

# Analysis of Monthly Variation Characteristics of Summer Monsoon Precipitation in India

Jiale Li

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan  
Email: lijialecuit@outlook.com

Received: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2019; accepted: Nov. 7<sup>th</sup>, 2019; published: Nov. 14<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

The study looked at monthly trends (June-September) of summer monsoon precipitation in Indian between 1980 and 2017. The results show that the monthly precipitation in summer varies greatly in India, and the monthly trend varies significantly in different regions of India. In June, precipitation dropped significantly in the newly monsoon region along the southwest coast of India, while it rose in the same region in the northeast. In July and August, Indian summer monsoon precipitation reached its strongest, gradually forming a unique trend of decreasing from north to south in the southwest coast region of India. The precipitation began to decrease in September, and the trend was also downward. This study concludes that the monthly change of summer precipitation is caused by the change of the low pressure in the Indian continent and the related water vapor flux divergence, vorticity and the vertical movement of the lower layer, and the seasonal trend analysis does not reveal the actual law of the monthly trend of summer monsoon precipitation in India.

## Keywords

India Summer Monsoon, Precipitation, Regional Differences, Month Trend, Factors

---

## 印度夏季风降水的月变化特征分析

李家乐

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

收稿日期: 2019年10月23日; 录用日期: 2019年11月7日; 发布日期: 2019年11月14日

---

## 摘要

本文观察了1980~2017年的6月至9月印度夏季风降水的月趋势。结果显示, 印度夏季各月之间的降水有

很大差异,并且在印度不同降水量区域的月趋势有显著的差异。6月份在季风刚形成的区域,即印度西南海岸降水量有显著下降趋势,而在印度东北部降水量同等区域呈现上升趋势。在7月和8月印度夏季风降水达到最强,逐渐在印度西南海岸区域形成由北向南减少的独特趋势。9月降水量开始减少,趋势也呈下降状态。该研究进一步说明印度夏季风降水的月变化是由于印度大陆低压的变化以及与之相关的水汽通量散度、涡度以及低层垂直运动造成的,季节趋势分析并没有揭示印度夏季风降水月趋势的实际规律。

## 关键词

印度夏季风, 降水, 区域差异, 月趋势, 影响因素

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

印度夏季风降水一般是指印度每年 6~9 月份由西南季风带来的降水,降水主要由索马里急流从南印度洋携带来的水汽和阿拉伯海洋面蒸发的水汽产生。它是南亚气候系统中一个极其重要的组成部分,对该地区人们的生产和生活产生巨大的影响。近年来,印度季风降水的变化越来越受到人们的重视。国内外学者对印度季风降水的渤海特征进行了长期研究。Singh [1]等和 Guhathakurta 等[2]的研究都发现在印度的不同地区夏季风降水有增加或减少的长期变化趋势,且表现出较大的时空变化性。Jin [3]指出印度东北部的降水量呈下降趋势,而印度西海岸北部的降水量呈上升趋势。此外,研究也发现西南季风降水趋势在印度西高止山脉呈现出不同变化趋势,即在印度北部地区某些区域降水有增多趋势,而在印度西高止山脉南部地区有减少的趋势[4] [5]。此外,对印度夏季风降水的季节内变化的研究也发现印度夏季风存在三个时间尺度的周期,分别为天气尺度的波动为 2 到 6 天,准两周波动为 12 到 16 天,低频振荡为 30 到 60 天[6] [7]。印度夏季风降水的影响因子研究也发现印度夏季风降水与 ENSO 事件、跨赤道气流、海面气压、陆面温度以及欧亚积雪等大气环流现象存在较为密切的关系[8] [9] [10]。肖海平[11]等的研究认为印度夏季风降水与中国江南降水有一定的关联。杨向东[12]等发现印度夏季风降水量受青藏高原积雪的影响很大。

此外,印度夏季风降水的发生发展主要是由印度大陆和印度洋之间的海陆热力差异所决定的。研究表明印度东部中部和北部地区降水量的下降趋势与印度洋变暖和次大陆温和变暖之间海陆热力差异的减弱有关[13]。也有研究得出结论,尽管季风环流减弱,印度夏季风降水并没有在模型和观测中显示出任何显著的趋势[14]。同时,印度夏季风平均降水量与极端、中等降水事件的变化对应关系并不明显[15]。

