

杨明鑫, 林振敏, 曾小团, 等. 广西夏季昼夜降水特征及其差异成因分析[J]. 气象研究与应用, 2024, 45(3): 57-62.

YANG Mingxin, LIN Zhenmin, ZENG Xiaotuan, et al. Characteristics of summer diurnal precipitation and the causes of its differences in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(3): 57-62.

## 广西夏季昼夜降水特征及其差异成因分析

杨明鑫, 林振敏\*, 曾小团, 梁依玲, 梁存桂, 周亦靖

(广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

**摘要:** 利用广西89个国家气象站1979—2022年逐日降水观测数据, 分别从昼、夜不同量级的降水量、降水日数的空间分布以及对总降水量的贡献率等方面, 对广西昼夜降水变化及其差异特征进行研究, 并利用再分析资料对导致广西降水昼夜差异的成因进行探究。结果表明: (1) 在降水量和降水日数上, 广西沿海地区昼夜均偏多, 其余地区日间呈“桂南多, 桂北少”, 夜间呈“桂南少, 桂北多”分布特征, 且在不同量级降水中有体现。(2) 广西地区日间降水量对总降水量的贡献率高于夜间, 但暴雨量级的贡献率则是夜间大于日间。(3) 暴雨量级的夜间降水强度大于日间, 且呈显著增大趋势( $0.72 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ )。 (4) 夜间更强的偏南风、上升运动以及水汽辐合, 利于桂北降水产生。(5) 广西地区水汽主要以由南至北的经向输送为主, 且夜间水汽输送强于日间。

**关键词:** 昼夜降水; 降水日数; 降水强度; 空间差异

**中图分类号:** P426.6 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.3.08

降水量是表征气候特征的重要气象要素之一<sup>[1-2]</sup>, 降水量的昼夜分布情况会改变水分循环及影响植被状况<sup>[3-4]</sup>, 而不同区域昼夜降水量的变化特征各异<sup>[5]</sup>。广西地处云贵高原东南边缘, 地势复杂, 多山地丘陵地形, 洪涝等自然灾害多发。目前, 许多学者就广西降水进行研究, 黄明策<sup>[6]</sup>指出广西暴雨存在明显的日变化。何立等<sup>[7]</sup>指出广西区域MCS的气候分布特征受到地形和海陆热力差异影响。陈炯等<sup>[8]</sup>指出两广地区中尺度对流系统夜发性显著, 导致夜间降水较中国大陆总体平均活跃。Du等<sup>[9-10]</sup>进一步指出华南地区夏季降水受到沿海边界层低空急流影响, 且内陆降水随边界层低空急流强度增加而增加, 且中层垂直速度的日变化能很好的表征降水的日变化。本文对广西夏季昼夜降水分布特征及其差异进行研究, 有利于加深对该区域降水形成和演变机制的认识, 为防灾减灾工作提供重要的科学依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

文本所用资料: (1) 1979—2022年广西地区89个国家站逐日降水观测资料, 包括20—08时、08—20时和20—20时三个时段的累计雨量观测记录。为保证数据的可靠性, 剔除资料长度不够和缺测日数大于总日数5%的站点, 最终有效站点为86个。

(2) 欧洲中心提供的1979—2022年ERA5逐时再分析资料, 包括水平风场、比湿、垂直速度等要素, 水平分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ; 本文选取6、7、8月作为夏季。

### 1.2 研究方法

(1) 降水量级: 12 h降水量0.1~4.9 mm, 为小雨; 12 h降水量5.0~14.9 mm, 为中雨; 12 h降水量15.0~29.9 mm, 为大雨; 12 h降水量30 mm以上, 为暴雨。本文在处理微量降水时将其记录改为0, 因此在计

收稿日期: 2024-01-20

基金项目: 广西自然科学基金项目(2022GXNSFAA035482)、广西气象科研项目(桂气科2024QN03、桂气科2023ZL01、桂气科2020QN03)、广西气象科研项目创新平台专项(BNCO-S202304)

第一作者: 杨明鑫(1995-), 助理工程师, 主要从事天气、气候机理诊断分析。E-mail: 827445384@qq.com

\*通讯作者: 林振敏, 正高级工程师, 主要从事数值天气预报及天气预报技术开发。E-mail: gxnnzml@163.com

算降水量和降水日数时忽略微量降水影响。参照中国气象局降水量等级标准,本文根据不同降雨量,将广西昼夜降水分暴雨、大雨、中雨及以下三个量级进行研究,其中暴雨量级包括暴雨、大暴雨和特大暴雨;中雨及以下量级包括小雨和中雨。

