

# 高原季风研究主要进展及其科学意义

齐冬梅<sup>1,2</sup>, 李跃清<sup>2</sup>

(1. 中国气象局气象科学研究所, 北京 100081; 2. 中国气象局成都高原气象研究所, 四川 成都 610071)

**摘要:** 季风是气象界的“永恒”课题, 已有数百年的研究历史。亚洲季风系统中存在着 3 个相对独立的子系统: 南亚季风、东亚季风和高原季风。简要总结了国内外关于高原季风的若干研究进展, 对比分析了各阶段高原季风研究的特点。同时指出今后应进一步丰富高原季风指数定义, 并对高原季风变化的物理成因等方面进行深入研究。

**关键词:** 高原季风; 高原气候; 季风指数

**中图分类号:** P462.4<sup>+1</sup>

**文献标识码:** A

## 引言

关于青藏高原季风及其影响的研究已有半个世纪的历史。20 世纪 50 年代中期, 叶笃正教授等<sup>[1]</sup>最先提出: 夏季“贴近高原周围的风基本上是绕着高原作气旋式旋转的, 同时向高原耦合造成上升运动, 这种现象是由高原的热力作用造成的”。随后徐淑英和高由禧<sup>[2]</sup>提出: 青藏高原存在与东南季风或西南季风都不同的季风现象。并设想: 青藏高原对自由大气而言, 是一个特殊的热力系统, 其热力作用的季节变化可能引起类似海陆风现象和季节性的热力气压系统。在高原上, 由于冬夏冷热源的变化, 也将引起冷高压和热低压的季节变换。至于青藏高原是否存在这样的热力性气压系统, 由于当时资料不够多, 高原冬夏季的平均气压场到底怎么样尚无事实根据, 还不能十分肯定。

1962 年在甘肃省气象学会年会上, 高由禧和汤懋苍首次提出了“高原季风”的概念。他们提出: 由于高原对大气的热力作用, 使其主体部分(羌塘高原)冬季为冷高压, 夏季为热低压; 在近地面层的山谷风层之上, 气流有相反性年变化, 形成“高原季风”。1979 年汤懋苍等公开发表了 2 篇论著<sup>[3-4]</sup>, 分析了高原季风的结构及其气压场、降水场和温度场的平均特征, 此后“高原季风”的概念开始受到人

们的关注。1983 年汤懋苍等对美国西部高原分析, 发现它与青藏高原相仿, 亦存在高原季风现象<sup>[5]</sup>, 其基本特征与青藏高原季风一致。从此高原季风开始得到国际同行的承认。数值模拟结果显示, 夏季青藏高原的加热作用形成了热低压和高原季风<sup>[6]</sup>。这样“高原季风”从事实分析和模拟试验 2 方面均得到了确认。

在汤懋苍研究的基础上, 20 世纪 90 年代以来, 再次掀起了高原季风研究的热潮。这一时期的工作主要集中在高原季风的变化特征及其气候效应方面。马振锋等<sup>[7-10]</sup>开展了热带海温变化与高原季风发展、高原季风强弱对南亚高压活动的影响、高原季风年际变化与长江上游气候变化的联系、高原季风对高原东侧初夏旱涝异常的影响等一系列研究, 得出了许多有意义的结论。白虎志等<sup>[11-13]</sup>分析了高原季风对西北降水的影响, 并总结了近 40 a 高原季风变化的主要特征, 确定了高原季风开始和结束的时间, 以及高原季风与北半球大气环流的关系。随后又研究了高原季风与高原雨季的联系, 及其与我国降水和气温的关系。这一系列的研究对高原季风的研究起了很大的推动作用。

## 1 高原季风主要研究成果

### 1.1 高原季风概念及其基本特征

收稿日期: 2007 - 10 - 30; 改回日期: 2007 - 11 - 22

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2003CB415201 - 6), 中国气象局气候变化专项(CCSF2007 - 23), 青藏高原及临近地区水循环中大气过程的气候特征研究(BROP200702), 江苏省气象灾害重点基金项目(KLME050210)共同资助

