺(El Nino)现象。但随后的 20 年中, 气温的平均值与前 20 年相比有增加, 除了 2000 年外, 其余年份的气温距平值均呈现出正距平。

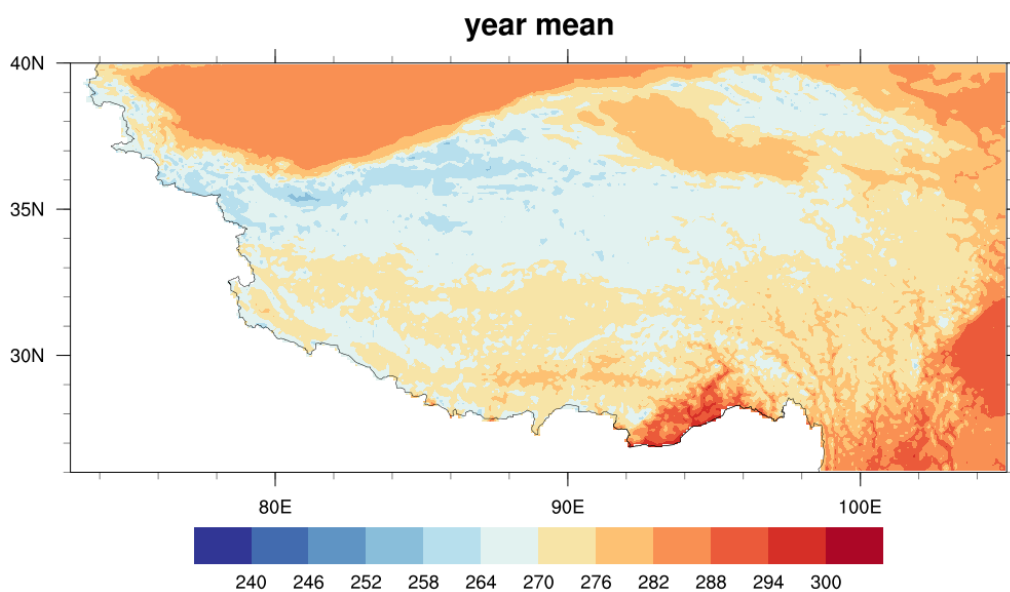
空间上由于青藏高原是世界上最大的高原, 横跨 30 个经度、15 个纬度, 局地海拔高度也有较大差异, 所以温度的空间分布也会明显的差异, 高原区域的年平均温度的空间分布能很好的体现高原的整个区域温度的总体特征。





**Figure 2.** Annual average temperature [K] of the Tibetan Plateau from 1979 to 2018 time series chart

**图 2.** 1979~2018 年青藏高原年平均气温[K]时间序列图



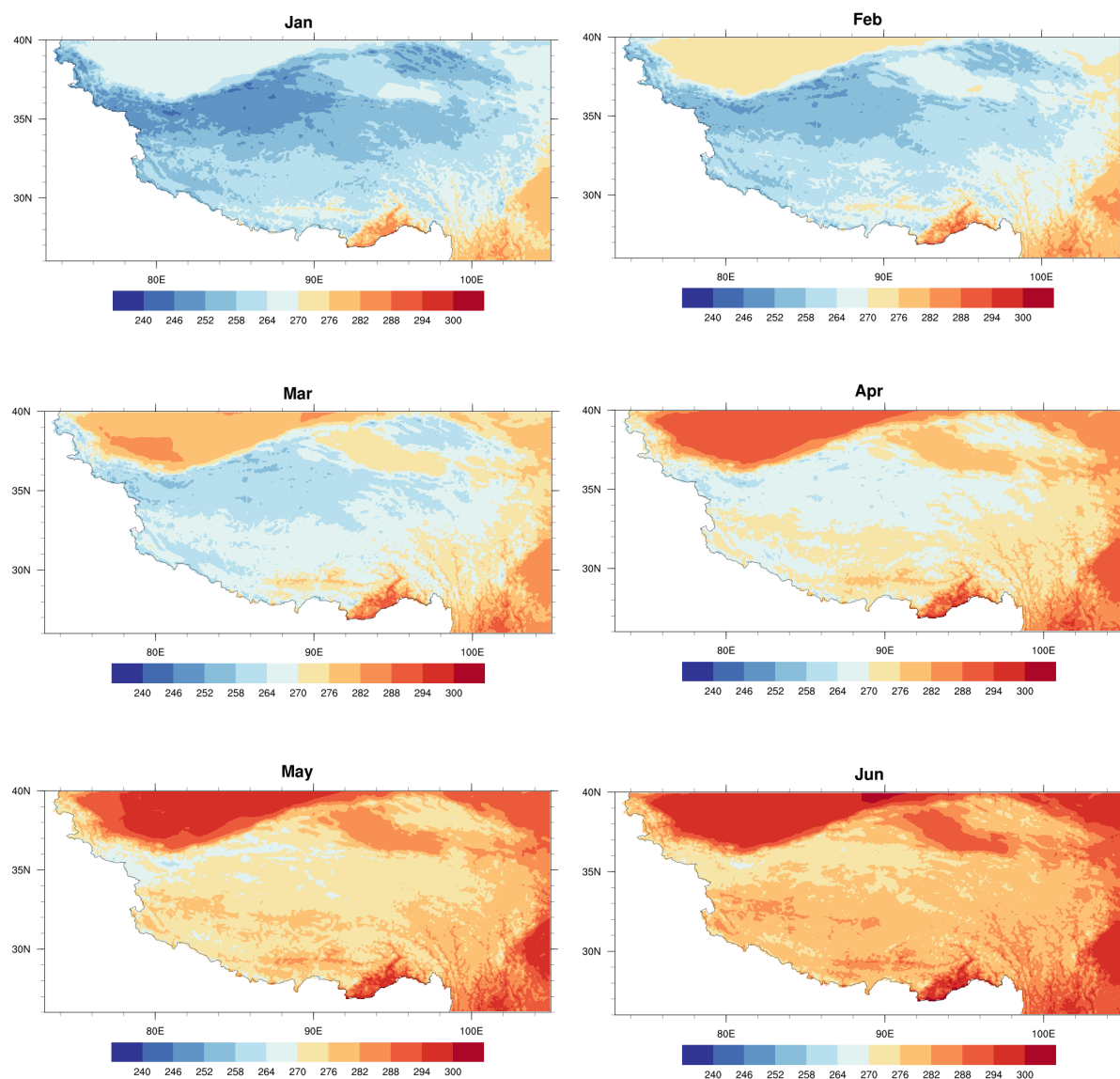
**Figure 3.** Spatial distribution of mean temperature (K) on the Tibetan Plateau from 1979 to 2018