(2)降水日数:单位时间降水量 $\geq 0.1$  mm 视为有降水发生。因此文中将降水量 $\geq 0.1$  mm 的天数作为降水日数,即 20:00—08:00 降水量 $\geq 0.1$  mm 的天数,记为夜间雨日数;08:00—20:00 降水量 $\geq 0.1$  mm 的天数,记为日间雨日数。

(3)降水强度:为了更好的表征降水量与降水日数的关系,定义降水量与降水日数的比值为降水强度。降水强度数值越大,表明在固定时段内,降水量增多,降水更猛烈<sup>[11]</sup>。

(4)整层水汽输送通量可分经向与纬向水汽通量输送,并可以根据经向与纬向水汽输送通量进行积分,计算各边界水汽收支<sup>[12-13]</sup>,用于研究广西夏季昼、夜降水差异与水汽输送之间联系。

纬向水汽输送公式:

$$Q_u = -\frac{1}{g} \int_{p_0}^{p_i} qu dp \quad (1)$$

经向水汽输送公式:

$$Q_v = -\frac{1}{g} \int_{p_0}^{p_i} qv dp \quad (2)$$

东、西、南、北边界水汽收支公式:

$$Q_E = -\frac{1}{g} \int_{\varphi_s}^{\varphi_n} Q_u \cdot I d\varphi \quad (3)$$

$$Q_W = -\frac{1}{g} \int_{\varphi_s}^{\varphi_n} Q_u \cdot I d\varphi \quad (4)$$

$$Q_S = -\frac{1}{g} \int_{\lambda_w}^{\lambda_e} Q_v \cdot I \cdot \cos \varphi_s d\lambda \quad (5)$$

$$Q_N = -\frac{1}{g} \int_{\lambda_w}^{\lambda_e} Q_v \cdot I \cdot \cos \varphi_n d\lambda \quad (6)$$

区域边界总收支公式:

$$Q_i = Q_s - Q_n + Q_w - Q_e \quad (7)$$

其中  $Q_i$  为总水汽收支,  $Q_e$ 、 $Q_w$ 、 $Q_s$ 、 $Q_n$  分别为东、西、南、北边界水汽输送总量,  $I$  表示  $1^\circ$  经度的长度,  $\varphi$  为纬度,  $\lambda$  为经度。

文中主要分析广西夏季昼夜降水的变化特征,以及对不同量级降水占总降水的贡献率进行研究,并在此基础上,通过再分析资料对引起广西昼夜降水差异的环流特征以及水汽输送特征进行研究。

## 2 结果与分析

### 2.1 广西夏季昼夜降水特征

由图 1a、1b 可知,广西夏季昼、夜降水量分布存在差异。其中,沿海地区为昼夜降水大值中心,桂南地区日间降水量明显多于桂北,形成由南向北逐渐减少的分布特征,而夜间降水则在桂西北地区存在着一个降水大值中心,呈现出桂南少于桂北的分布特征。多年平均降水分布(图 1c)呈现出南北多,中间少的分布特征,其中沿海地区降水量最大,其次是桂北地区。图 1d、1e 进一步给出夏季昼、夜降水与总降水量的比重。可以看出,昼、夜降水主要影响的区域不同,日间降水对桂东南地区的影响更强,夜间降水则对桂北西的影响更强。