本文利用 NCEP/NCAR1980~2017 年月平均再分析资料对印度夏季风降水及其对应的大气环流的时空变化趋势进行分析,以揭示印度夏季风降水的基本特征,从而加深对印度夏季风和降水的理解。

## 2. 资料

所用资料为美国气象环境预报中心和美国国家大气研究中心(NCEP/NCAR)月平均再分析资料,其空间分辨率为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ,要素包括垂直速度、水平速度、降水率、比湿、海平面气压、位势高度、相对湿度以及温度[12]。NCEP/NCAR 再分析数据集是由美国气象环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)联合制作,采用了当今最先进的全球资料同化系统和完善的数据库,对各种来源(地面、船舶、

无线电探空、测风气球、飞机、卫星等)的观测资料进行了质量控制和同化处理,得到了一套时间尺度上,要素完整的再分析资料集,为研究气候变化和天气尺度天气过程提供了良好的条件,并能为中尺度数值模式及区域气候模式提供初始场和侧边界条件。

### 3. 夏季风降水分析

#### 3.1. 印度夏季风降水气候态和季节趋势

图 1 为 1980~2017 年印度夏季风降水的季节(6~9 月)平均和变化趋势的空间分布。从 6~9 月的季节平均降水量图(图 1(a))可见,在印度西南海岸和东北部的西南和东北地区存在超过 15 mm/day 的强降水,而在印度西南海岸、印度东北部的中部则有>10 mm/day 的强降水区域。印度东北部中部、中部大部分地区和西部和北部部分地区主要为中等降水量(5~10 mm/day)。印度西北部干旱至半干旱地区和西部高止山脉东部地区的降水量较少(<5 mm/day)。与印度其他地区相比,印度西南海岸和东北地区在夏季降水较为充沛。图 1(b)为印度 6~9 月降水量线性趋势空间分布。从图中可见,在中强降水地区呈现出很大差异,即在印度东北部强降水地区呈现出下降,而在印度西南海岸典型的强降水地区由北向南呈现出逐渐下降的趋势。同样,印度降水量的季节性降水趋势在中等较弱降水地区也呈现出很大差异,降水趋势显著增加发生在印度的西北部地区和北部地区,其他地区降水趋势并不显著。

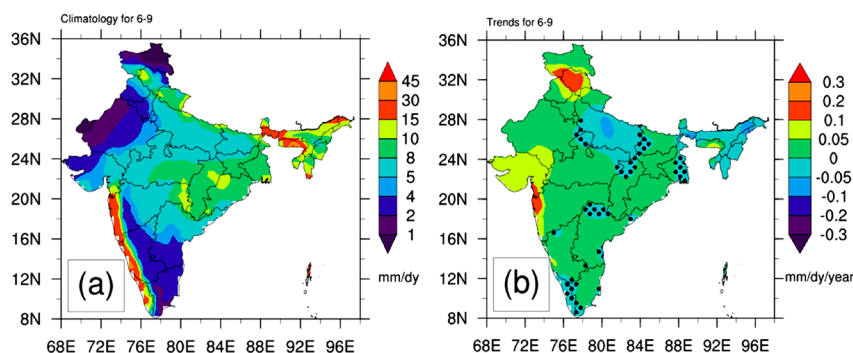


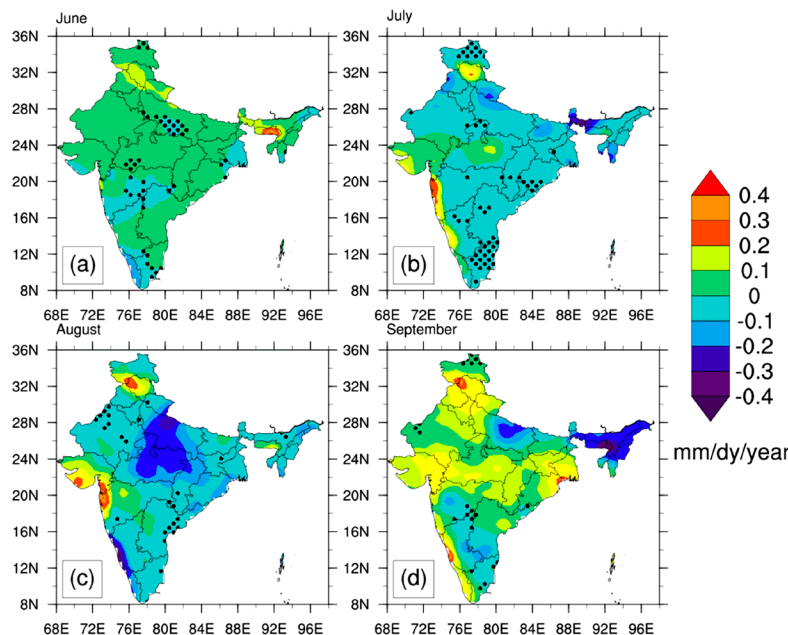
Figure 1. Spatial distribution of climate mean and linear trend of India summer precipitation  
图 1. 印度夏季降水的气候态空间分布及线性趋势