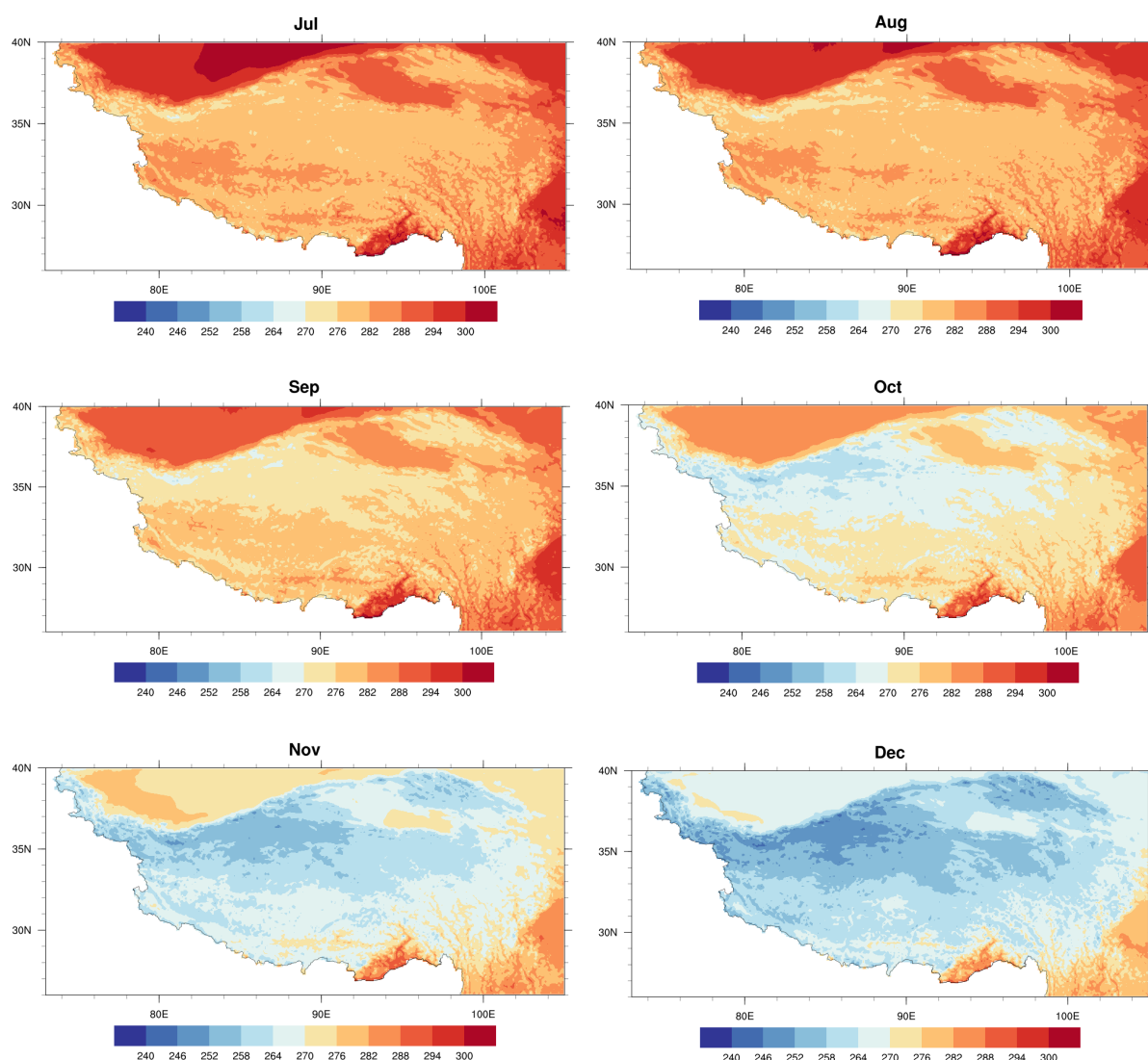
**图 3.** 1979~2018 年青藏高原平均温度(K)空间分布

从图 3 的整体上来看, 青藏高原年平均气温在空间分布上基本是由西向东逐渐升高的, 与图 1 地形图对比可以看出, 气温随局地海拔高度的增加而减少, 得出由于青藏高原特殊的地形地貌, 造成相对低温和高温的分布具有明显区域特征。这体现在图中是: 整体上藏北高原是一个相对温度低值区, 温度在  $0^{\circ}\text{C}$  以下, 高原东北部气温在  $3^{\circ}\text{C}$  以上的柴达木盆地, 是整个高原区域的相对温度高值区; 在藏北高原的西北部有一连串气温在  $-10^{\circ}\text{C}$  左右、呈线状的温度低值区, 这是高原的喀喇昆仑山脉和昆仑山脉; 在高原南部海拔较高的冈底斯山脉、念青唐古拉山脉和喜马拉雅山脉上对比南部的整体气温都呈现出了明显的

相对低温区；在高原东南部横断山脉附近，有南北向呈线状的气温相对高值区，这是由于沿着横断山脉呈东南向的河谷造成的；除海拔造成的高原气温分布外，纬度也给高原气温分布带来了不可忽视的作用，从图中可以看出高原南部气温相较于北部是明显的相对高值区，这是由于南部处于低纬度区，有来自印度洋温暖潮湿的空气导致。高原平均温度最高值出现在北纬 27 度、东经 94 度左右的区域，此处是雅鲁藏布流域区域，造成这样的原因是第四纪中，雅鲁藏布大峡谷处于向东南方向伸展布拉马普特拉河 - 雅鲁藏布江河谷中。深切的雅鲁藏布大峡谷面向着孟加拉湾和印度洋，为来自印度洋的暖湿气流提供了一条天然的通道。印度洋上生成的暖湿气流北上，经印度但是却为喜马拉雅山所阻挡，致使暖湿气流最终会沿着雅鲁藏布大峡谷一路溯江而上，导致此处的气温是高原的气温高值区。高原的平均最低温度位于北纬 35 度、东经 81 度附近。对比地形图可以得出，此处是昆仑山脉，是海拔高值区。分析得出：海拔是影响青藏高原气温的主要因素。

