

中国东南及周边海区季尺度降水昼夜变化的特征分析

安得香

互助县气象局, 青海 互助

收稿日期: 2025年8月14日; 录用日期: 2025年9月9日; 发布日期: 2025年9月17日

摘要

利用1998~2014年间热带测雨卫星(TRMM)上搭载的测雨雷达(PR) 3G68 16年的观测资料, 分析了中国东南及周边海区季尺度降水昼夜变化的区域特征。本文主要关注降水量、降水频次和降水强度的昼夜差异以及降水日变化对季节总雨量的贡献率。结果表明, 降水量的季节性差异显著, 我国东南部陆面春季和夏季降水较多, 海面上夏季和秋季降水较多。从雨量昼夜差异来看, 中国东南部和南海四季都以昼雨为主。降水日变化对季节总雨量贡献率的空间分布表明, 南海日变化的贡献率高于其他地区, 全年在40%以上, 冬春季高达60%~80%; 中国东南沿海降水日变化对雨量的贡献在夏季最大; 东海降水日变化对雨量贡献率的季节差异不明显。

关键词

季尺度, 昼夜差异, 降水日变化, 海陆差异, 中国东南部

Analysis of Characteristics of Seasonal-Scale Diurnal Precipitation Variation over Southeastern China and Its Adjacent Seas

Dexiang An

Huzhu Meteorological Bureau, Huzhu Qinghai

Received: Aug. 14th, 2025; accepted: Sep. 9th, 2025; published: Sep. 17th, 2025

Abstract

Using 16 years of observational data (1998~2014) from the Precipitation Radar (PR) product 3G68 aboard the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite, this study analyzes the regional

characteristics of seasonal-scale diurnal precipitation variations over Southeastern China and its adjacent seas. The paper focuses on the diurnal differences in precipitation amount, precipitation frequency, and precipitation intensity, as well as the contribution rate of diurnal variation to the total seasonal precipitation. The results show significant seasonal differences in precipitation amount. Land areas in Southeastern China receive more precipitation in spring and summer, while sea surfaces experience more precipitation in summer and autumn. In terms of diurnal differences in precipitation amount, daytime precipitation dominates over both Southeastern China and the South China Sea in all four seasons. The spatial distribution of the contribution rate of diurnal precipitation variation to total seasonal precipitation indicates that the contribution rate over the South China Sea is higher than in other regions, exceeding 40% throughout the year and reaching 60%~80% in winter and spring. Along the coast of Southeastern China, the contribution of diurnal precipitation variation to total precipitation is greatest in summer. The seasonal difference in the contribution rate of diurnal precipitation variation to precipitation amount over the East China Sea is not significant.

Keywords

Seasonal Scale, Diurnal Difference, Diurnal Precipitation Variation, Land-Sea Contrast, Southeastern China

Copyright © 2025 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. 绪论

1.1. 引言

中降水日变化作为水循环中最基本的振荡信号，是理解区域气候特征和降雨形成物理机制的关键。宇如聪[1]指出中国地处亚洲季风区，降水时空分布极不均匀，呈现出显著的日变化、季节变化和地域分异。复杂的空间分布格局与太阳辐射的日循环、海陆热力差异、复杂地形以及大尺度环流背景的相互作用密切相关。

近年来，随着卫星遥感技术的发展，TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)等卫星资料因其高时空分辨率和对海洋、偏远地区的覆盖优势，被广泛应用于该研究领域，推动了对降水日变化更精细、全面地认识。李芳洲[2]利用 TRMM 资料聚焦南海及周边地区，发现该区域春夏季降水日变化存在显著的海陆差异和季节反相特征，南海地区昼夜差异最为显著。对于降水日变化对总降水量的贡献及其空间分布和季节差异，缺乏系统的量化分析。邓海军[3]在全国尺度的研究指出不同流域昼夜降水对总降水的贡献率差异巨大，但针对关键区域(如中国东南部及周边海区)的精细量化仍有待深入。最后，杜宇[4]指出在物理机制上，虽然已知海陆风、低空急流、重力波等是重要驱动因子，但它们在不同下垫面(海洋、海岸、复杂地形)、不同季节中对降水日变化相对作用的定量诊断依然不足。本文基于高分辨率格点资料，分析中国东南部及其邻近海域降水昼夜变化的时空特征，进一步补充降水日变化对总降水量的贡献及其空间分布和季节差异。

1.2. 资料和方法

本文利用 TRMM PR 观测时段为 1998~2014 年的 3G68 资料，3G68 是全球每小时网格产品，其中包括 TRMM2A12(TMI)、2A25 (PR)、2B31 (结合了 PR 和 TMI)。3G68 产品将 24 小时的每小时网格包含到

单个每日文件中在一个 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 网格上组合降水估算值, 提供了一种比较三种检索方法的瞬时结果的简便方法。

为了方便作图和统计, 将逐日轨道 2A25 资料进行了格点化处理, 生成 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 空间分辨率的格点资料, 该格点资料给出了 0.25° 格点内 24 小时每个时次的 TRMMPR 探测降水率, 降水强度, 降水频次。因为 TRMM 资料是时间单位是世界时, 而分析的降水日变化特征是太阳辐射的日变化不同所导致, 所以在处理资料时此把时间单位均转换格点所在区域的当地时间来分析。将格点化的降水资料求每个季节个观测时次的气候平均。