#### 3.2. 印度夏季风降水的逐月趋势

印度夏季降水量的逐月线性趋势空间分布如图 2 所示。6 月(图 2(a))在印度东北地区 and 北部地区存在明显降水量增加趋势,而印度南部与中南部地区则呈现出一定的降水减少趋势。印度北部中部地区在 7 月降水量趋势较 6 月有显著增加(图 2(b)),而在印度东北部的西南部降水则存在反向变化趋势。与此同时,印度西南海岸的典型强降水区与印度半岛中部地区都表现出一定的降水增加趋势。到 8 月(图 2(c)),印度西海岸和北部地区降水量的线性趋势进一步明显,尤其是在印度的西南沿海 16°N 以南地区的降水明显减少,而 16°N 以北的降水则明显增加,形成了由北向南趋势逐渐减少的变化特征。印度中部地区 8 月降水量的线性趋势显著减少。9 月印度降水量呈增加趋势的范围相较前三个月明显扩大(图 2(d)),印度的西海岸和北部地区及 22°N 周边地区也表现出显著的增加趋势。另一方面,印度东北部地区降水量显著减少,且范围最大,强度最强。

由图 2 还可发现,在印度东北部和西南沿海强降水地区,降水的线性趋势差异明显。印度东北部降水呈现明显的下降趋势。此外,东北地区降水量存在明显减少趋势的月份仅集中在 7~9 月,且 9 月下降趋势最为明显;而在印度东北部部分地区在 6 月降水量显著增加。在印度西南海岸典型的强降水地区由

北向南呈现出逐渐下降的趋势。同时，整个印度西南海岸在6月都呈现下降趋势，而7月和9月有明显的增加趋势，且8月降水的线性趋势与整体趋势最为相近。整体上，无论在6~8月降水量的线性趋势都在16°N附近存在较大差异。印度中等到低降水量地区的月降水量渤海趋势也存在一定差异。



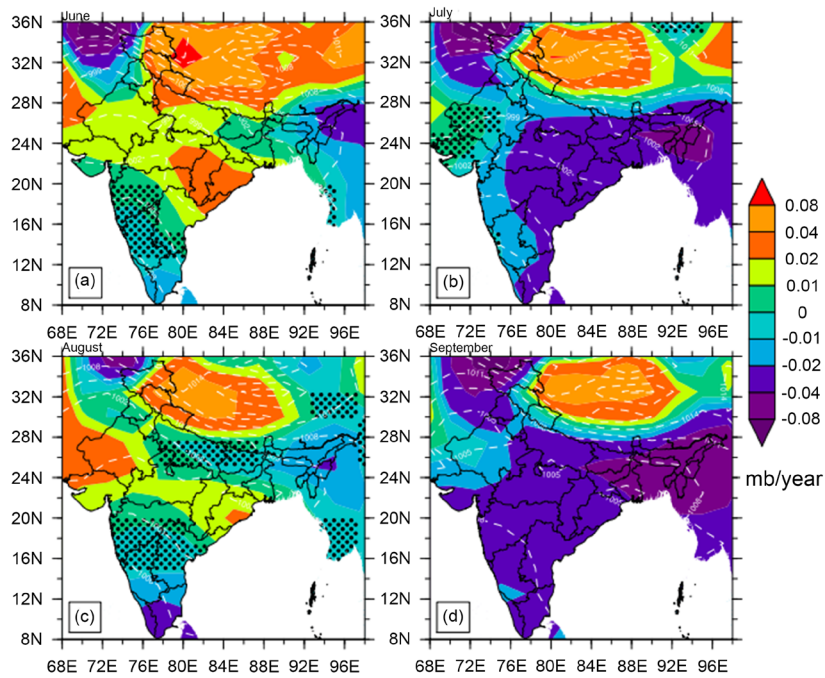
**Figure 2.** Spatial distribution of linear trend of India precipitation from June to September  
**图 2.** 1980~2017 年印度 6~9 月降水量线性趋势空间分布