了解了整个研究区域气温随空间的变化后，进一步分析气温随时间在高原区域的空间分布的变化情况。





**Figure 4.** Spatial distribution of monthly mean temperature (K) on the Tibetan Plateau from 1979 to 2018

**图 4.** 1979~2018 年青藏高原逐月平均温度(K)空间分布

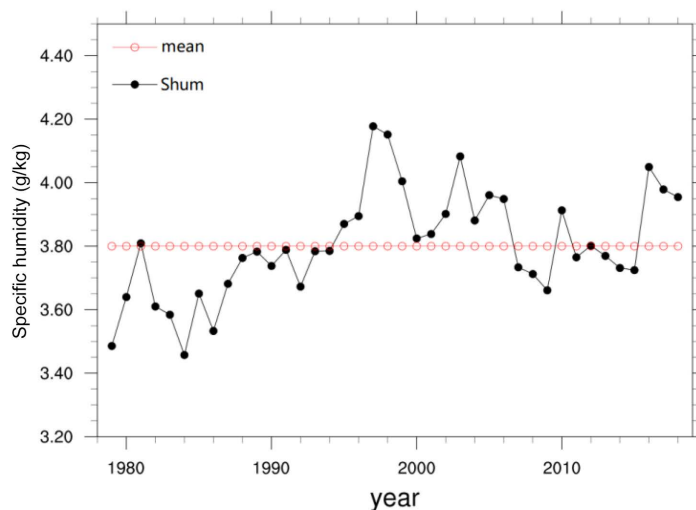
从图 4 可以看出: 气温在高原区域内每个地区随时间的变化与高原区域 40 年平均下的气温变化具有一致性: 高原一年中各个部分的最高温度均出现在 7 月, 最低温度出现在 1 月; 高原内各个部分一年内的气温变化均为先逐月升高, 且在达到最高值后逐月降低。但气温的随时间变化的范围以及最高、最低气温值等都在不同海拔高度上有显著差异。其中, 高原西北部由于海拔相对较高而总体气温偏低, 是高原区域的气温低值区; 高原东北部柴达木盆地是海拔低值区, 其气温比高原同纬度地区明显偏高; 高原东南部, 雅鲁藏布流域附近、横断山脉附近区域气温变化不大, 始终是高原气温高值区。此外, 整个高原区域内各部分的温度差异在 1 月和 12 月最大, 在 8 月最小。而气温的空间分布在各月份中具有极大的相似性。

### 3.1.2. 青藏高原地面两米处比湿时空分布特征

图 5 中可以看出, 与温度相比湿也是呈波动状, 前 20 年比湿基本都处于平均以下, 虽然比湿在 1997~1998 年间总体呈波动增加, 但并没有像气温一样剧烈增加, 它的剧增出现在 1998~1999, 并达到了这 40 年中的最高值 4.18 g/kg。比湿第一次出现正距平值是在 1995 年并在此后的 12 年间都维持在一个正