本文利用逐时 3G68 数据计算降水量 RA (平均雨强)、降水频次 RF 和降水强度 RI, 计算方法如下: 某月某网格的 RA 指 1998~2014 年该月该网格内观测的所有像素的降水率之和除以总的像素个数; RF 为有雨的像素个数除以总像素个数, RI 为所有像素的降水率之和除以有雨的像素个数。这种利用 3G68 数据计算雨量、雨频和雨强的方法已被前人的研究证明是可行的。本文所有时间均指当地时 LST (Local Solar Time)。

2. 中国东南及周边海区降水的昼夜差异

2.1. 降水量 RA 率的昼夜差异

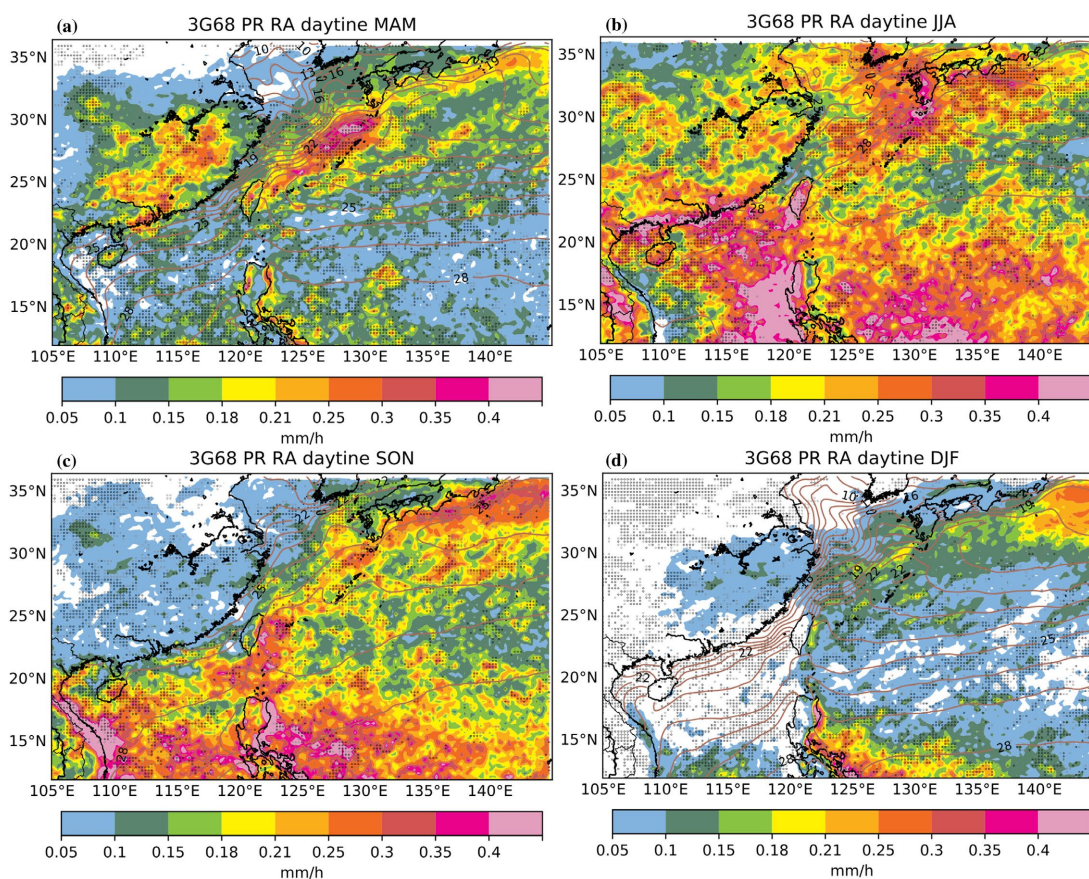


Figure 1. Spatial distribution of seasonal mean rainfall amount RA (unit: mm/h) and SST during daytime (06~18 LST). Light grey dots indicate areas where daytime RA exceeds nighttime RA by 50% to 100%, while dark grey dots indicate areas where daytime RA exceeds nighttime RA by more than 100%

图 1. 白天(06~18 LST)季节平均雨量 RA (单位: mm/h)和 SST 的空间分布。图中浅灰色的点表示白天雨量比夜间高 50%~100%, 深灰色的点表示白天雨量比夜间高 100%以上

由 1998~2014 年四季降水量白天(图 1)以及夜间(图 2)的空间分布情况分析。春季华南沿岸和广西至越南、菲律宾沿海岸的降水量夜间较白天小, 华南和菲律宾近海面, 中国台湾海峡西北部降水量白天较多。南海北部整体降水量较白天小, 昼夜差异显著。我国东南部陆面和海面降水量分布差异明显, 在长江流域以南由海面向陆面增加。夏季海温梯度较春季明显变小, 高温带北偏, 夏季由于西南季风带来大量的水汽降水明显增加, 受地形影响和副高的北抬, 夏季降水的昼夜差异显著。我国东南部陆面降水量明显白天强于夜间, 而菲律宾以东远洋面海面上夜间大值中心较白天有所增强, 为海洋型日变化(降水主要出现在凌晨)。而由于地形的遮挡效应, 越南东部的海面上夏季昼夜降水都小于周围。秋季温度带南移, 温度脊较夏天弱, 由于环流形势的改变, 降水明显减少, 海面上降水大于陆面, 出现弱的东风或偏北风, 雨带南移。冬季温度带南移且温度梯度加大, 琉球群岛的温度脊加强, 欧亚大陆受冷高压影响, 我国东南部受西北和东北季风控制, 干冷空气由于水汽不足, 使得我国大陆和周边海域降水减少除了长江流域以南其他各部大范围在 0.05 mm/h 以下, 长江流域以南为 0.1 mm/h 左右并且夜间大值中心大于白天, 受地形影响中国台湾东北部, 菲律宾东部和本州岛南部为大值中心, 达到 0.25 mm/h 以上。