作者简介: 齐冬梅(1983 - ), 女, 汉, 云南人, 硕士研究生, 主要从事高原气候研究。E-mail: qidongmei1983@163.com

高原季风的概念提出后,开始了高原季风研究的热潮。这一阶段主要研究成果被收集在《青藏高原气象学》中<sup>[4]</sup>。书中详细描述了高原季风的概念,高原季风现象的特征及其对天气气候的影响。书中指出:高原季风最明显的特征是随着青藏高原冷热源性质和强度的季节演变,气压场也发生明显的季节演变,与气压场相适应的风场也要发生显著的季节演变。夏季高原四周的风向高原辐合,冬季从高原向外辐散。高原季风发生在对流层中部,作用非常重要。通过它加强对流层低层季风,破坏了对流层中空的行星气压带和行星风带,形成这一地区的各种天气气候特征。汤懋苍等<sup>[3]</sup>也对高原季风的定义进行了描述,指出在对流层中下层,冬季为冷高压,夏季为热低压。与此气压系统相适应,在高原周围有一冬夏盛行风向相反的季风层存在。该季风层与(印度的)西南季风和(我国东部的)东南季风之间都有明显的气候平均界线。1984年汤懋苍等<sup>[14]</sup>再次明确指出高原近地层气压场上冬、夏具有相反性年变化是高原季风最主要的特征之一,在600 hPa高度距平图上表现最为清楚。

### 1.2 高原季风指数及高原季风的年际、年代际变化

季风指数是衡量季风强弱的1个标准,也是研究季风年际变化所必须的,因此高原季风指数的定义是关于高原季风研究的基本问题。1984年汤懋苍等制作出了历年逐月600 hPa高度距平图,以 $90^{\circ}\text{E}$ 、 $32.5^{\circ}\text{N}$ 为高原地形的中心点,取 $80^{\circ}\text{E}$ 、 $32.5^{\circ}\text{N}$ 、 $90^{\circ}\text{E}$ 、 $25^{\circ}\text{N}$ 、 $100^{\circ}\text{E}$ 、 $32.5^{\circ}\text{N}$ 、 $90^{\circ}\text{E}$ 、 $40^{\circ}\text{N}$ 这4个点分别代表高原的西、南、东和北部,从逐月距平图上读出各点的距平值,将 $PMI = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 - 4H_0$ 定义为高原季风指数。其中正指数大,表示高原夏季风强(或冬季风弱);负指数绝对值大表示高原冬季风强(或夏季风弱)。这种制作600 hPa高度场的方法工作量颇大。1995年汤懋苍等<sup>[15]</sup>取噶尔、茫崖、班玛、帕里4站代表西、北、东、南4点,那曲代表中心点,利用压高公式求出各站600 hPa的高度距平,再计算高原季风指数。2001年白虎志等<sup>[12]</sup>以汤懋苍提出的高原季风指数为基础,利用压高公式求出高原周围4点和中心点的历年逐日600 hPa高度 $H_0$ ,计算 $PMI = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 - 4H_0$ 的值代表高原日季风强度指数。通过高原日季风指数的计算,初步确定了1961~1995年逐年季风开始和结束的时间,两者呈反相关关系。

汤懋苍等<sup>[14,15]</sup>通过对高原季风指数的计算,初

步分析了高原季风的年际、年代际变化特征。他们指出高原季风有一定持续性,这种长期持续对气候异常的影响很明显。另外,高原季风指数存在94个月(约8 a)的显著周期。并将20世纪高原季风的变化分为3个阶段:1966以前是高原季风强盛期,1967~1983年是季风弱期,1984年以后又转为季风强期。在分析其变化原因时指出高原季风的年代际变化与高原气温和降水关系密切,凡季风强期气温高,降水多;季风弱期相反。并由此推测的高原季风有3个强期,3个弱期。平均每期持续时间为17 a,或者说高原季风有一个34 a左右的转换周期。在探讨年代际振荡原因方面,作者提出:当岩石圈向青藏高原放出的热量更多时,高原季风就增强;反之高原季风就减弱。此外,强季风时段与自转加快相对应,弱季风时段与自转减慢对应。并进一步设想,高原季风的年代际振荡的根本原因似乎应从地核环流中寻找。