### 3.3. 海平面气压和季风槽强度的变化特征

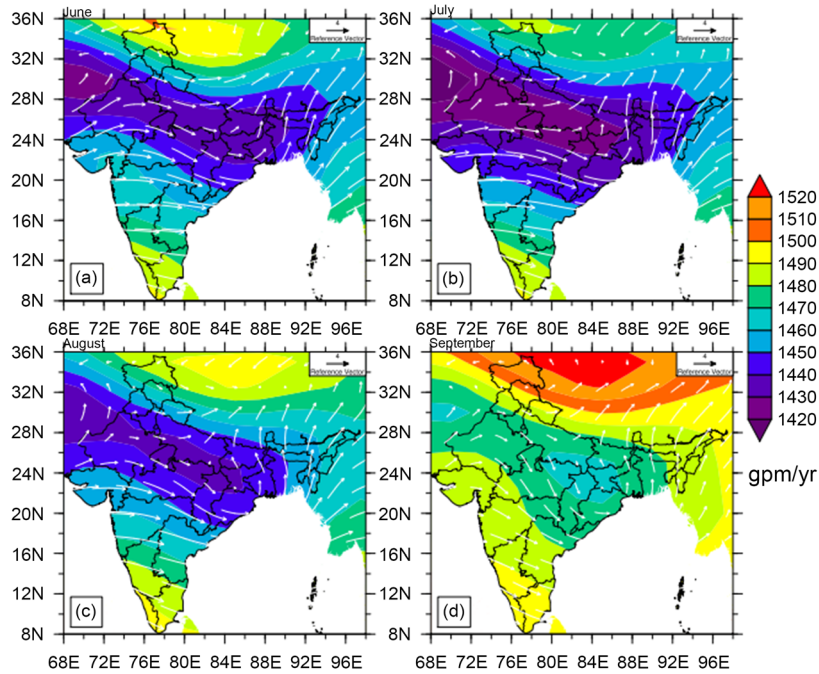
图 3 为 1980~2017 年 6~9 月海平面气压气候特征及线性趋势。从 6~9 月海平面气压的气候态来看，6 月(图 3(a))印度大陆上长期存在着两个低气压，一个位于印度西北部，且该处气压最低。7 月(图 3(b))低压范围东伸扩大。8 月(图 3(c))和 9 月(图 3(d))开始气压减弱，低压范围收缩；另一处位于印度东北部，低压强度在前三个月变化不大，在 9 月逐渐转为高压，位置缓慢东移。从逐月海平面气压的线性趋势来看，6 月(图 3(a))和 8 月(图 3(c))线性趋势的空间分布较为类似，都表现为印度西北地区与东南显著增强，印度东北和南部地区显著减弱的模态，且 8 月显著性更强。另外，7 月(图 3(b))和 9 月(图 3(d))印度地区海平面气压的线性趋势主要表现为下降趋势。由于平均海平面气压存在明显的月变化，因而会影响印度地区上空环流形式变化，从而影响水汽输送和垂直运动等变化，进而影响降水。

### 3.4. 低层大气环流的变化特征

图 4 为 1980~2017 年 6~9 月 850 hPa 位势高度和风矢量图。由图可见，平均位势高度在 6 月、7 月、8 月、9 月份表明，印度大陆上空普遍存在着低压，在 6 月份，低压中心位于印度西北部，到 7 月份低压逐渐向东加强，范围扩大，低压中心进一步加强；8 月份时低压逐渐减弱，范围收缩；9 月份时低压进一步减弱，并分为两个弱低压。同时，印度以北地区存在长期型高压，在 7 月份减弱，8 月和 9 月份逐渐加强。从风矢量的空间分布来看，前三个月份风速较强，9 月份风速逐渐减弱，且在印度半岛大部分区域主要以西风为主，印度东部以南风为主，风向的月际变化不大。此外，印度南部风速较北部风速更大，且在印度北部存在较为明显的辐合区，有利于印度洋上的暖湿空气从低空输送到印度大部分区域，为印度降水提供了充足的水汽条件。



**Figure 3.** Spatial distribution of climate mean and linear trend of sea level pressure from June to September  
**图 3.** 1980~2017 年 6~9 月月平均海平面气压气候态及线性趋势空间分布