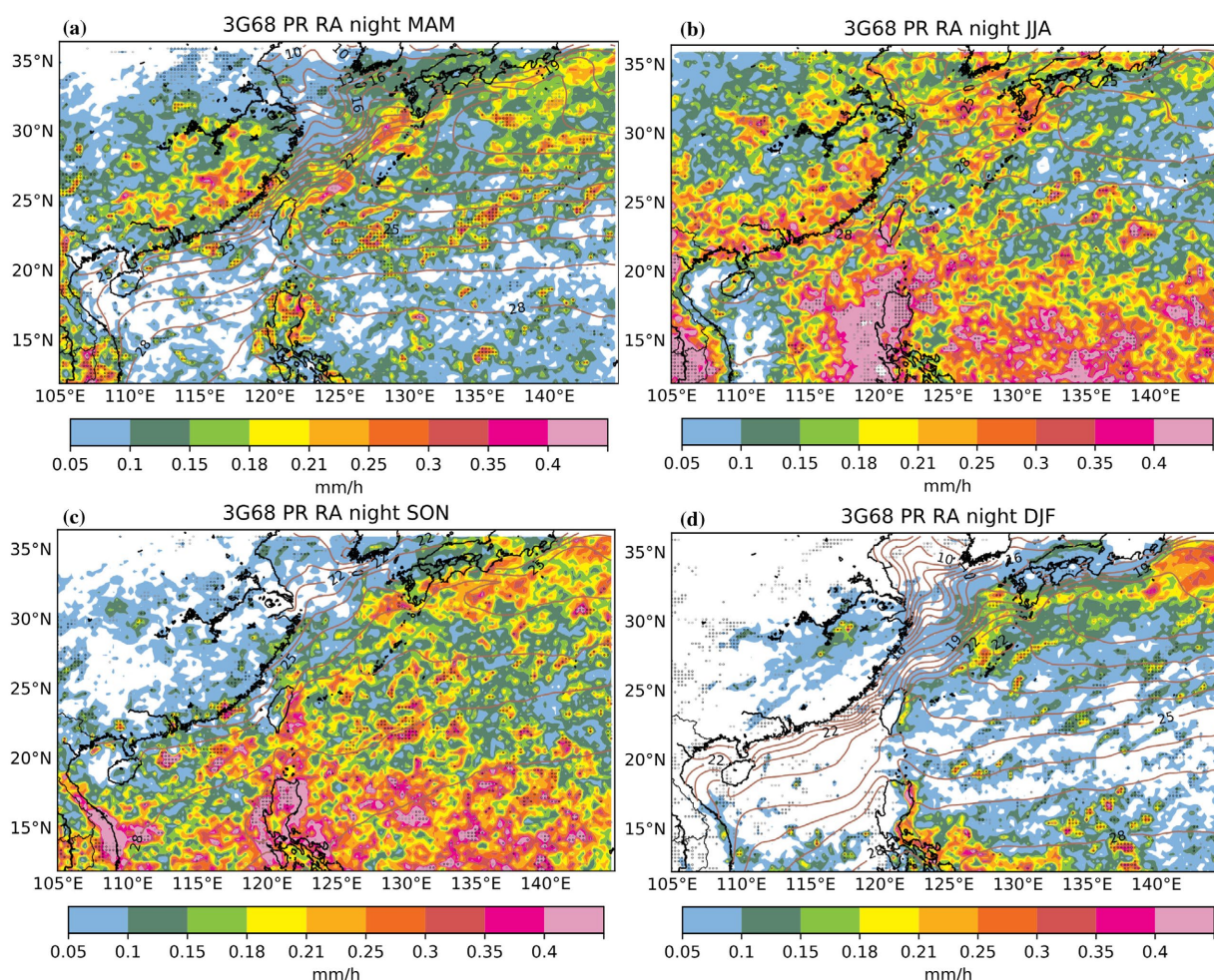


Figure 2. Spatial distribution of seasonal mean rainfall amount RA (unit: mm/h) and SST during nighttime (18~06 LST). Light grey dots indicate areas where nighttime RA exceeds daytime RA by 50% to 100%, while dark grey dots indicate areas where nighttime RA exceeds daytime RA by more than 100%

图 2. 夜间(18~06 LST)季节平均雨量 RA (单位: mm/h)和 SST 的空间分布。图中浅灰色的点表示夜间雨量比白天高 50%~100%, 深灰色的点表示夜间雨量比白天高 100%以上

2.2. 降水频次 RF 的昼夜差异

降水频次白天(图 3)以及夜间(图 4)的空间分布情况分析。春季我国华南沿岸陆地和海面的降水频次差异明显。降水频次的空间分布与降水量的空间分布一致。秦岭、越南湾、南海大部、琉球群岛东部及其西北海面上白天降水频次比夜间大 50%以上。夏季整体分布白天强于夜间。秦岭,越南湾,南海西部,华南近海面,云贵高原东部,琉球群岛及其西北至日本群岛东南部白天降水频次比夜间大 50%以上;江南东部和菲律宾群岛北部和长山山脉夜间降水频次比白天大 50%以上,中南半岛和菲律宾北部较显著。秋季大值分布在中南半岛东部及近海,菲律宾东侧至中国台湾东部近海和日本本州岛南部近海上最大达到 12%以上,长江流域比周围大。中南半岛东部和菲律宾北部降水频次大值区夜间比白天大 50%以上;而菲律宾群岛北部至西侧和长山山脉大值区越南湾及其东南部海面。云贵高原东部和秦岭,朝鲜半岛南部海面白天降水频次比也大于 50%以上。冬季与降水量的分布一致。偏南部的海面上较夏季减弱,长江以南至日本群岛南部的海面上较夏季增大,并且海面上夜间强于白天;菲律宾群岛西侧是一个降水频次的大值中心,达到了 10%以上;中国台湾东部近海达到 7%以上。冬季降水频次在云贵高原及其移动区域和南海东北部与中国台湾和吕宋岛东部海面上白天比夜间大 50%以上;长山山脉和南岭南部,菲律宾西侧海面与远洋海面零星分布的降水频次夜间比白天大 50%以上。