董安祥等<sup>[16]</sup>利用奇异谱分析等方法,分析了青藏高原季风的气候振荡。指出自20世纪60年代以来,季风指数增长趋势明显,高原夏季风在增强,冬季风在减弱;自1961年以来,春夏秋和年高原季风指数在1985年发生突变,由偏弱转为偏强;另一个突变点是1970年。之后,白虎志等<sup>[12]</sup>分析了高原季风的年代际变化特征,指出20世纪60年代和80年代初,高原及东亚冬季风偏强,其余年代冬季风变化趋势偏弱;60年代到80年代中期高原和东亚夏季风偏弱,其余年代夏季风偏强趋势明显。近30多a来,季风强度有2次转换期,第1次大约在1968年,另外1次是在1984年。与汤懋苍等<sup>[14,15]</sup>得出的结论大致相同。

### 1.3 高原季风与东亚季风、南亚季风的相互关系

白虎志等<sup>[12]</sup>分析了高原季风与500 hPa高度场及东亚季风强度的关系后指出:高原冬季风强(弱)与高原及乌拉尔山500 hPa高度场偏高(低)以及东亚季风偏强(弱)相联系;高原夏季风偏强(弱)与贝加尔湖至高原南部500 hPa高度场偏低(高)、西亚和中国东部高度场偏高(低)以及东亚季风偏强(弱)相联系。

1999年,卫捷等<sup>[17]</sup>分析了近50 a来南亚季风、东亚季风以及高原季风的相互关系,并对其与太阳黑子周期长度(SCL)和地球自转速度( )的关系进行了讨论。指出3种亚洲季风虽然在年际变化上相关不好,但在年代际变化上具有很好的一致性;亚

洲季风的年代际变化与 SCL 和 均相关很好,其中以与 关系最好,且 的变化超前亚洲季风的变化。并对日地因子的短期变化如何影响亚洲季风年代际振荡提出了初步看法。与汤懋苍<sup>[15]</sup>之前提出的观点相呼应。

从大的方面讲高原夏季风是在东亚对流层低层夏季风的背景上形成的;从区域范围讲,接近高原的华西地区,深厚的夏季风层是青藏高原夏季风和对流层低层季风叠加的结果<sup>[18]</sup>。汤绪等<sup>[19]</sup>指出,当青藏高原夏季风活跃,其上为低压系统,其东侧维持偏南气流,有利于引导和加强印度夏季风从孟加拉湾北上;反之,当青藏高原夏季风中断,其上为高压系统,其东侧维持偏北气流,有利于阻挡和削弱印度夏季风从孟加拉湾北上。

#### 1.4 高原季风对我国天气、气候的影响

高原季风与高原降水的关系密切,由于高原夏季风的气流方向不一样,高原内部东南多雨、西北干旱。高原东南部,盛行偏南风,空气潮湿,西北部,盛行偏北风,空气干燥。从降水量的年变化看,随着高原夏季风的建立(平均在5月),高原东侧雨量开始大增。随着高原冬季风建立(平均在10月),高原东侧雨量大减。高原以西地区则雨量大增,雨季相继开始<sup>[3]</sup>。汤懋苍<sup>[20]</sup>认为:夏季高原天气可分为2大型,其一是高原季风活跃型,这时低层500 hPa以下的季风低压和切变线活动频繁,为高原的多雨期;其二是高原季风中断型,这时500 hPa以上常表现为伊朗高压东移或太平洋高压西伸控制高原,高原天气晴朗少雨。1993年,汤懋苍<sup>[21]</sup>回顾了关于“高原季风”的研究,指出高原季风是高原气候形成的主宰者,是高原的热力作用转化为动力作用的高效率杠杆。指出高原冬季风区的面积与高原夏季风区近乎相等,2区的分界线在青藏高原的西部边界上,高原主体的绝大部分位于夏季风区中。在历史气候变化的研究中发现:高原以东的东亚地区常常是暖与湿(冷与干)同相,而高原以西的中亚地区常常是暖与干(冷与湿)同相。