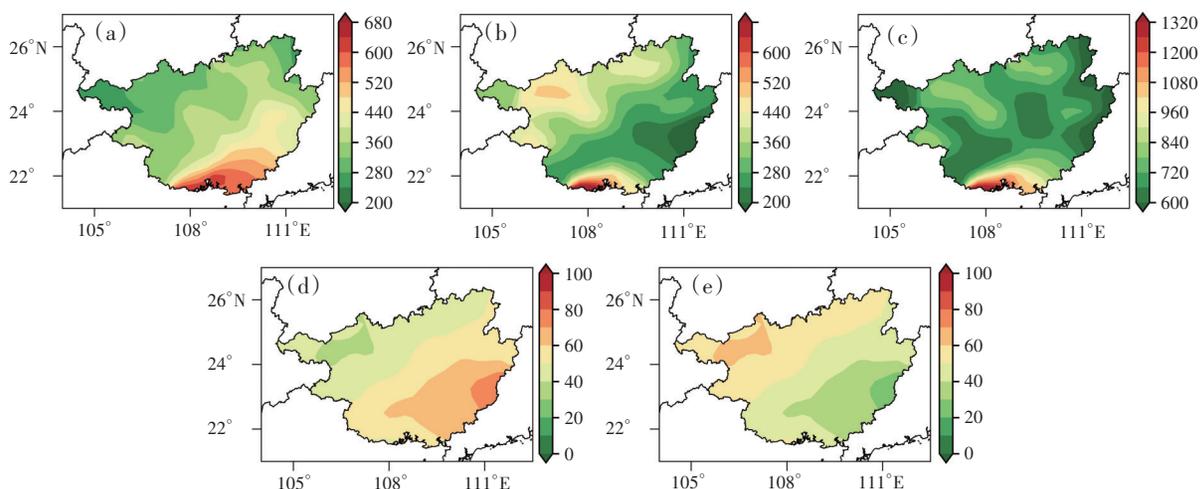


图1 夏季多年平均降水量分布(单位:mm)与占比(单位:%)

(a)昼降水;(b)夜降水;(c)日降水;(d)昼降水/日降水;(e)夜降水/日降水

不同量级降水对于同一地区的影响同样存在差异,图2给出不同量级降水量的空间分布。由图可知,在昼、夜不同量级降水空间分布上沿海地区均为降水大值区,除沿海地区外,其余地区昼、夜降水则在空间上形成相反的特征。从日间降水分布来看(图2a、2c、2e),各量级降水量均呈现“南多北少”分布特征,其中大雨(图2a)和中雨及以下(图2c)量级的降水量在桂东南地区存在明显大值中心,暴

雨(图2e)量级降水的大值中心则位于沿海一带(钦州、防城港、北海)。从夜间降水分布来看(图2b、2d、2f),各同量级降水在桂东南地区表现为明显的降水低值中心,在沿海地区和桂北地区均表现为降水大值区。此外,夜间暴雨量级降水的空间分布(图2f)与夏季平均夜间降水空间分布最为一致(图1b),表明暴雨量级的降水对广西夜间降水分布特征有着重要影响。

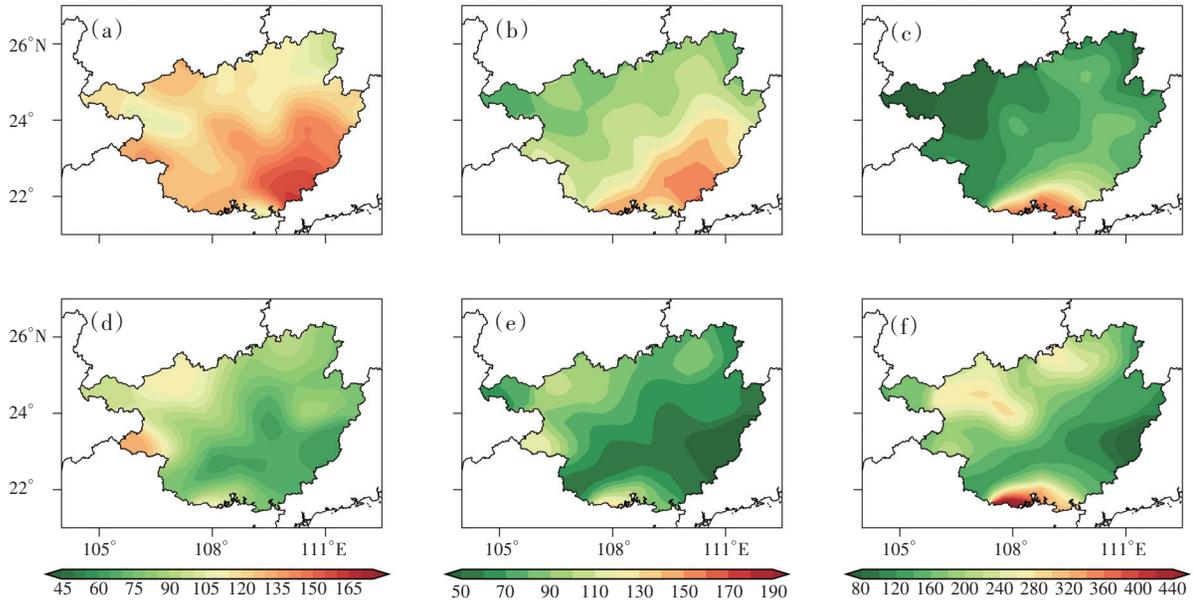


图2 不同量级(a、b:中雨及以下;c、d:大雨;e、f:暴雨)昼夜降水量分布(a、c、e:日间;b、d、f:夜间)(单位:mm)