**Figure 4.** Spatial distribution of climate mean of geopotential height and wind vector from June to September  
**图 4.** 1980~2017 年 6~9 月月位势高度和风矢量空间分布

### 3.5. 水汽的变化特征

#### 3.5.1. 相对湿度的气候态

图 5 给出了 1980~2017 年 6~9 月 850 hPa 相对湿度的空间分布。图 5(a)表明了 6 月相对湿度在印度东

北部和西海岸地区较大，特别是在印度东北部北部喜马拉雅山一带存在相对湿度的最大值，而印度西北部水汽相对湿度小；7月时(图 5(b))，整体印度地区的相对湿度都有所增加。具体而言，印度西海岸地区和北部沿边界一带水汽相对湿度增加最为明显；到8月(图 5(c))，印度西海岸地区的相对湿度有所减小，印度东北地区北部相对湿度变化不大，但印度中部部分区域有明显增加；在9月时(图 5(d))，印度地区相对湿度整体上明显下降，但印度东北地区北部的相对湿度相对较大。整体来看，印度地区相对湿度在7和8月较大。7月是印度夏季风和降水最旺盛极端，因而相对湿度大值区覆盖面积最大。6月和9月印度地区相对湿度较低，这是因为6月是印度季风爆发初期，而9月是印度季风已经开始减弱，即与印度下季风的发展过程有关。在印度东北地区的北部在四个月中相对湿度都较大，且月际变化并不明显；而相对于同样存在强降水的区域印度西海岸地区的相对湿度的月际变化非常明显，6~8月都呈现出增加的趋势，9月开始减小。

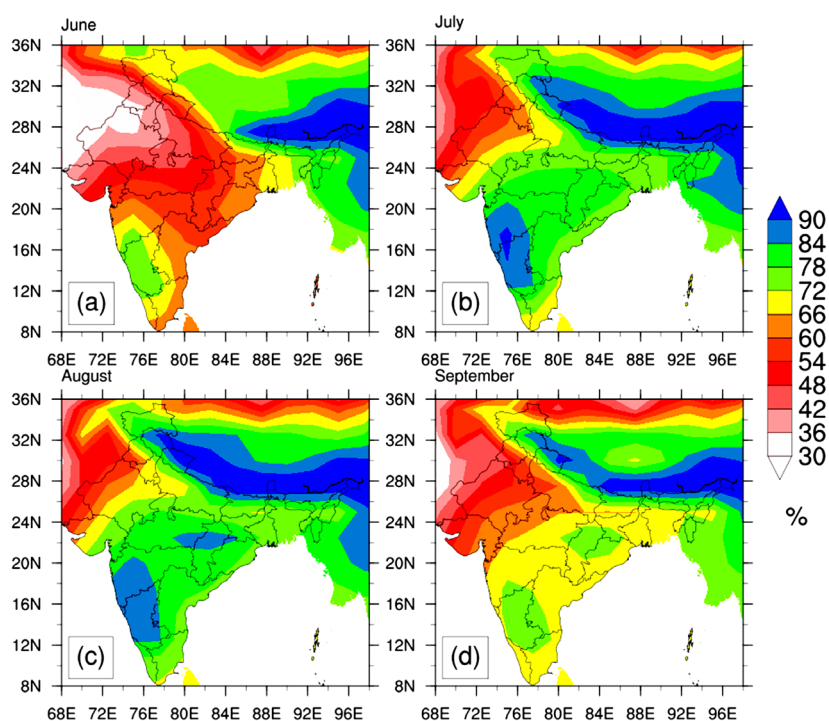
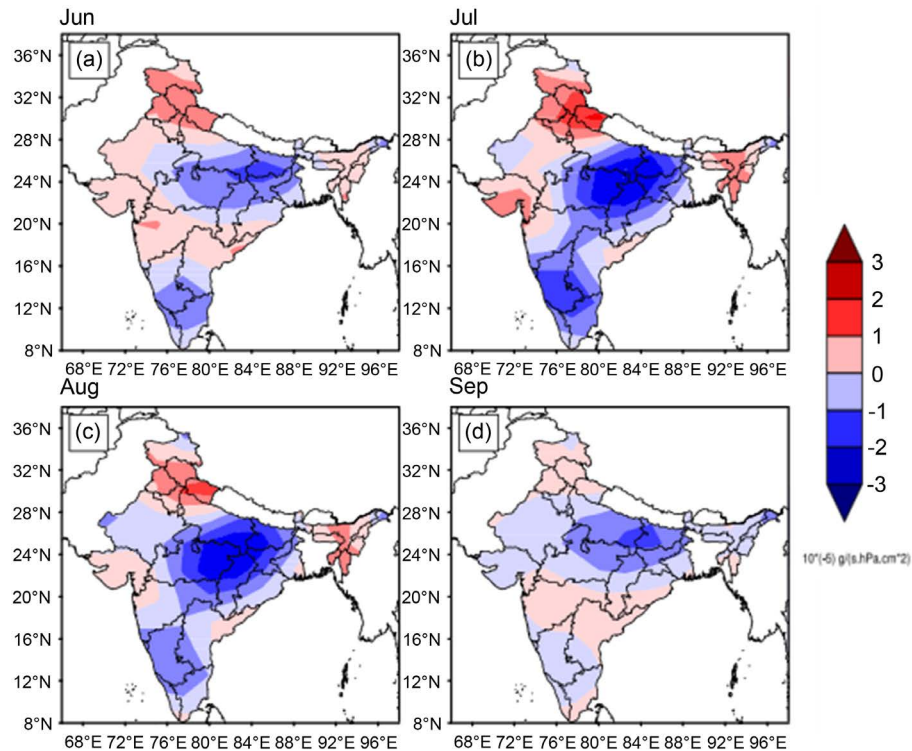