在高原季风与华西秋雨的关系方面,高由禧等<sup>[22]</sup>指出,高原季风的东界大致在110°E附近,我国南方的“秋高气爽”和“秋雨绵绵”2大气候现象的分界线,就是高原季风与东南季风的分界线。秋季时,东南季风已经退出我国大陆,故长江中下游表现为“秋高气爽”,而高原夏季风仍活动在高原东侧,故华西表现为“秋雨绵绵”。初夏梅雨仅出现在

长江中下游,四川没有梅雨,也是东南季风与高原季风的建立不同步之故。之后,汤懋苍等<sup>[14]</sup>研究了高原季风与华西降水的关系,得出结论:夏季风强年,对应华西降水是多雨年;夏季风弱年,对应华西降水是少雨年。并指出若以90°E为界将高原分为东、西2半部,则夏季风强年降水分布为“西少东多”,夏季风弱年降水分布为“西多东少”。高原西部与东部降水的反相关关系很明显。

高原季风是高原邻近地区气候形成变化的主宰者。由于高原季风的建立大大破坏了原来准纬向的气候带,使高原东、西2边,以及南、北2侧气候出现了巨大的差异。高原冬季风增强了高原周围的反气旋式环流,从而使高原东侧受到来自北方大陆性气团的偏北气流控制,结果在那里形成了干燥寒冷的冬季气候;高原西侧受到来自低纬海洋性气团的偏南风影响,造成相对温和潮湿的冬季气候。夏季的情况正好相反,对流层低层环绕高原的气旋式环流大大增强,于是在高原东南侧形成潮湿气候,而在高原西北侧形成干旱气候<sup>[23]</sup>。由于高原季风的作用,使高原东南侧和西北侧形成了相反的气候特征,促使人们进一步研究其对高原东南、西北2侧地区天气、气候的不同影响。

白虎志等通过对高原季风指数与西北地区月降水量遥相关关系的分析,论述了1月份高原冬季风指数与西北地区年降水和夏季月降水相关显著。6月高原季风指数对西北夏季月降水量的影响也最明显。指出高原季风异常可能与高原下垫面热力异常有关,从而推测冬季风异常通过高原这个巨大的热载体从而影响夏季风异常。高原强冬季风对应高原地区干冷天气,高原积雪较少,这使得夏季高原热力较强,夏季风较强;反之,夏季风较弱。

2002年,马振锋等<sup>[7]</sup>探讨了热带太平洋、印度洋海温等环境场变化与高原季风发展的联系。揭示了春季孟加拉湾和南海以及西太平洋暖池附近海表增温、赤道东太平洋降温有利于高原夏季风发展。高原夏季风发展时,表现拉尼娜特征;高原夏季风减弱时,表现厄尔尼诺特征。2003年马振锋<sup>[8]</sup>分析了高原季风强弱对夏季南亚高压活动和三峡库区旱涝的影响,指出高原夏季风偏强(弱),青藏高原上空及其以东地区100 hPa南亚高压也偏强(弱),位置偏北偏东(偏南偏西)。高原季风强年,南亚高压脊线6月北跳比多年平均早1候,8月南撤晚1~2候;高原季风弱年,脊线北跳晚1~2候,南撤早1

