

## ◆特邀栏目◆

东盟十国降水时空变化特征分析<sup>\*</sup>何忠<sup>1</sup>, 杨绍锸<sup>2\*\*</sup>, 谢国雪<sup>2</sup>, 陈燕丽<sup>3</sup>, 黄启厅<sup>2</sup>, 苏秋群<sup>2</sup>, 张家玫<sup>2</sup>

(1. 广西农垦集团有限责任公司, 广西南宁 530022; 2. 广西壮族自治区农业科学院农业科技信息研究所, 广西南宁 530007; 3. 广西壮族自治区气象科学研究所, 广西南宁 530022)

**摘要:**为揭示东南亚国家联盟(Association of Southeast Asian Nations, ASEAN, 简称东盟)区域及东盟各国降水时空变化特征, 基于2015-2017年全球卫星降水观测计划(GPM)系统卫星数据集, 采用遥感影像平滑、数据统计等方法分析月降水量时间序列周期性及其空间上的分布特征。结果表明: 文莱、印尼、马来西亚是东盟十国中降水量排行前三的国家, 年平均降水量约3 000 mm, 各月平均降水量均接近或者超过200 mm; 新加坡和菲律宾年平均降水量约2 400 mm; 柬埔寨、老挝、缅甸、越南、泰国年降水量为1 600-2 100 mm; 缅甸中部、泰国北部、柬埔寨中部是东盟降水最少的地区, 降水较多的区域集中出现在马来西亚中部、菲律宾东部、缅甸南部沿海地区及印尼各主要岛屿。柬埔寨、泰国、越南、老挝、缅甸等位于中南半岛的五国降水主要集中在5-11月, 这个时段的降水量占全年降水量的80%以上。东盟国家降水普遍较充沛, 但各国降水空间分布差异显著, 文莱、印尼、马来西亚、新加坡和菲律宾常年多雨, 无明显旱、雨季之分; 柬埔寨、老挝、缅甸、越南、泰国五国表现出比较一致的雨、旱季交替规律, 雨季为5-11月, 旱季为12月-次年4月。

**关键词:**东盟 降水 空间分布 时序变化 GPM

中图分类号: TV213 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2021)01-0067-07

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20210429.002

## 0 引言

降水是全球水循环的基本组成之一<sup>[1]</sup>, 降水时空分布直接影响淡水资源供给和生态系统维持, 与洪水、干旱、泥石流等灾害具有密切联系。准确掌握降水时空分布特征对水资源管理、灾害防控、农业生产、

社会经济等领域都具有极其重要的意义<sup>[2]</sup>。

传统的降水数据获取以地面雨量站观测为主, 虽然在数据上具备较高精度, 但在空间分布及密度上存在诸多不足, 难以提供精准的降水时空分布特征<sup>[3]</sup>。经过近几十年的迅速发展, 卫星遥感为全球降水监测提供了可靠的技术支撑, 成为了全球降水监测的有效

\* 广西创新驱动发展专项(桂科 AA18118048), 广西自然科学基金项目(2018GXNSFAA281338), 广西农业科学院科技发展基金项目(桂农科 2020YM81)和广西农科院优势学科团队项目(桂农科 2018YT14)资助。

## 【作者简介】

何忠(1971-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事农业产业化技术研究。

## 【\*\*通信作者】

杨绍锸(1980-), 男, 副研究员, 主要从事农业与生态遥感研究, E-mail: yangshe88@126.com。

## 【引用本文】

何忠, 杨绍锸, 谢国雪, 等. 东盟十国降水时空变化特征分析[J]. 广西科学院学报, 2021, 37(1): 67-73.

HE Z, YANG S E, XIE G X, et al. Analysis on the Spatial and Temporal Characteristics of Precipitation in Ten ASEAN Countries [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2021, 37(1): 67-73.

手段<sup>[2,4]</sup>。其中 Global Precipitation Measurement mission (GPM) 系统卫星数据是当前最具代表性的全球降水监测数据。GPM 是用于全球降水观测的国际卫星网络, 由美国国家航空和宇宙航行局 (NASA)、日本宇航探索局 (JAXA) 创办, 并由包括法国航天局、印度空间研究组织和欧洲气象卫星开发组织等国际空间研究机构共同参与运行。GPM 卫星于 2014 年 2 月 27 日发射, 在继承了 TRMM<sup>[5,6]</sup> 探测大中型降水的能力之外, GPM 还搭载了最新的双频雷达系统并改进了微波辐射计的性能, 提高了对弱降水和固态降水的探测能力<sup>[7]</sup>, 众多学者研究结果都显示, GPM 具有较高的降水监测精度<sup>[8-10]</sup>。东南亚国家联盟 (Association of Southeast Asian Nations, ASEAN, 简称东盟), 现由马来西亚、印尼、泰国、菲律宾、新加坡、文莱、越南、老挝、缅甸和柬埔寨共 10 个成员国组成。东盟是我国“一带一路”国际合作的重要伙伴, 也是和中国山水相连的近邻。近年来, 随着中国-东盟自由贸易区建设进程不断深入, 中国与东盟各国的合作交往日趋增多。准确掌握东盟各国的降水时空特性, 是研究东盟各国农业生产、社会经济等方面的重要基础, 可为制定相关对内、对外政策提供关键参考依据。为此, 本文基于 2015-2017 年的 GPM 系统卫星数据集, 对东盟区域及东盟各国分别开展降水时空变化特征分析。