Figure 5. Spatial distribution of climate mean of relative humidity from June to September

图 5. 1980~2017 年 6~9 月相对湿度空间分布

### 3.5.2. 相对湿度的变化特征

图 6 为 1980~2017 年 6~9 月 850 hPa 水汽通量散度分布特征。由图 6(a)可以发现，6 月印度南部和中部地区为负值分布，表明相关区域以水汽辐合为主，而印度东北部和北部为正则以水汽辐散为主。印度西海岸 16°N 以北为弱水汽辐散，以南为弱辐合。7 月(图 6(b))随着季风增强，印度次大陆水汽辐合区域开始增大；同时，印度东北部的水汽出现辐散现象；印度西海岸的水汽辐散和辐合均有增强。8 月(图 6(c))相较于 7 月而言，印度地区水汽的辐合区域变化不大，特别是中部地区，几乎无变化。印度东北部和北部的水汽辐合强度减弱，印度西海岸部分地区水汽辐散区域进一步缩小。到 9 月(图 6(d))，印度地区辐合辐散都呈现减弱趋势，但需要指出的是，印度东北地区的水汽通量由辐散转为辐合。总体而言，6~9 月 850 hPa 水汽通量散度分布表明印度西海岸、中部及北部地区的水汽通量与对应的降水分布具有较好的一致性，但印度东北部地区的水汽通量散度与月降水的一致性相对较差。



**Figure 6.** Spatial distribution of climate mean of vapor flux divergence from June to September  
**图 6.** 1980~2017 年 6~9 月水汽通量散度空间分布

### 3.6. 动力条件的变化特征

#### 3.6.1. 垂直速度的变化特征

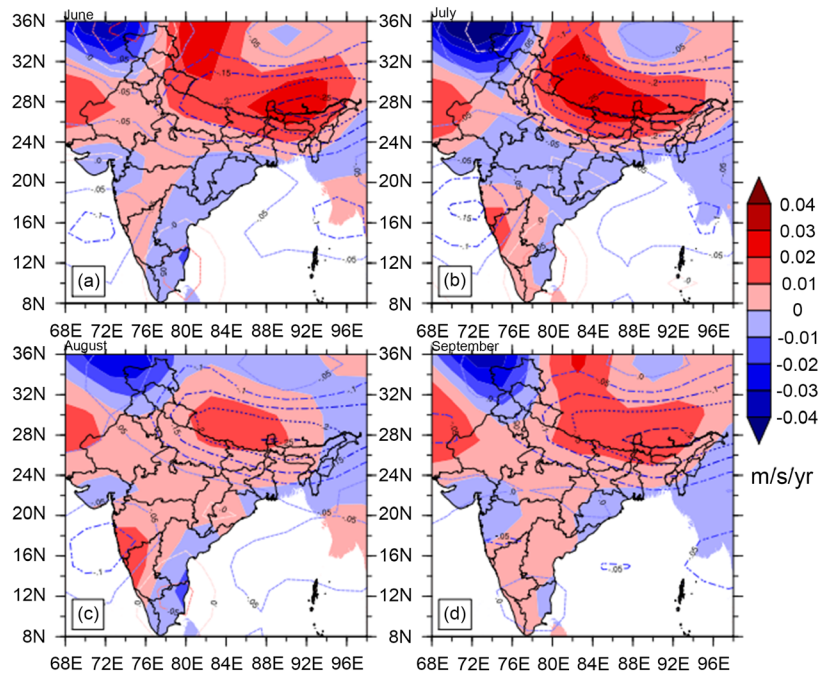
图 7 给出了 1980~2017 年 6~9 月印度次大陆垂直速度的气候态及线性趋势空间分布。印度地区 6 月平均垂直速度在印度东北部平均垂直速度为负且绝对值最大，印度中北部和西海岸地区也为负值分布，但强度较小。与之相反的是印度北部和南部地区平均垂直速度为正，且数值较大(图 7(a))。到 7 月(图 7(b))，印度地区垂直速度整体均有增强趋势，主要表现为印度西海岸地区和北部边界一带垂直速度增强最为明显。8 月(图 7(c))印度西海岸地区垂直速度有所减小，而东北部和北部地区变化不大，同时印度中部的部分区域垂直速度明显增加。9 月(图 7(d))印度垂直速度整体减弱，但东北部和北部地区仍然存在较为旺盛的垂直运动。