候。同时显示了高原夏季风强年,5~6月三峡库区降水随着南亚高压脊线北移而增多,7~8月三峡库区降水减少;高原夏季风弱年,主汛期前期库区降水少,后期降水略有增多。同年,马振锋等<sup>[9]</sup>研究了高原夏季风和长江上游夏季气温及降水的时间—频率多层次年际时间尺度变化特征。结果表明:高原夏季风、长江上游夏季气温和降水均存在明显的阶段性变化特征,而且它们的变化趋势有一定联系;高原夏季风、长江上游夏季气温和东、西部降水三者存在共有的显著性振荡周期,如准 2 a、准 3 a、准 6~8 a 和准 22 a 等时间尺度;高原夏季风的年代际变化与长江上游夏季气温和降水年代际变化存在显著的关联,表明高原季风年代际变化对长江上游气候变化有显著影响。之后,马振锋等<sup>[10]</sup>对初夏青藏高原季风和东亚季风环流异常进行了分析。他们指出高原季风对初夏盆地降水异常的影响是诸多因素中最为显著者之一。干旱年,高原加热弱,低层高原季风低压偏弱或尚未建立,高层青藏高原亦偏弱,位置偏西。多雨年,高原加热强,低层高原季风低压相对偏强,高层青藏高原亦偏强,位置偏东。此外,高原季风与东亚季风有密切联系。高原季风不仅影响四川盆地初夏的降水,而且与我国东部东亚季风区降水有联系。

2005年,白虎志等<sup>[13]</sup>研究了高原季风的特征与我国气候异常的联系。认为青藏高原夏季低压形成的时间若提前,强度也呈增强趋势;夏季高原高度场指数与我国台站降水的相关分布从华北到华南呈“- + -”东西向带状分布;冬季高原高压强度指数与同期气温均为正相关。

### 1.5 关于高原隆升的不同阶段与高原季风形成、演化的关系

1993年,汤懋苍<sup>[21]</sup>指出,形成高原季风体系的必要条件之一是高原的水平垂直尺度必须 > 临界尺度。即:水平尺度需 > 斜压大气地转适应的临界尺度,对中纬度地区大致是 800 km;垂直尺度需 > 水汽的凝结高度(一般是 1.5~2 km)。并据此将高原隆起前的季风环流分为 3 个时期:无高原季风期;高原季风始现期;高原季风稳定期。2 a 后,汤懋苍和刘晓东<sup>[24]</sup>提出了将深厚高原季风的开始形成作为第四纪开始的标志。并指出,在高原隆起过程中,高原季风也是逐步发展的。当高原隆起的水平尺度超过斜压大气地转适应的临界尺度时,高原热力作用所形成的气压场才能维持,风场向气压场调整。

由于冬、夏季高原大气具有反向的热力作用,于是形成 1 种浅薄的高原季风,估计浅薄高原季风形成的时间在渐新世初。高原季风稳定出现的时间大约在上新世末和第四纪初期。说明了深厚高原季风形成后对全球气候的重要影响,其一是明显降温,其二是非洲变干。

2001年,鹿化煜等<sup>[25]</sup>对高原季风气候历史进行了研究。通过对西宁黄土堆积进行了观察分析研究,测量了一系列古气候代用指标。指出高原夏季风和冬季风变化存在位相差以及冬季风强的时候夏季风不一定弱,夏季风弱的时候冬季风不一定强的变化模式。

对高原季风的万年尺度振荡,汤懋苍<sup>[26]</sup>归纳出,亚洲低(高)温期—青藏高原冰雪面积大(小),亚洲各高原植被差(好),地表反照率变大(小);夏半年热低压弱(强)—亚州夏季风弱(强)—高原东部及东亚、南亚变干(湿);冬季冷高压强(弱)—高原冬季季风强(弱)—中亚及伊阿高原变湿(干)。

## 2 高原季风研究的科学意义

青藏高原季风发生在对流层中部,虽然只是行星边界层的现象,在盛夏厚度最大不过离地面 2~3 km,但其作用非常重要。它是亚洲对流层低层季风和对流层高层行星风系之间的作用纽带。通过它加强对流层低层季风,破坏了对流层中空的行星气压带和行星风带,形成这一地区的各种天气气候特征。特别是在夏季改变了高原地区副热带高压的性质,并加强了南北半球间的季风现象和南北半球间空气、水分、动量和能量的交换。因此,加强高原季风的研究非常必要。

冬夏高原季风季节建立的早迟、强度的强弱、中心位置的偏移和高低压范围的大小,会使青藏高原季风和我国冬夏季风反常,进而形成我国天气气候的反常。因此,高原季风的季节演变是我国中长期天气预报应当考虑的 1 个主要因子。