图3则给出夏季昼夜不同量级降水对总降水量的贡献率。由图可知,昼夜降水均对广西夏季降水有着重要作用,其中日间降水量占总降水量的53.02%,夜间降水量占总降水量的46.98%,日间降水多于夜间降水,但两者之间差距较小。从不同量级的降水贡献率来看,大雨和中雨及以下量级的降

水均是日间降水贡献率大于夜间降水。但是暴雨量级相反,夜间暴雨量级降水量占总降水量的25.52%,日间暴雨量级降水量占总降水量的20.32%,表明夜间暴雨量级降水比日间暴雨量级降水对广西的影响更强。

其次,日间不同量级降水量之间贡献率差异较小,暴雨、大雨和中雨及以下的贡献率分别是20.32%、15.25%和17.45%,而夜间不同量级降水量之间的贡献率差异则较明显,暴雨、大雨和中雨及以下的贡献率分别是25.52%、9.88%和11.59%。夜间暴雨的贡献远大于大雨、中雨及以下量级的降水贡献,进一步表明暴雨量级的降水是广西夏季夜间降水的最主要贡献者,也是影响广西夜间降水分布的重要因子。

## 2.2 昼夜降水日数的分布特征

进一步对昼、夜降水日数进行分析,从整体分布上来看,日间降水日数多于夜间,大部分地区日间降水日数在40 d以上,并且在桂东南地区存在一个

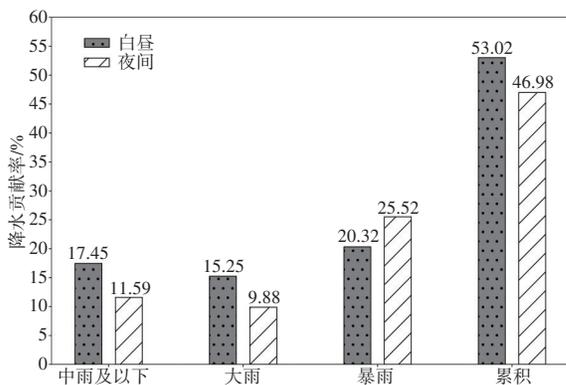


图3 夏季不同量级昼夜降水贡献率

降水日数大值中心(图4a);夜间,除沿海地区外,其余地区降水日数呈现出桂北多、桂南少的分布特征,尤其是桂东南至南宁、崇左一带区域,为明显的降水日数低值区(图4b)。

图5给出不同量级降水日数的空间分布。总降水日数以中雨及以下量级的降水日数为主,大雨和暴雨量级的日数均在10 a以内。除沿海地区外,其余地区各量级日间降水日数呈“东南多,西北少”分布特征;夜间降水日数呈“东南少,西北多”分布特

征,昼、夜降水日数分布特征相反。

针对暴雨量级降水的昼夜差异,图6给出昼、夜降水强度随时间的变化。由图6可知,昼、夜降水强度随时间的有着同步变化,同时增加或减少;此外,夜间降水强度大于日间。从两者的趋势变化看,昼夜降水强度均随时间存在着增大的趋势,夜间降水强度有显著增加趋势( $P<0.05$ ),日间降水强度增加趋势不显著( $P>0.05$ )。降水强度的增加可能使广西地区夜间面临更强的降水量。