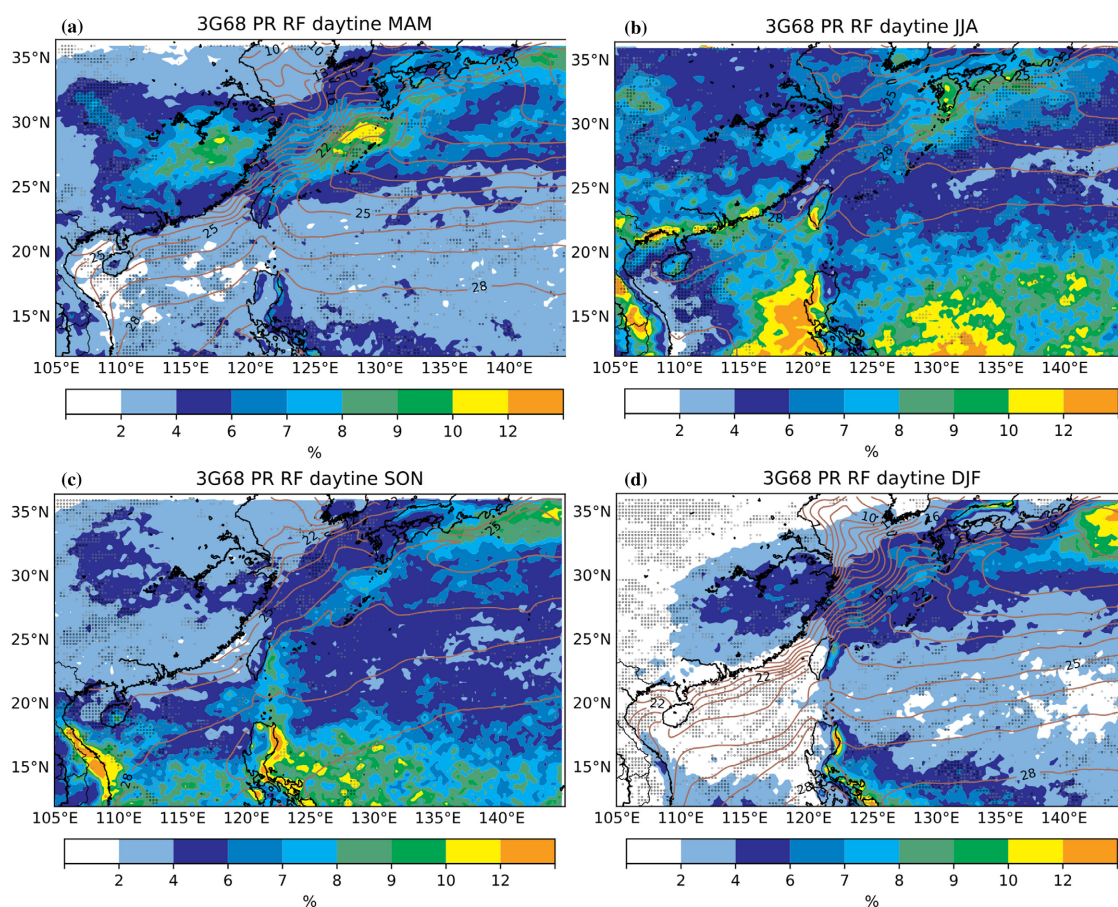


Figure 3. Spatial distribution of seasonal mean rainfall frequency RF (unit: %) and SST during daytime (06~18 LST). Light grey dots indicate areas where daytime RF exceeds nighttime RF by 50% to 100%, while dark grey dots indicate areas where daytime RF exceeds nighttime RF by more than 100%

图 3. 白天(06~18 LST)季节平均频次 RF (单位: %)和 SST 的空间分布。图中浅灰色的点表示白天频次比夜间高 50%~100%, 深灰色的点表示白天频次比夜间高 100%以上