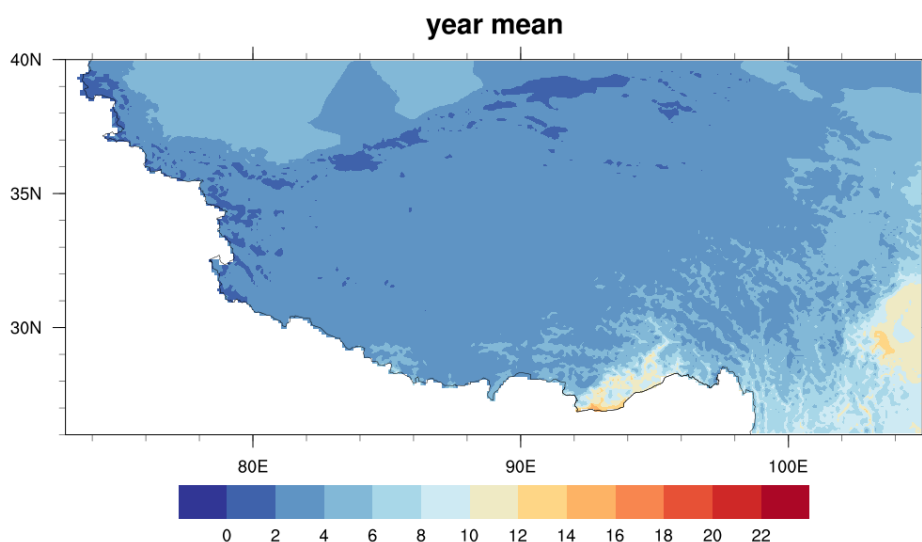


距平值的状态。虽然在 07~09、11 和 13~15 年间出现了负的距平值但相较于 1992 年之前, 这些年的区域平均比湿值是相对较高的。因此与气温相同, 后二十年的平均比湿值总体相对与前二十年是增加的。



**Figure 5.** Time series of the annual mean specific humidity (g/kg) of the Tibetan Plateau from 1979 to 2018

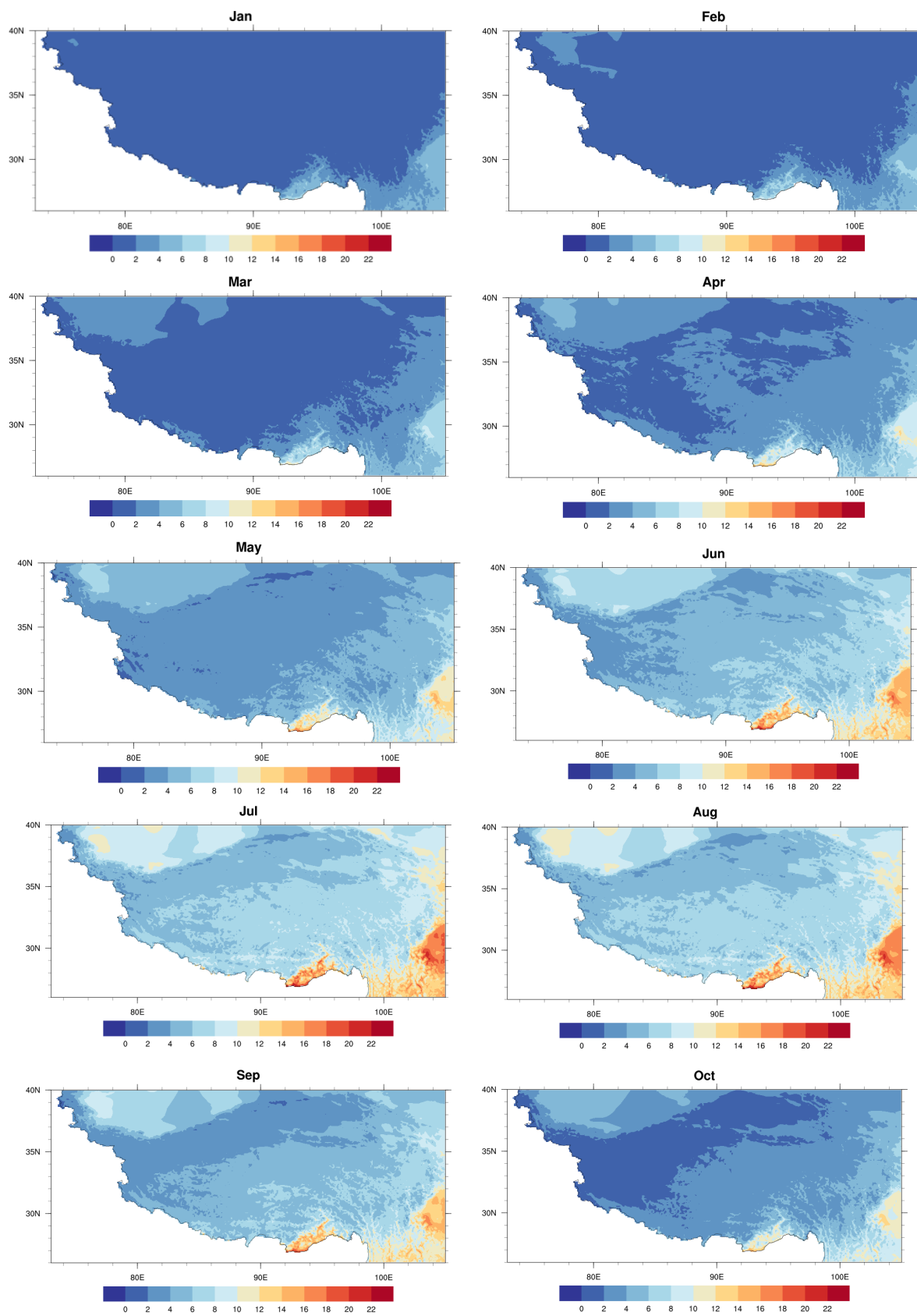
**图 5.** 1979~2018 年青藏高原年平均比湿(g/kg)时间序列图