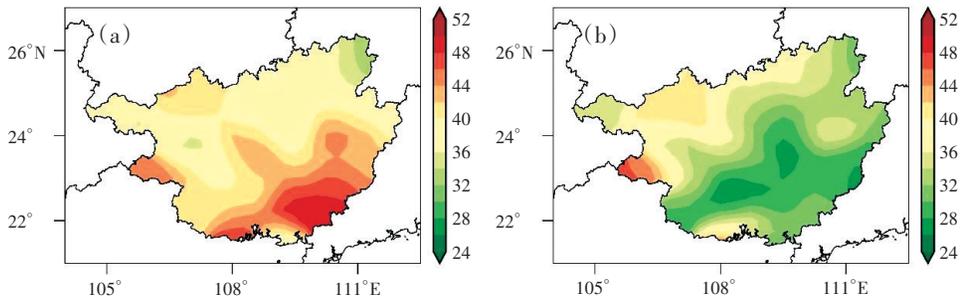


图4 夏季昼夜降水日数分布(单位:d)  
(a)日间;(b)夜间

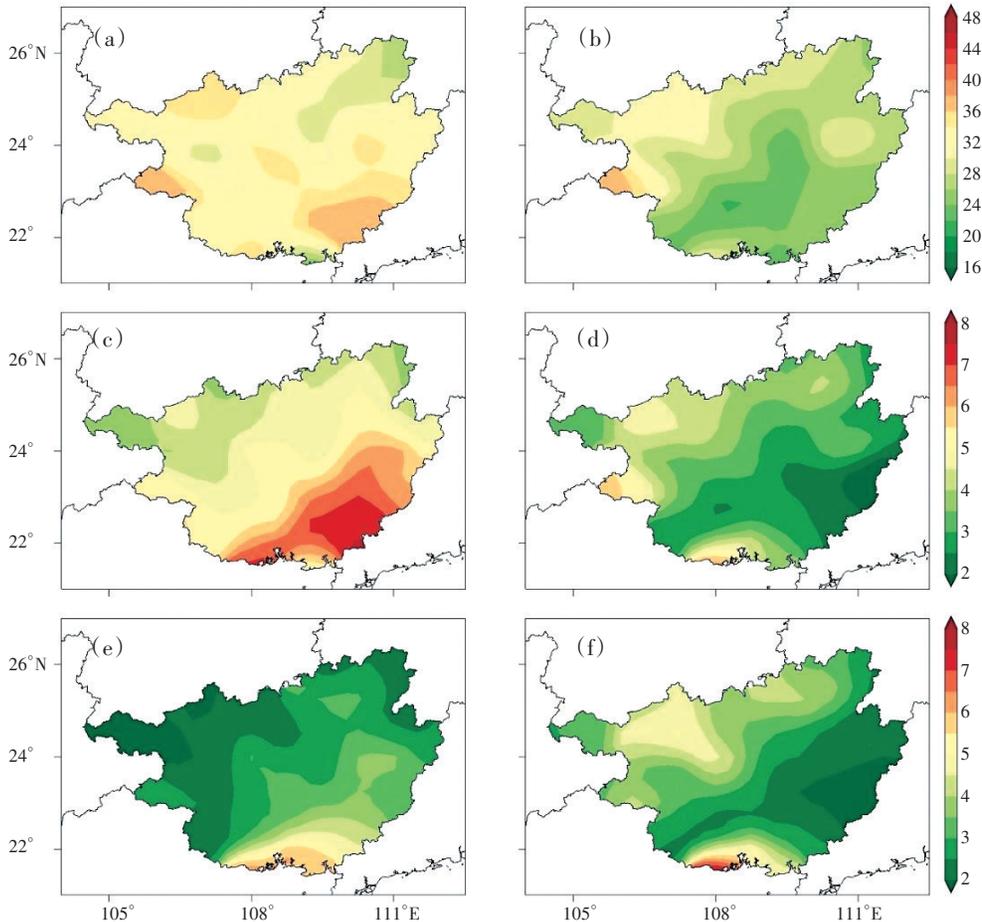


图5 不同量级(a,b:中雨及以下;c,d:大雨;e,f:暴雨)昼夜降水日数分布(a,c,e:日间;b,d,f:夜间)(单位:d)