对各月垂直速度的线性趋势进行分析可以发现，6、7 月垂直速度的线性趋势较为类似，但 7 月印度北部、西部和西南部地区的正趋势比 6 月有明显增强，尤其是在印度西海岸地区尤为明显。8 月印度西海岸地区趋势进一步增强，但其余地区的线性趋势都呈现出减弱的状态。9 月印度西海岸地区趋势开始减弱，相反在 9 月印度北部以西负趋势开始增强。

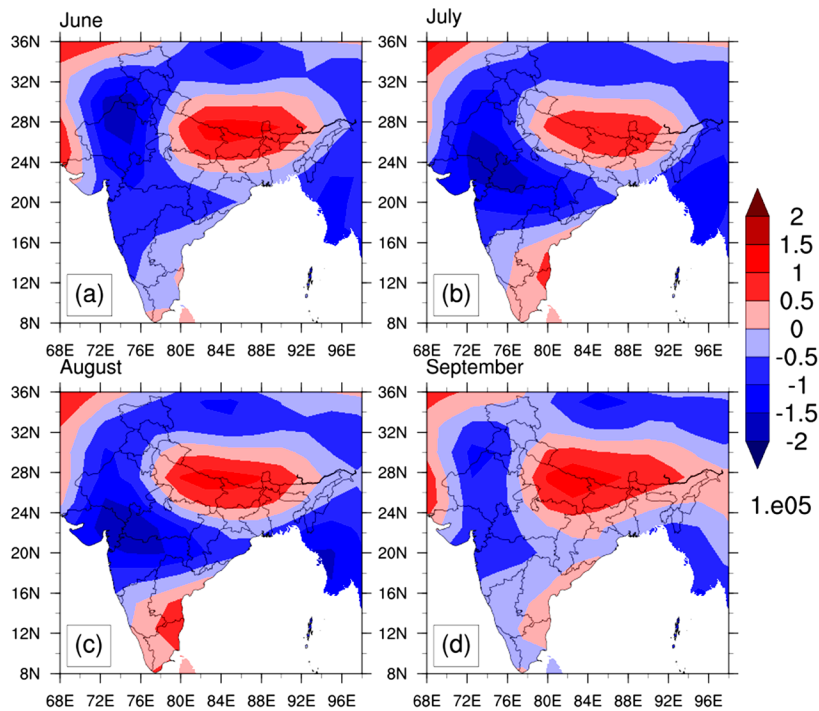
#### 3.6.2. 涡度的变化特征

图 8 为 1980~2017 年 6~9 月印度地区涡度的气候平均分布。图 8(a)显示了印度 6 月的涡度。印度中部东北，东北部以西和西部少数地区为正，呈现气旋性环流，其他地区以反气旋性环流为主；7 月(图 8(b))在印度中部东北，东北部以西地区气旋性环流在减弱，相反，印度南部地区由反气旋性环流转为气旋性环流，其他地区反气旋性环流开始增强。在 8 月时(图 8(c))，印度中部以及东北部以西地区的气旋性环流增强，印度南部地区的气旋性环流同样增强，其余地区的反气旋性环流减弱；到 9 月(图 8(d))，印度中部