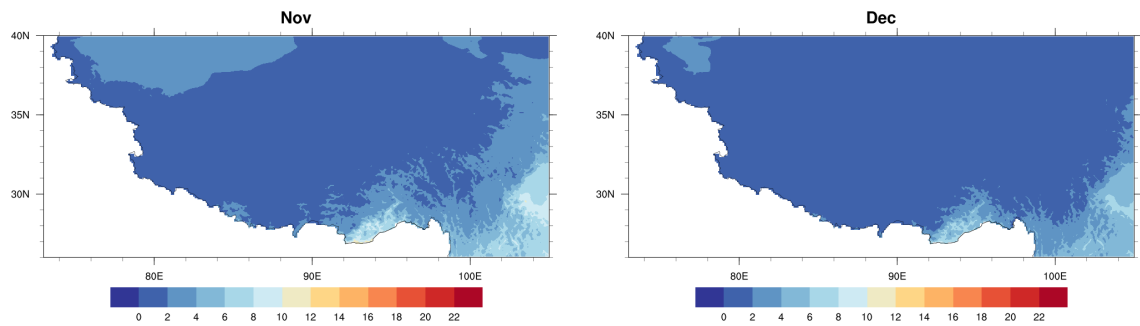


**Figure 6.** Spatial distribution of annual average specific humidity (g/kg) on the Tibetan Plateau from 1979 to 2018

**图 6.** 1979~2018 年青藏高原年平均比湿(g/kg)空间分布

根据图 6 分析可知, 高原比湿年平均与气温年平均在空间分布上相似, 湿度也大致呈现出由西向东、由北向南湿度逐渐增大的变化特征, 但比湿的阶梯性变化不如气温明显, 且在气温空间分布图上的东北部相对高温中心并没有在湿度空间分布图上体现出来。相较于气温空间分布图, 比湿的空间分布图有更好的由北向南升高的趋势。高原比湿的低值区在高原北部, 高值中心在高原的东南部, 认为是由于青藏高原南部临海, 而北部由于高原海拔高对水汽有阻挡作用, 从而形成这样的空间分布。进一步分析湿度在高原区域的分布随时间的变化情况。



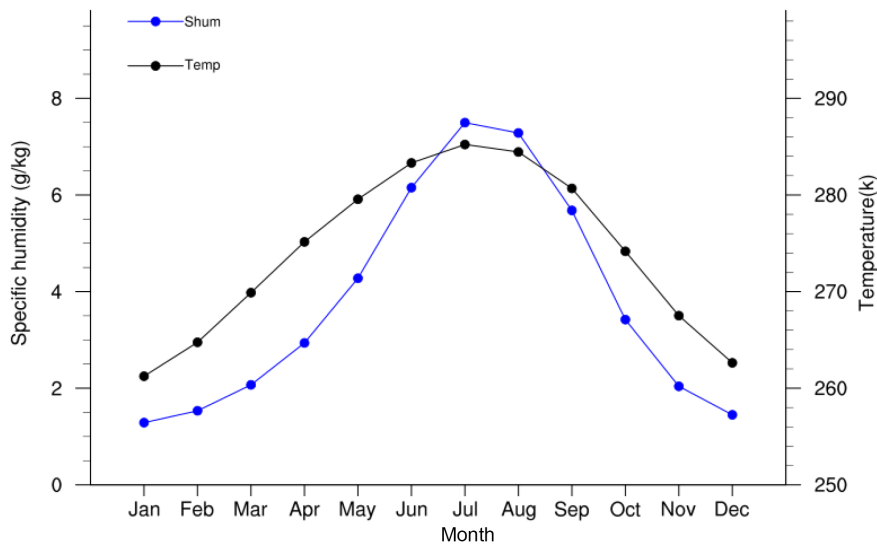


**Figure 7.** Spatial distribution of monthly average specific humidity (g/kg) of the Qinghai-Tibet Plateau from 1979 to 2018