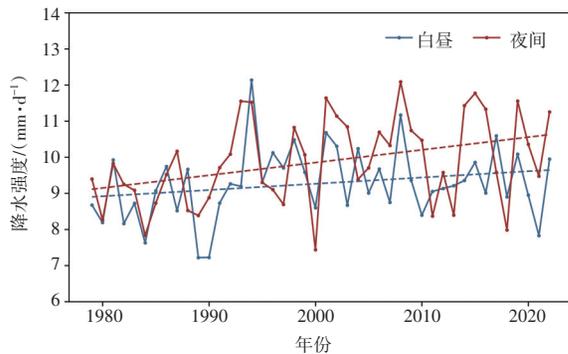


图6 夏季昼夜暴雨量级强度变化时间序列

### 3 昼夜降水差异与成因分析

#### 3.1 昼夜环流形势差异

从多年平均 850 hPa 垂直速度的昼夜分布可以看出, 1979—2022 年, 广西夏季大部分区域垂直速度  $< 0$  Pa/s, 有上升运动。从昼、夜对比可以看出, 夜间上升运动强于日间, 尤其是桂北地区, 强的上升运动更有利于降水形成。从 850 hPa 风场来看, 夏季广西地区低层主要受到偏南风控制, 但夜间风场强度明显强于日间, 低层偏南风有利于水汽输送至广西地区。从 850 hPa 水汽通量及其散度也能看出, 广西的水汽主要来源于南面的水汽输送, 夜间水汽辐合强于日间, 夜间强的偏南风和水汽辐合更有利于降水形成。覃皓等<sup>[14]</sup>指出广西地区夜间低空急流发展增强, 有利于降水的产生。因此, 从环流形势来看, 夜间强的上升运动和水汽辐合是导致广西地区夜间降水大于日间降水的成因之一。

#### 3.2 昼夜水汽输送差异

从夏季昼、夜的整层水汽通量及其散度的分布看, 与夜间相比, 日间的整体水汽通量较弱, 水汽通量辐合较差, 但在桂东南地区仍有水汽辐合存在; 夜间则在沿海地区有明显的水汽辐合中心, 其次由南至北水汽逐渐增强, 并在桂北地区形成明显的水汽辐合中心。

为研究广西水汽输送情况, 根据整层水汽分布, 选取  $20.75^{\circ} \sim 26.5^{\circ} \text{N}$ ,  $104.25^{\circ} \sim 112.25^{\circ} \text{E}$  为广西水汽收支研究区域, 分别为东、西、南、北四条边界。从四条边界水汽输送随时间的变化来看, 昼、夜水汽输送随时间变化特征一致, 西边界和南边界主要为水汽输入, 北边界和东边界主要为水汽输出, 南边界水汽输入最强、北边界水汽输出最强。从各个边界的昼夜水汽收支多年平均看出, 广西的水汽主

要来自南边界, 其次是西边界, 北边界和东边界为净水汽输出。其中, 日间经向水汽输入量为  $1.76 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ , 纬向水汽输入量为  $0.43 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ , 净水汽输入量为  $2.19 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 夜间经向水汽输入量为  $2.92 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ , 纬向水汽输入量为  $0.93 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ , 净水汽输入量为  $3.85 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ 。昼夜相比, 可以看出夜间净水汽输入大于日间, 主要源于夜间的经向水汽输送更强。夜间更强的经向水汽输送有利于降水的产生。

### 4 结论和讨论

本文利用广西国家气象观测站点资料和 ERA5 再分析资料, 对广西夏季昼夜降水分布特征及其差异进行分析, 并初步探讨造成广西昼夜降水差异的成因, 得出以下结论:

(1) 广西沿海地区昼夜降水量、降水日数均呈现出偏多的分布特征, 除沿海地区以外, 其余地区呈现出日间“桂南多, 桂北少”, 夜间“桂南少, 桂北多”的分布差异, 并且这种差异在不同量级降水中均有体现。

(2) 广西地区日间降水量对总降水量的贡献率高于夜间, 但暴雨量级的贡献率夜间大于日间。

(3) 昼夜降水强度有着同步的变化, 但夜间暴雨量级降水强度大于日间, 且呈显著增大趋势。

(4) 广西地区主要以由南至北的经向水汽输送为主, 夜间水汽输送强于日间, 夜间更强的偏南风、上升运动和水汽辐合, 更利于桂北降水产生。

广西地区夏季降水情况复杂, 受多种因素影响, 并且与其它区域相比, 沿海地区在昼、夜分布上均呈现出偏强的分布特征, 对于该情况的出现, 可能与海陆热力差异的影响有关, 由此将进一步对产生这种分布特征的成因进行探究。同时, 本文仅从环流形势和水汽输送的角度对昼夜降水差异成因进行探讨, 未从局地的陆气相互作用影响, 如地形分布、午后热对流等进行深入分析。对于这些问题在后续的研究中, 通过高分辨数值模拟进一步分析是有必要的。

#### 参考文献:

- [1] 张养才, 叶一舫. 中国亚热带西部山区夜雨特征的农业气候学研究[J]. 地理科学, 1994(1):30-37, 99.
- [2] 白松竹, 李博渊, 黄晓华. 阿勒泰地区暖季昼夜降水气候特征[J]. 沙漠与绿洲象, 2015, 9(1):45-51.