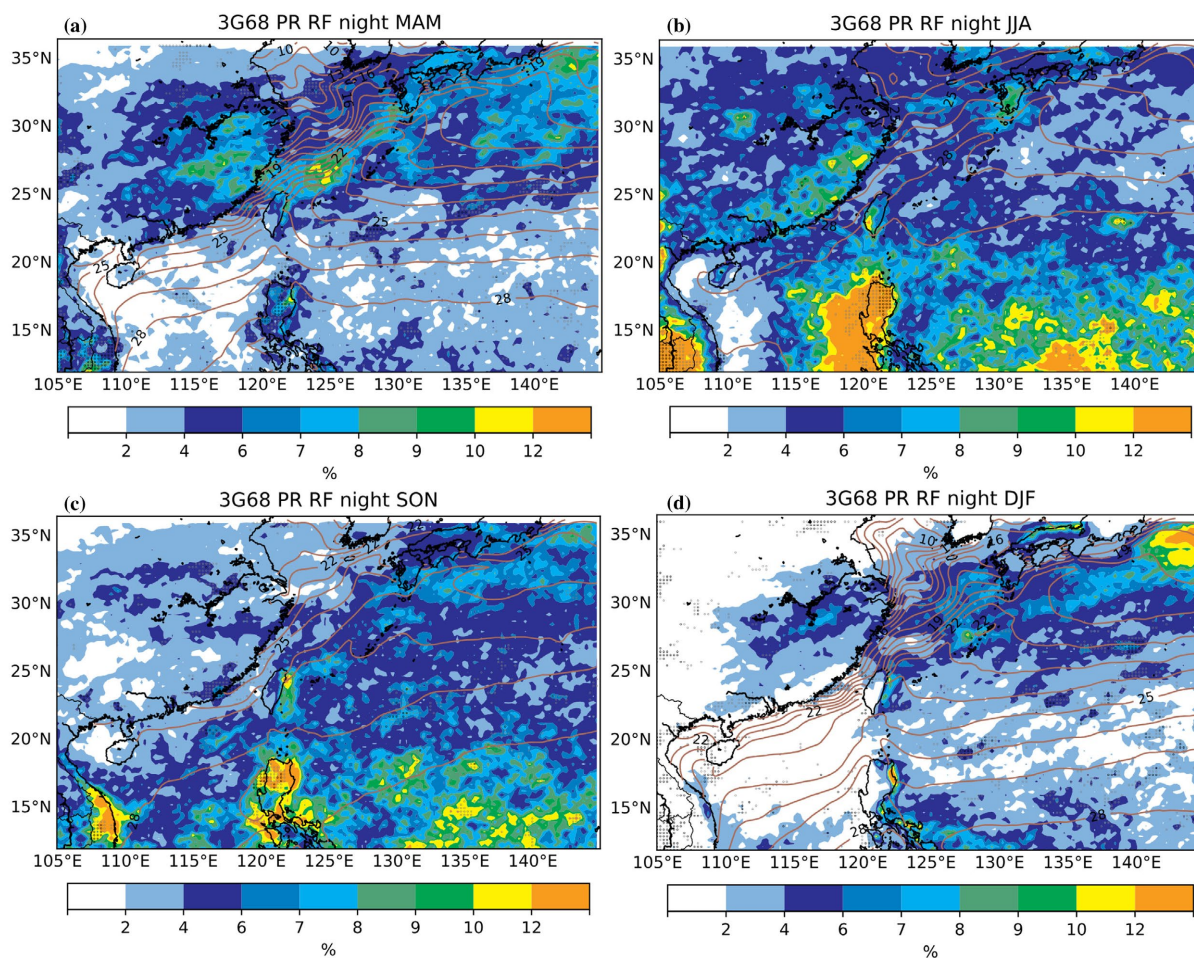


Figure 4. Spatial distribution of seasonal mean rainfall frequency RF (unit: %) and SST during nighttime (18–06 LST). Light grey dots indicate areas where nighttime RF exceeds daytime RF by 50% to 100%, while dark grey dots indicate areas where nighttime RF exceeds daytime RF by more than 100%

图 4. 夜间(18~06 LST)季节平均频次 RF (单位: %)和 SST 的空间分布。图中浅灰色的点表示夜间频次比白天高 50%~100%，深灰色的点表示夜间频次比白天高 100%以上

2.3. 降水强度 RI 的昼夜差异

降水强度白天(图 5)以及夜间(图 6)的空间分布情况分析。春季白天较大值空间分布由 25°N 以南延伸至琉球群岛西部的海面上。长江三角洲东部的海面上降水强度小于周围。海面上和秦岭及长江流域至东海，琉球群岛零星分布点表示降水强度白天比夜间大 50%以上；长江流域以北和海面上点表示夜间降水强度比白天大 50%以上。春季夜间云贵高原和中国台湾东部的海面上降水强度较白天显著增加；华南沿岸，中南半岛东部的海面 and 江淮流域至长江三角洲东部的近海面上降水强度较白天显著减小。夏季白天整体海上大于陆面，近海面于陆面差异显著。南海和琉球群岛至朝鲜半岛南部是降水强度的大值区，白天大于夜间；夜间云贵高原和菲律宾东部远处的海面上降水强度增大。北部湾和江淮流域昼夜差异显著。

秋季较夏季南移，海面上整体大于陆面，日本群岛南部和远洋面夜间大于白天。南岭和武夷山北部、南海北部、黄海、东海白天比夜间大 50%以上；云贵高原，武夷山，华南近海面夜间降水频次比白天大 50%以上。冬季可见长江流域以北，中国台湾海峡，华南近海面和菲律宾群岛西部海面上白天比夜间大 50%以上；而秦岭和云贵高原东部和琉球群岛至日本群岛南部的海面上夜间比白天大 50%以上。