高原季风的强弱,对高原季风区的旱涝有很大影响。季风活动的范围决定了雨带位置,而季风的强度则又影响到季风雨量大小。位于青藏高原东侧的长江上游地区,地形复杂,既受东南季风和西南季风的影响,又受青藏高原季风的控制。每年夏半年,特别是汛期旱涝、高温和冷害等灾害频繁发生,不仅对长江上游地区的国民经济和人民生活造成严重危害,而且对长江中下游地区也产生显著影响。因此,

高原季风对我国区域旱涝的重要影响是关系到国民经济协调发展的 1 个重大问题。

总之,高原季风是亚洲地区的 1 种重要的季风现象。分析其发生发展规律及其异常变化与东亚、南亚季风的本质联系,对于深入认识季风的形成、变化、异常及其影响都有重要的理论意义。另外,开展对高原季风的分析,掌握其变化规律对开展西南地区短期气候预测,尤其是异常旱涝冷暖等灾害预测,促进经济繁荣、社会发展都具有重要的现实意义。

### 3 高原季风研究展望

从以上的回顾可见,人们早已认识到对高原季风研究的重要性,并从其基本特征、指数定义、年际和年代际变化、与东亚大气环流及气候异常的联系等方面进行了研究,取得很多有意义的结果。然而,要深刻全面的认识高原季风的演变机理及其与周围大气环流和各种天气系统的相互作用,还需要进一步加强几方面的研究:

(1)过去高原季风指数的定义都是以汤懋苍定义的指数为基础,主要从高度场角度出发。但是,随着国际上一些新的再分析资料的出现,在一定程度上弥补了青藏高原地区资料的缺乏,可以考虑用不同方法丰富高原季风指数的定义,使季风指数的定义更全面充分。从而能够更好更深入地研究高原季风;

(2)过去的研究多在于揭示高原季风现象,而在高原季风的物理成因影响因子等方面的研究较薄弱。研究的重点可在一些与大气环流、中国气候的相关分析基础上,深入探讨其影响气候异常的物理机制;

(3)高原季风对西南地区旱涝异常的研究有待于进一步加强。因为西南地区属于高原的东南侧,其上空环流的异常也会造成西南地区天气、气候变化的异常。可加强高原季风对华西秋雨影响方面的研究。通过夏季高原季风强弱的分析,从而预测华西秋雨的变化。这对于开展西南地区的短期气候预测是非常有意义的。

#### 参考文献:

- [1] 叶笃正,罗四维,朱抱真. 青藏高原及其周围的流场结构和对流层大气的热量平衡 [J]. 气象学报, 1957, 28(2): 108 - 121.
- [2] 徐淑英,高由禧. 西藏高原的季风现象 [J]. 地理学报, 1962, 28(2): 111 - 123.