**图 7.** 1979~2018 年青藏高原区域逐月平均比湿(g/kg)空间分布

从图 7 可以看出：与温度在青藏高原区域各个月份上的空间分布具有一致性不同，高原的湿度空间分布在冬季(12 月、1 月、2 月)几乎没有差别，湿度在整个高原上的值都很低，基本都在 0 g/kg。在 3 月后湿度的空间分布才开始在高原上出现差异，在此后各个月份中湿度的空间分布上出现明显的由北向南增加的特征。从图上可以看到从三月到四月湿度有很大的突增，在七月到达最大，而后减小。在高原东南部有一湿度高值区，它的湿度一直都在 4 g/kg 以上，这是因为其南部与印度洋相邻，从印度洋向此处吹来温暖、湿润的空气，且此处为迎风坡，容易形成降水，因此这里成为湿度高值中心；在此高值中心的北面湿度骤降，这是由于青藏高原海拔很高，暖湿空气无法越过山脉导致。

### 3.1.3. 青藏高原气温和湿度的关系



**Figure 8.** Time series of the average annual temperature (K) and specific humidity (g/kg) from 1979 to 2018

**图 8.** 1979~2018 年年平均气温(K)与比湿(g/kg)时间序列图

图 8 看出青藏高原区域平均下年平均气温和比湿随时间的变化特征：气温的最低值出现在一月，最高值出现在七月，这一点，湿度与气温是一致的；所以气温和湿度在时间上有相同的变化趋势，但是湿度的变化较气温更明显；湿度在月内的浮动情况比气温在月内的浮动更为明显，其中在 5 月到 6 月和九月到十月的上下浮动最大。

### 3.2. 影响温度与湿度的气象因素特征分析

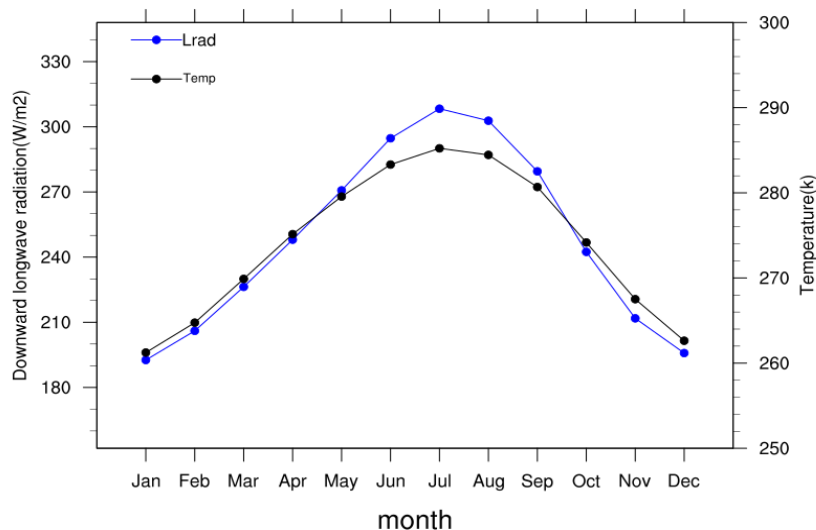
温度与湿度还会受到其他气象因素, 比如降水、向下长波辐射、向下短波辐射、气压等的影响, 研究青藏高原区域内, 温度和湿度与这些气象要素之间的相关性, 计算出相关系数并进行检验, 分析温度与湿度和这些气象要素之间的变化特征。下表即为各个气象要素之间的相关系数及 t 检验。

**Table 1.** Correlation coefficients between selected meteorological elements and the examination of correlation coefficients  
**表 1.** 所选气象要素间的相关系数及相关系数的检验情况

	Temp	SHUM	RAIN	LRAD	SRAD	Wind	pres
Temp	1						
SHUM	0.955*	1					
RAIN	0.942*	0.992*	1				
LRAD	0.994*	0.977*	0.972*	1			
SRAD	0.886*	0.749*	0.768*	0.401	1		
Wind	-0.045	-0.226	-0.149	-0.062	0.401	1	
pres	0.991*	0.934*	0.905*	0.975*	0.853	-0.149	1