- [ 3 ] IMAOKA K, SPENCER R W. Diurnal variation of precipitation over the tropical oceans observed by TRMM/TMI combined with SSM/I [J]. *Journal of climate*. 2000, 13(23): 4149–4158.
- [ 4 ] MAPES B E, WARNER T T, XU M, et al. Diurnal patterns of rainfall in northwestern South America. Part I: Observations and context [J]. *Monthly Weather Review*. 2003, 131(5): 799–812.
- [ 5 ] 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.
- [ 6 ] 黄明策. 广西暴雨时空分布特征[J]. *广西气象*, 2006(3):9–13.
- [ 7 ] 何立, 黄小燕, 赵金彪, 等. 广西区域夏季中尺度对流系统时空分布特征[J]. *气象研究与应用*, 2016, 37(1):6–9, 130.
- [ 8 ] 陈炯, 郑永光, 张小玲, 等. 中国暖季短时强降水分布和日变化特征及其与中尺度对流系统日变化关系分析[J]. *气象学报*, 2013, 71(3):367–382.
- [ 9 ] DU Y, CHEN Y L, ZHANG Q. Numerical simulations of the boundary layer jet off the southeastern coast of China [J]. *Monthly Weather Review*. 2015, 143(4): 1212–1231.
- [10] DU Y, ROTUNNO R. Diurnal cycle of rainfall and winds near the south coast of China [J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 2018, 75(6): 2065–2082.
- [11] 韩云环, 马柱国, 杨庆, 等. 增暖背景下新疆昼夜降水的变化特征[J]. *气候与环境研究*, 2014, 19(6):763–772.
- [12] SHI F, HAO Z, SHAO Q. The analysis of water vapor budget and its future change in the Yellow-Huai-Hai region of China [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2014, 119(18): 10702–10719.
- [13] 卢姝, 许东蓓, 严小杰, 等. 西北半干旱区一次盛夏暴雨水汽追踪分析[J]. *自然灾害学报*, 2021, 30(5):122–134.
- [14] 覃皓, 农孟松, 邱滋, 等. 2022年广西“龙舟水”暖区暴雨中低空急流的日变化机制[J]. *气象研究与应用*, 2023, 44(1):20–25.

## Characteristics of summer diurnal precipitation and the causes of its differences in Guangxi

YANG Mingxin, LIN Zhenmin\*, ZENG Xiaotuan, LIANG Yiling, LIANG Cungui, ZHOU Yijing  
(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China)

**Abstract:** Based on the observed daily precipitation data from 89 meteorological stations in Guangxi from 1979 to 2022, this study systematically investigates the diurnal precipitation variations and their differences in Guangxi in terms of the amount of precipitation of different magnitudes during both daytime and nighttime, the spatial distribution of the numbers of precipitation days, and the contribution rate to the total precipitation, and uses the reanalysis data to investigate the causes of the diurnal differences in precipitation in Guangxi. The results show that: (1) for precipitation and the number of precipitation days, the coastal areas of Guangxi have a higher amount of precipitation during both day and night. Apart from the coastal areas, the precipitation during daytime exhibits a pattern of “more precipitation in southern Guangxi and less in northern Guangxi”, while in nighttime shows a distribution of “less precipitation in southern Guangxi and more in northern Guangxi”. Moreover, this distribution pattern is found in the different levels of precipitation intensity. (2) Daytime precipitation contributes more significantly to the total precipitation in Guangxi than at night. However, for rainstorms, but the contribution of heavy rainfall is greater at night than during the daytime. (3) For rainstorms, the precipitation intensity at nighttime is greater than that in the daytime, with a significant increasing trend ( $0.72 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ). (4) The stronger southerly winds, upward motion, and moisture convergence during nighttime in Guangxi are conducive to the generation of precipitation in the northern areas of Guangxi. (5) The primary moisture transport in Guangxi mainly transports in the meridional direction from south to north, with stronger water vapour transport at night than during the day.

**Key words:** diurnal precipitation; precipitation days; precipitation intensity; spatial variation