- [3] 汤懋苍,沈志宝,陈有虞. 高原季风的平均气候特征 [J]. 地理学报, 1979, 34(1): 33 - 41.
- [4] 叶笃正,高由禧. 青藏高原气象学 [M]. 北京:科学出版社, 1979. 62 - 73.
- [5] Tang Maocang, Reiter E R. Plateau monsoons of the Northern Hemisphere [J]. Monthly Weather Review, 1984, 112(4): 617 - 637.
- [6] Kuo H L, Qian Y F. Influence of Tibetan Plateau on cumulative and diurnal changes of weather and climate in summer [J]. Monthly Weather Review, 1981, 109(11): 2337 - 2356.
- [7] 马振锋,高文良. 热带海温变化与高原季风发展 [J]. 应用气象学报, 2002, 13(4): 440 - 447.
- [8] 马振锋. 高原季风强弱对南亚高压活动的影响 [J]. 高原气象, 2003, 22(2): 143 - 147.
- [9] 马振锋,高文良. 青藏高原季风年际变化与长江上游气候变化的联系 [J]. 高原气象, 2003, 22(增刊): 8 - 16.
- [10] 马振锋,高文良,刘富明,等. 青藏高原东侧初夏旱涝的季风环流分析 [J]. 高原气象, 2003, 22(增刊): 1 - 7.
- [11] 白虎志,谢金南,李栋梁. 青藏高原季风对西北降水影响的相关分析 [J]. 甘肃气象, 2000, 18(2): 10 - 12.
- [12] 白虎志,谢金南,李栋梁. 近 40 年青藏高原季风变化的主要特征 [J]. 高原气象, 2001, 20(1): 22 - 27.
- [13] 白虎志,马振锋,董文杰. 青藏高原地区季风特征及与我国气候异常的联系 [J]. 应用气象学报, 2005, 16(4): 484 - 491.
- [14] 汤懋苍,梁娟,邵明镜,等. 高原季风年际变化的初步分析 [J]. 高原气象, 1984, 3(3): 75 - 82.
- [15] 汤懋苍. 高原季风的年际振荡及其原因探讨 [J]. 气象科学, 1995, 15(4): 64 - 68.
- [16] 董安祥,李栋梁,白虎志,等. 青藏高原季风的气候振荡和预测试验 [J]. 甘肃科学学报, 2000, 12(1): 22 - 28.
- [17] 卫捷,汤懋苍,冯松,等. 亚洲季风年代际振荡及与天文因子的相关 [J]. 高原气象, 1999, 18(2): 179 - 184.
- [18] 汤懋苍,程国栋,林振辉. 青藏高原近代气候变化及对环境的影响 [M]. 广州:广东科技出版社, 1998. 163 - 169.
- [19] 汤绪,孙国武,钱维宏. 亚洲夏季风北边缘研究 [M]. 北京:气象出版社, 2007. 88 - 94.
- [20] 汤懋苍. 夏季高原季风中断过程长短的一些热力学判据 [J]. 高原气象, 1984, 4(2): 181 - 184.
- [21] 汤懋苍. 高原季风研究的若干进展 [J]. 高原气象, 1993, 12(1): 95 - 101.
- [22] 高由禧,郭其蕴. 我国的秋雨现象 [J]. 气象学报, 1958, 29: 264 - 273.
- [23] 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, 1998, 18(3): 321 - 331.
- [24] 汤懋苍,刘晓东. 一个新的划分第四纪的标志——高原季风演变的地质环境后果 [J]. 第四纪研究, 1995, 1: 82 - 88.
- [25] 鹿化煜,马海州,谭红兵,等. 西宁黄土堆积记录的最近 13 万年高原季风气候变化 [J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 416 - 426.
- [26] 汤懋苍. 青藏高原季风的形成、演化及振荡特性 [J]. 甘肃气象, 1998, 16(1): 1 - 14.

## The Major Progress of the Plateau Monsoon Study and its Scientific Significance

QI Dongmei, LI Yueqing

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, CMA, Beijing 100081, China;  
2. Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu 610071, China)

**Abstract:** Monsoon is a popular subject in the field of meteorology and has been studied for centuries. Analysis shows that the Asian monsoon system can be categorized into three relatively independent sub-systems, including South Asian monsoon, East Asian monsoon, and plateau monsoon. This paper summarizes the study achievements on plateau monsoon, and it analyzes the characteristics of the plateau monsoon at different research stages. In addition, it points out that the future study should be focused on a better definition about plateau monsoon index and the physical causes of the plateau monsoon change.

**Key words:** plateau monsoon; plateau climate; plateau monsoon index

---

(上接第 73 页)

## Preliminary Summary on Radiative Properties and Observation

### Methods of Dust Aerosol

WANG Na<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Lei<sup>1,2</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000; 2. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 3. Shaanxi Climate Center, Xi'an 710014, China)

**Abstract:** Dust aerosol plays more and more important role in the global as well as regional climate and environment change. Dust aerosol affects the earth climate by sun umbrella effect, ice core effect and iron fertilization effect. The climate effect and observation methods of dust aerosol is introduced in this paper.

**Key words:** dust aerosol; aerosol size distribution; aerosol optical depth; radiative forcing