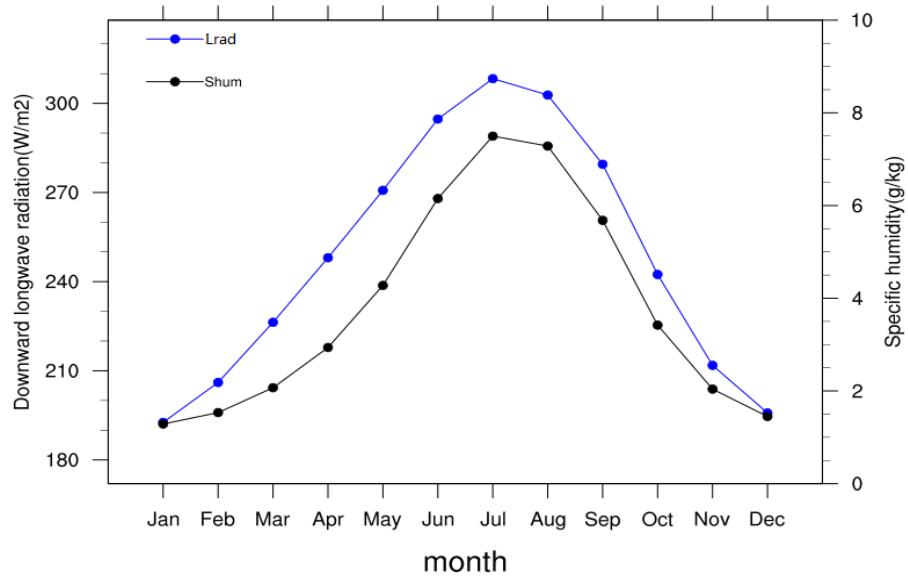
注: 红色的相关系数代表没有通过检验的量, \*表示达到 99% 的信度检验。

由表 1 中可以看出气温与湿度的相关系数为 0.955, 表明温湿度的相关性很好; 地表长波辐射(Lrad)与气温的相关系数接近 1, 表明气温与地表长波辐射在青藏高原区域平均下随时间的变化几乎完全相同, 地表长波辐射与湿度的相关系数为 0.977, 表明其与湿度的相关性也很好; 气温与网格尺度每月平均降水的相关系数为 0.942, 湿度与网格尺度每月平均降水的相关系数为 0.992, 说明气温、湿度与降水的相关性都较好; 气温与向下短波辐射的相关系数为 0.886, 湿度与向下短波辐射的系数为 0.749, 说明温度与向下短波辐射的相关性强于湿度; 而风速与气温、湿度的相关系数是负数, 说明他们之间完全无关, 因此在对气温、湿度与气象要素之间的关系时, 重点讨论降水和向下长波辐射。



**Figure 9.** Time series of surface long wave radiation ( $\text{W/m}^2$ ) and annual average temperature (K) from 1979 to 2018

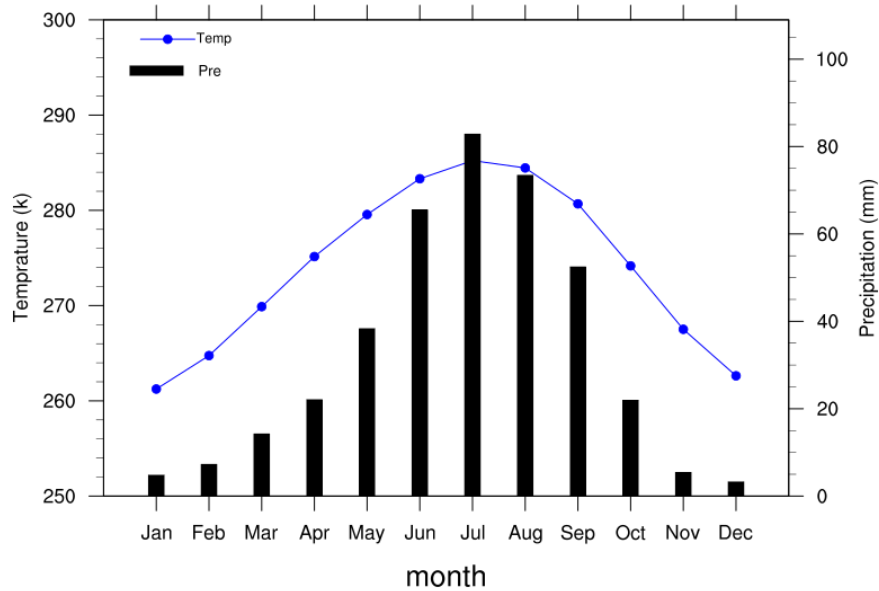
**图 9.** 1979~2018 年地表长波辐射( $\text{W/m}^2$ )与年平均气温(K)时间序列图



**Figure 10.** Time series of surface long wave radiation ( $W/m^2$ ) and monthly average specific humidity ( $g/kg$ ) from 1979 to 2018

**图 10.** 1979~2018 年地表长波辐射( $W/m^2$ )与月平均比湿( $g/kg$ )时间序列图

与表 1 中得到的相关系数数值和显著性检验结论稳合, 图 9、图 10 中气温、比湿与向下长波辐射在时间序列上的表现具有极高的一致性, 尤其是 1~5 月、10~12 月, 相关性更大。

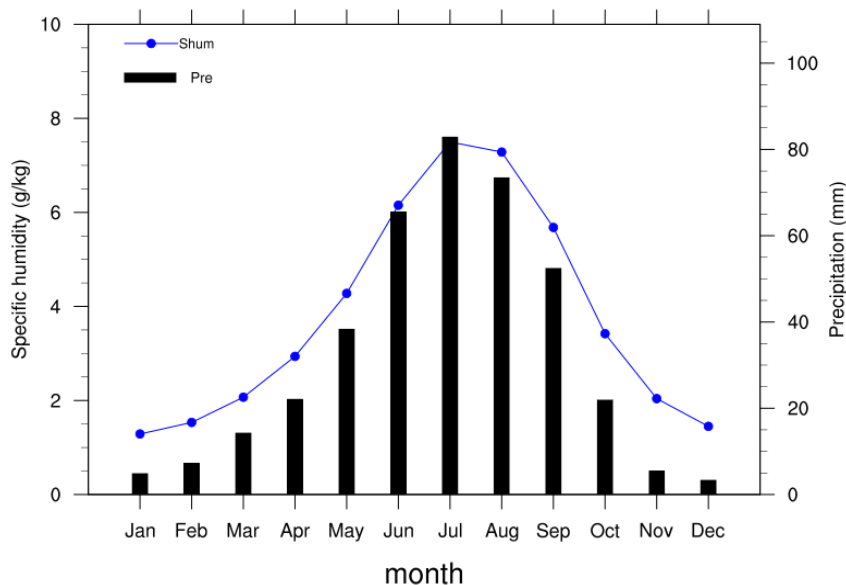


**Figure 11.** Time series of monthly mean temperature (K) and monthly cumulative precipitation (mm) on the Tibetan Plateau from 1979 to 2018