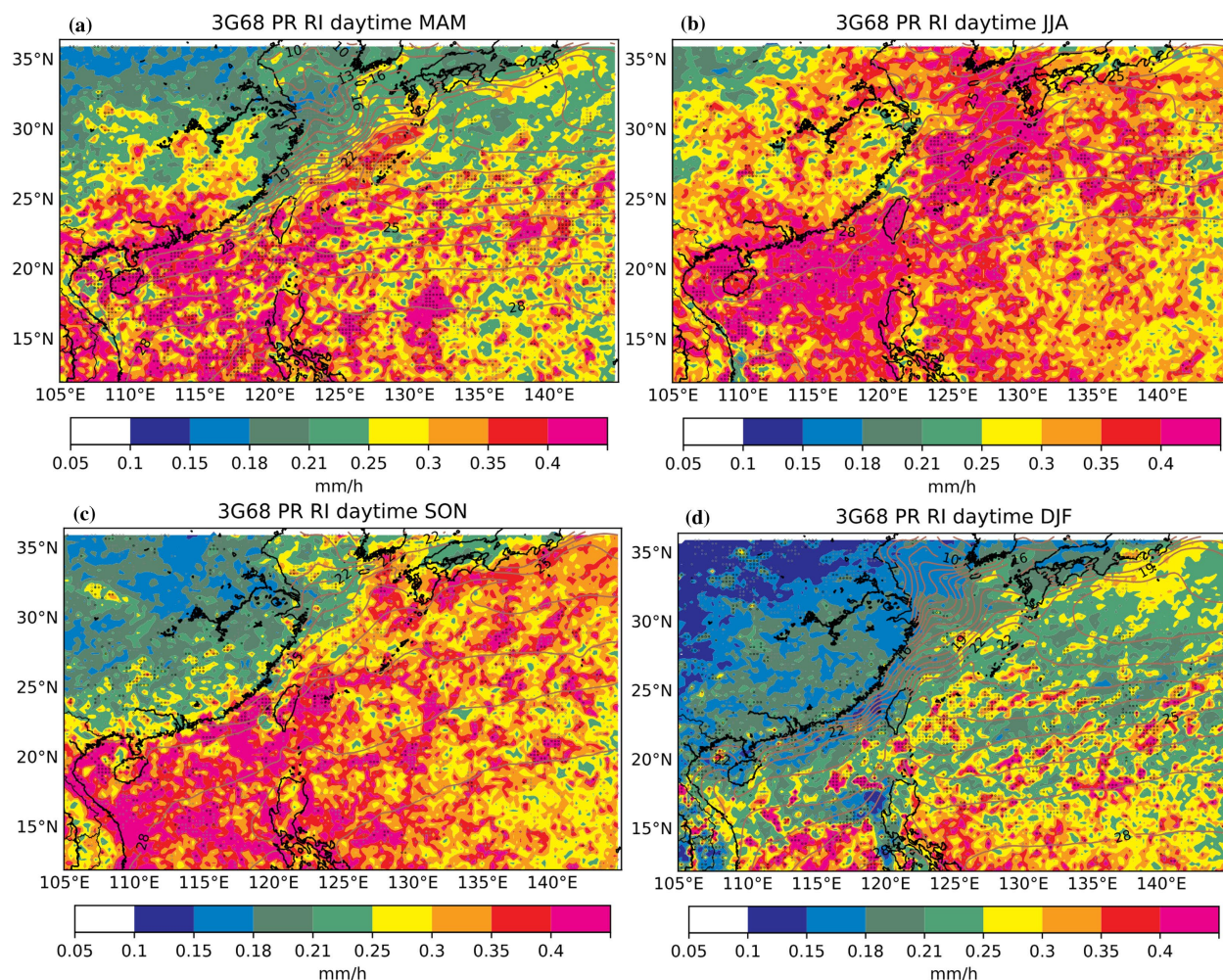
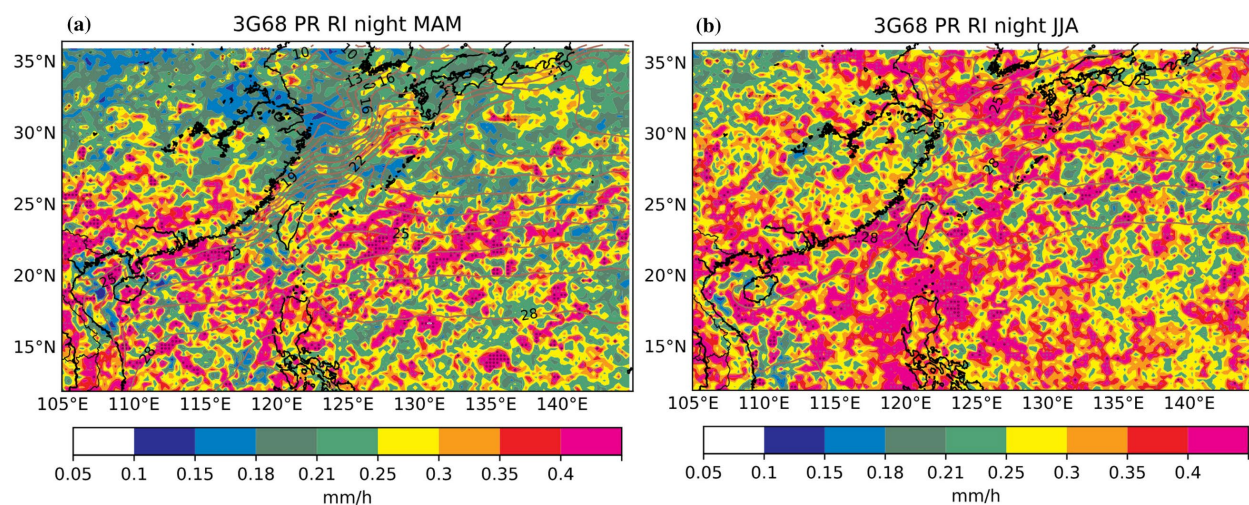


Figure 5. Spatial distribution of seasonal mean rainfall intensity RI (unit: mm/h) and SST during daytime (06~18 LST). Light grey dots indicate areas where daytime RI exceeds nighttime RI by 50% to 100%, while dark grey dots indicate areas where daytime RI exceeds nighttime RI by more than 100%

图 5. 白天(06~18 LST)季节平均雨强 RI (单位: mm/h)和 SST 的空间分布。图中浅灰色的点表示白天雨强比夜间高 50%~100%, 深灰色的点表示白天雨强比夜间高 100%以上