和东北部的气旋性环流进一步增强且范围有所扩大，而印度南部地区的气旋性环流为减弱趋势，其余地区以反气旋性环流减弱为主。



**Figure 7.** Spatial distribution of climate mean and linear trend of vertical velocity from June to September  
**图 7.** 1980~2017 年 6~9 月月平均垂直速度的气候态及线性趋势空间分布



1980~2017 年 6 月、7 月、8 月、9 月 850 hP 涡度图(以 1.e05 为单位)

**Figure 8.** Spatial distribution of climate mean and linear trend of vertical velocity from June to September  
**图 8.** 1980~2017 年 6~9 月涡度空间分布



## 4. 结论

利用 NCEP/NCAR 月平均再分析资料研究了 1980~2017 年 6~9 月印度夏季风降水变化特征, 得出如下结论:

1) 近几十年来印度夏季风降水及相关参数的空间差异较大, 尤其印度东北部和中部地区的降水量显著下降, 且印度西海岸降水趋势都在 16°N 南北显著差异。此外印度各地区降水量的线性趋势同样具有较大差异。

2) 印度夏季风降水的变化趋势受印度上空低压的位置和强弱的影响。印度低压可以改变风场、水汽通量散度、低层垂直运动和涡度的变化来影响降水。总体来看, 水汽通量散度、低层垂直运动和涡度可以对印度大陆各区域的降水变化趋势产生不同影响。

3) 印度 6~9 月各月季风降水的线性趋势存在较大差异, 表明季风降水的变化受到大气环流系统各影响因子的影响非常明显, 因此进一步对印度夏季风降水的变化与其它气候系统的相互关系开展研究是必要的。

## 基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

## 参考文献

- [1] Singh, P. and Borah, B. (2013) Indian Summer Monsoon Rainfall Prediction Using Artificial Neural Network. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, **27**, 1585-1599. <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0695-0>
- [2] Guhathakurta, P. and Rajeevan, M. (2010) Trends in the Rainfall Pattern over India. *International Journal of Climatology*, **28**, 1453-1469. <https://doi.org/10.1002/joc.1640>
- [3] Jin, Q. and Wang, C. (2017) A Revival of Indian Summer Monsoon Rainfall since 2002. *Nature Climate Change*, **7**, 587-594 <https://doi.org/10.1038/nclimate3348>
- [4] 李栋梁, 张茜, 姚慧茹, 李潇. 北印度夏季风与中国河套及邻近地区盛夏降水的联系[J]. 高原气象, 2016, 35(6): 1512-1523.
- [5] 肖海平, 龚道溢. ENSO 对我国江南及印度降水影响的比较[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(2): 74-80.
- [6] 杨向东, 蒋尚城. 北半球雪盖的气候特征及与印度季风降水的关系[J]. 气象, 2001, 27(12): 8-12.
- [7] 吴国雄, 刘伯奇. 强迫和惯性不稳定对流发展在印度夏季风爆发过程中的作用[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(4): 783-796.
- [8] 张盈盈, 李忠贤, 刘伯奇. 春季青藏高原表面感热加热的年际变化特征及其对印度夏季风爆发时间的影响[J]. 大气科学, 2015, 39(6): 1059-1072.
- [9] 刘芸芸, 丁一汇. 印度夏季风与中国华北降水的遥相关分析及数值模拟[J]. 气象学报, 2008, 66(5): 789-799.
- [10] 马利华, 韩延本, 尹志强, 韩永刚. 印度夏季风降水周期性研究[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(1): 23-26.
- [11] 徐忠峰, 钱永甫. 用湿位涡定义的印度夏季风指数及其与中国气候的关系[J]. 气象学报, 2006, 64(6): 760-769.
- [12] 何立富, 武炳义, 毛卫星. 印度夏季风的年代际变化与我国北方的气候跃变[J]. 热带气象学报, 2005, 21(3): 257-264.
- [13] 张东启, 秦大河, 康世昌, 任贾文. 印度夏季风降水研究进展[J]. 自然杂志, 2000, 22(4): 207-210.
- [14] 段廷扬, 唐佑民, 巩远发, 蒋玉云. 印度夏季风的年际变异与北半球大气环流的特征[J]. 气象学报, 1997(3): 116-123.
- [15] 刘芸芸, 丁一汇. 印度夏季风的爆发与中国长江流域梅雨的遥相关分析[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2008, 38(6): 763-775.