**图 11.** 1979~2018 年青藏高原月平均温度(K)与月累计降水(mm)的时间序列

青藏高原区域降水量在七月达到最大值, 温度和湿度的最大值与它相对应; 降水的变化在秋季(9~11 月)最大; 对比图 11 与图 12, 月累计降水量与月平均比湿的变率比气温与降水量的吻合程度更好, 认为月累计降水量与湿度的相关性更大。





**Figure 12.** Time series of monthly mean specific humidity (g/kg) and cumulative monthly precipitation (mm) of the Tibetan Plateau from 1979 to 2018

**图 12.** 1979~2018 年青藏高原月平均比湿(g/kg)与月累计降水(mm)的时间序列

#### 4. 结论

本文利用中国气象强迫数据集(CMFD)对 1979~2018 年的气温与湿度在时间和空间的分布做了简单的研究;对青藏高原的气温、湿度在海拔和地形方面加以分析表述;并且研究气温、湿度与向下长波辐射和累计降水的相关性,结论如下:

1) 气温与湿度在时间序列上的变化具有一致性,但湿度的变化幅度比气温更大;在 1979~2018 年年平均的空间分布上,气温分布与高原的地形分布有较大的相似性,而湿度的空间分布则与纬度有更大的关系;

2) 在高原区域中海拔高的藏北高原是高原的气温与湿度的低值区,海拔低的柴达木盆地则是温度的相对高值区;东南部的雅鲁藏布江流域与横断山脉由于地形是河谷的原因,是温度和湿度的高值区;

3) 年平均气温和比湿在径向平均和纬向平均下都与海拔高度有很大的负相关性,即气温和湿度都随海拔高度的增高而减小;

4) 气温和湿度除了受海拔高度和经纬度等自然因素的影响,还与向下长波辐射和降水这些气象要素有很大的相关性。

#### 参考文献

- [1] IPCC (2007) Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis.
- [2] 梁玲, 李跃清, 胡豪然 等. 青藏高原夏季感热异常与川渝地区降水关系的数值模拟[J]. 高原气象, 2013, 32(6): 1538-1545.
- [3] 刘晓东. 青藏高原隆升对亚洲季风形成和全球气候与环境变化的影响[J]. 高原气象, 1999, 18(3): 321-331.
- [4] 周俊前, 刘新, 李伟平, 等. 青藏高原春季地表感热异常对西北地区东部降水变化的影响[J]. 高原气象, 2016, 35(4): 845-853.
- [5] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等. 近百年中国年气温序列的建立[J]. 应用气象学报, 1998, 9(4): 392-401.
- [6] 姚莉, 吴庆梅. 青藏高原气候变化特征[J]. 气象科技, 2002(3): 36-37+16.

- 
- [7] Liu, X. and Chen, B. (2000) Climatic Warming in the Tibetan Plateau during Recent Decades. *International Journal of Climatology*, **20**, 1729-1742. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(20001130\)20:14<1729::AID-JOC556>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/1097-0088(20001130)20:14<1729::AID-JOC556>3.0.CO;2-Y)
- [8] You, Q., Kang, S., Pepin, N., *et al.* (2010) Relationship between Temperature Trend Magnitude, Elevation and Mean Temperature in the Tibetan Plateau from Homogenized Surface Stations and Reanalysis Data. *Global and Planetary Change*, **71**, 124-133. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.01.020>
- [9] 宋辞, 裴韬, 周成虎. 1960 年以来青藏高原气温变化研究进展[J]. 地理科学进展, 2012, 31(11): 1503-1509.
- [10] Tao, J., Zhang, Y., Zhu, J., *et al.* (2013) Elevation-Dependent Temperature Change in the Qinghai-Xizang Plateau Grass Land during the Past Decade. *Theoretical and Applied Climatology*, **117**, 61-71. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0976-z>
- [11] Wu, S.H., Yin, Y.H., Du, Z., *et al.* (2007) Climatic Trends over the Tibetan Plateau during 1971-2000. *Journal of Geographical Sciences*, **17**, 141-151. <https://doi.org/10.1007/s11442-007-0141-7>
- [12] You, Q.L., Min, J.Z., Lin, H.B., *et al.* (2015) Observed Climatology and Trend in Relative Humidity in the Central and Eastern Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, **120**, 3610-3621. <https://doi.org/10.1002/2014JD023031>
- [13] Hardwick, J.R., Westra, S. and Sharma, A. (2011) Observed Relationships between Extreme Sub-Daily Precipitation, Surface Temperature, and Relative Humidity. *Geophysical Research Letters*, **37**, L22805. <https://doi.org/10.1029/2010GL045081>
- [14] Simmons, A.J., Willett, K.M., Jones, P.D., *et al.* (2010) Low-Frequency Variations in Surface Atmospheric Humidity, Temperature, and Precipitation: Inferences from Reanalyses and Monthly Gridded Observational Datasets. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **115**, 1-21. <https://doi.org/10.1029/2009JD012442>