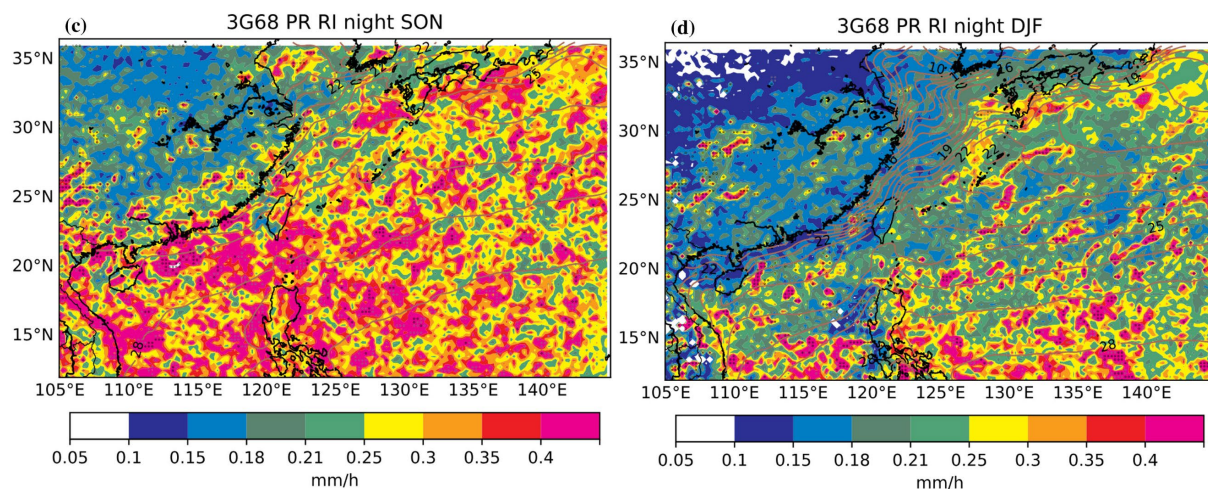


Figure 6. Spatial distribution of seasonal mean rainfall intensity RI (unit: mm/h) and SST during nighttime (18–06 LST). Light grey dots indicate areas where nighttime RI exceeds daytime RI by 50% to 100%, while dark grey dots indicate areas where nighttime RI exceeds daytime RI by more than 100%

图 6. 夜间(18–06 LST)季节平均雨强(单位: mm/h)和 SST 的空间分布。图中浅灰色的点表示夜间雨量比白天高 50%~100%, 深灰色的点表示夜间雨强比白天高 100%以上

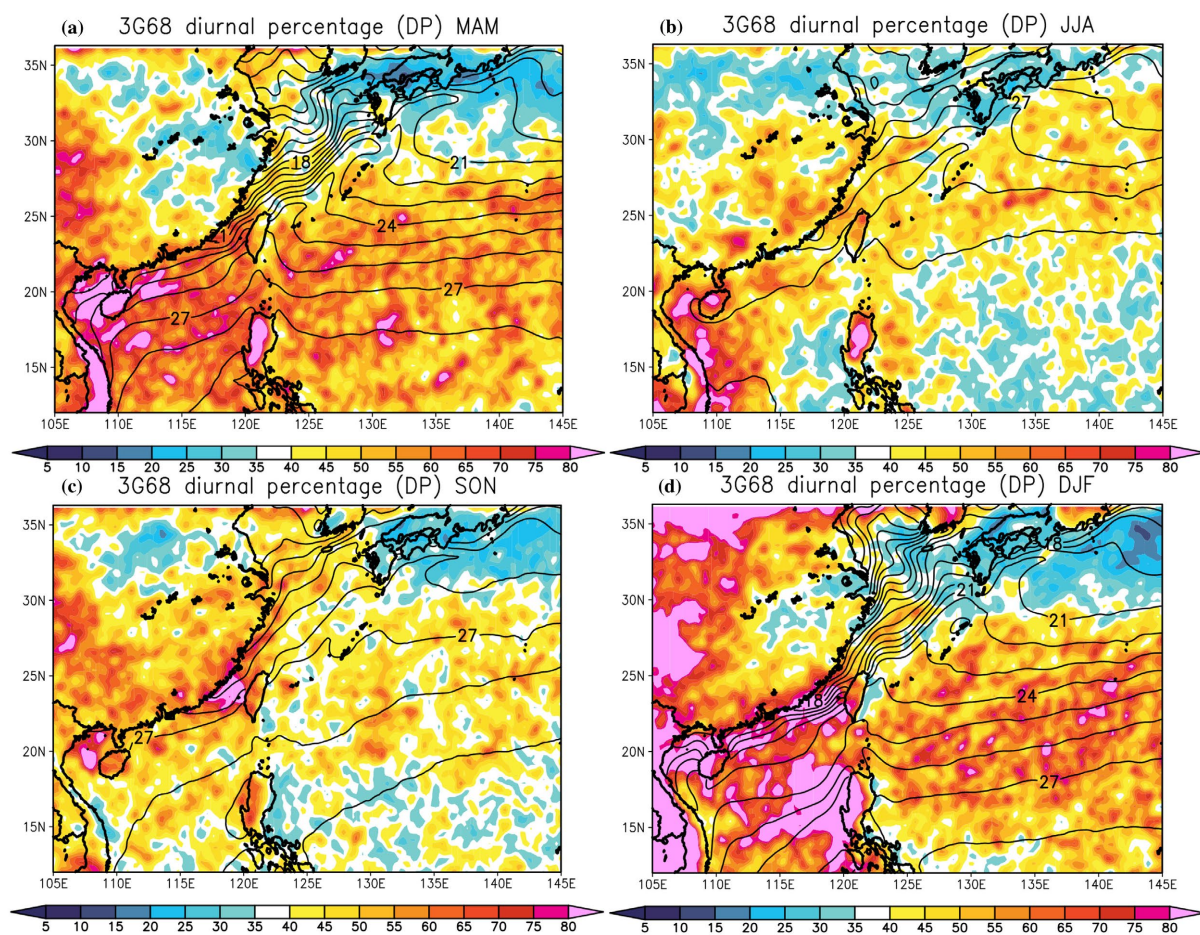


Figure 7. Spatial distribution of the contribution rate of diurnal variation of precipitation to the seasonal total rainfall amount (unit: %) and Sea Surface Temperature (SST)

图 7. 降水日变化对季节总雨量贡献率的空间分布(单位: %)和 SST 的空间分布

2.4. 降水日变化对季节总降水量的贡献率

由于不同的大尺度环流形势和天气模式的差异, 不仅导致不同时期降水日变化对季节总降水量的贡献率的空间分布不同, 而且导致降水日变化和传播机制产生显著差异。

$$DP = \frac{\sum_{t=1}^{24} |r_t - \bar{r}|}{r_d} \times 100\%$$

其中 DP 为贡献率, r_d 为季节平均日总降水, r_t 为 t 时次平均降水, $\bar{r}$ 为日平均降水。定量地描述了降水在一天内分配的均匀程度, DP 值越大, 说明降水的日变化越显著, 降水越集中在某些特定时段。在山区, DP 值高可能表明降水多集中在午后热力对流旺盛的时段。在沿海地区, DP 值高可能反映出降水受海陆风循环影响, 集中在夜间或清晨。

图 7 是所分析区域的四季降水日变化对季节总降水量的贡献率的空间分布叠加了温度场, 平均降水量昼夜分布明显不同, 春季大值大陆主要分布在云贵高原, 并且大陆周边南海达到 80% 以上; 夏季大值主要分布在中南半岛东部的洋面上以及海南岛和吕宋岛上, 而云贵高原较春季小; 秋季中南半岛东部的洋面以及吕宋岛贡献率显著减小, 而北海湾以及华南沿海尤其是中国台湾海峡贡献率增大, 并且大陆分布与春季较为一致; 冬季不论大陆还是海洋贡献率增大显著, 为四季中最大, 且分布范围广, 但华南地区除沿海地区, 为低值中心。在所分析区域四季降水日变化对季节总降水的贡献率在江淮流域至日本群岛存在一个低值带, 其值在 40% 以下, 随着季节变化南北移动, 大致与温度场季节性南北移动一致。冬季整体贡献率最大, 春季次之, 季节变化显著, 大值区主要为云贵高原, 中南半岛东部及其近海, 菲律宾西部及其近海, 华南近海, 可能是由于地形和海岸处的海陆风循环导致日变化对季节总降水量的贡献率大, 而江南丘陵春夏季大于冬春可能是由于大尺度的季风环流改变导致。

3. 结论

本文基于 1998~2014 年间卫星观测的 3G68 PR 降水资料从季尺度角度根据昼夜差异, 振幅位相的日变化和峰值位相的经向传播特征来分析中国东南部及周边海区的降水的日变化特征和区域特征。

(1) 降水的季节性差异显著, 中国东南部陆面春季和夏季降水较多, 海面上夏季和秋季降水较多。秋冬季在中南半岛和菲律宾群岛东部海面为主要降水中心, 而春季和夏季在华南, 西部的海面, 中南半岛东部海岸季节变化显著。华南受季风和副高影响显著, 春夏降水多, 而秋冬季降水较少; 南海春冬季降水少, 夏季和秋季降水多, 并且南海内部夏季东部降水大于西部, 秋季刚好相反; 菲律宾东部的太平洋洋面上, 由于 ITCZ 的季节性移动, 导致夏秋降水较多。黄海及渤海湾夏季降水多, 其他季节降水少; 东海海面四季均有降水且差异较小。

(2) 降水日变化对季节总雨量贡献率的空间分布表明, 南海日变化的贡献率高于其他地区, 全年在 40% 以上, 冬春季高达 60%~80%; 中国东南沿海降水日变化对雨量的贡献在夏季最大; 东海降水日变化对雨量贡献率的季节差异不明显。黄海降水日变化对雨量贡献率春秋季节较大, 夏季最小; 中国东南部及周边海区冬季整体来讲日变化对总降水量的贡献率最大, 春季次之, 季节变化显著; 大值区主要为云贵高原, 中南半岛东部及其近海, 菲律宾西部及其近海。华南近海岸春冬季大于下秋季可能是由于大尺度的季风环流改变导致。由于地形和海岸处的海陆风循环导致日变化对季节总降水量的贡献率大。

注 释

本文图片都由 Python3.8 制作。

参考文献

- [1] 宇如聪, 李建, 陈昊明, 等. 中国大陆降水日变化研究进展[J]. 气象学报, 2014(5): 948-968.
- [2] 李芳洲, 李江南. 基于 TRMM 卫星探测的南海及周边地区春夏季降水日变化特征[J]. 热带地理, 2017, 37(5): 728-737.
- [3] 邓海军, 郭斌, 曹永强, 等. 1961-2016 年中国昼夜降水变化的时空格局[J]. 地理研究, 2020, 39(10): 2415-2426.
- [4] 杜宇. 华南沿海降水日变化传播特征和机制研究[C]//中国气象学会. 第 35 届中国气象学会年会 S1 灾害天气监测、分析与预报. 北京: 中国气象学会, 2018: 383-384.