## 1 数据与方法

### 1.1 GPM 系统卫星数据简介

GPM 提供了多种不同时间分辨率的降水数据产品, 可通过 NASA 官方服务网站下载 (<https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/gpm>)。本研究采用的是 3 级数据产品 3IMERGM\_GIS 数据集, 时间跨度从 2015 年 1 月至 2017 年 12 月共 36 个月。结合 GPM 携带的传感器数据和地球同步卫星数据, 并根据国际气象中心发布的雨量计数据进行修正, 得出 GPM IMERG 卫星降水产品<sup>[11]</sup>; 该数据集包含全球月平均降水速率数据, 时间分辨率为月, 空间分辨率为  $0.1^\circ$ , 数据单位为  $0.001 \text{ mm/h}$ 。

### 1.2 降水数据处理

#### 1.2.1 全范围数据裁剪

为减少计算过程的数据量, 提高数据处理程序运行速度, 对数据进行裁剪处理。为保证裁剪后数据的完整性, 将东盟十国行政边界向外扩展  $1^\circ$  (约 111 km), 应用 ENVI/IDL 平台调用数据裁剪功能 (Sub-

set), 基于扩展边界进行数据裁剪 (图 1)。

#### 1.2.2 降水量计算

3IMERGM\_GIS 数据集的影像像元值为降水速率, 为获取不同月份的降水量数据, 通过以下公式将降水速率转换为降水量:

$$P = 1000V \times T,$$

式中  $P$  为降雨量, 单位为  $\text{mm}$ ;  $V$  为降水速率, 单位为  $0.001 \text{ mm/h}$ ;  $T$  为对应月份的小时总数, 单位为  $\text{h}$ 。

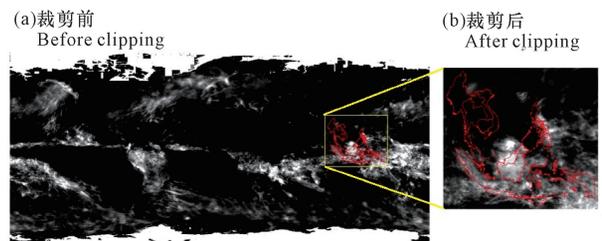


图 1 数据裁剪前后效果对比

Fig. 1 Comparison of effect before and after data clipping

#### 1.2.3 数据重采样及平滑

东盟十国降水量裁剪影像空间分辨率为  $0.1^\circ$  (约 11 km), 每个像元的空间跨度较大, 而部分东盟国家国土面积较小, 例如新加坡的国土面积只有  $714 \text{ km}^2$ , 在  $0.1^\circ$  空间分辨率影像中难以呈现小区域范围的降水量变化细节。因此将影像分辨率从  $0.1^\circ$  转换成  $0.005^\circ$ , 并对转换后的  $0.005^\circ$  影像进行数据平滑。影像分辨率转换和数据平滑均在 ENVI/IDL 平台中进行, 其中分辨率转换使用 Resize 模块, 选用最近邻点法进行数据重采样; 数据平滑使用的是 IDL “SMOOTH” 函数, 运用 boxcar 平均进行数据运算, 变换核大小是  $30 \times 30$  (图 2)。

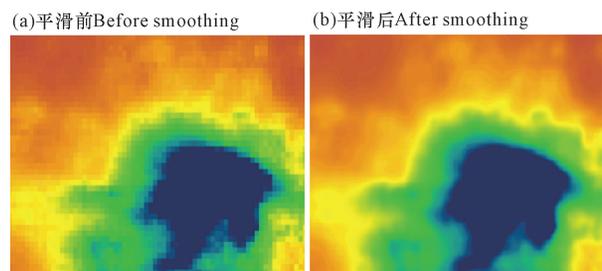


图 2 数据平滑前后效果对比

Fig. 2 Comparison of effect before and after data smoothing

#### 1.2.4 年度影像合成

年度降水量影像生产依托各月降水影像, 在经过以上步骤获取各月降水影像基础上, 将不同年份的 1-12 月降水影像进行求和计算, 生成年度降水量影像。年度影像合成利用 ENVI 软件平台的波段计算

功能,编写求和公式并选取对应月份影像进行求和汇总。

### 1.2.5 影像裁剪及降水量统计

为实现对东盟全境及各国降雨量的统计分析,应用 ENVI/IDL 平台的数据裁剪功能 (Subset), 依据东盟和各个国家的矢量边界, 对平滑后的月降水量影像及年度降水量合成影像进行裁剪, 分别获取东盟及各个国家的月降水量及年度降水量影像。

利用 ENVI 软件的波段计算功能, 将 2015 - 2017 年总共 3 期的年度降水量进行平均, 获得 2015 - 2017 年东盟全境的年平均降水量。

基于各国月度及年度影像进行降水量平均值计算, 得到各国月降水量及年降水量。降水量计算公式为

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

式中  $P$  为降雨量, 单位为 mm;  $P_i$  为降水影像像元数值, 单位为 mm;  $n$  为各国范围内降水量影像像元总数量。

## 2 结果与分析

### 2.1 东盟降水分布分析

根据 2015 - 2017 年降水量数据 (表 1) 显示, 东盟十国中年平均降水量最大的国家为文莱, 达到了 3 445 mm, 其余依次为马来西亚、印尼、菲律宾、新加坡、缅甸、越南、老挝、柬埔寨、泰国。东盟国家降水普遍较充沛, 年平均降水量都超过 1 600 mm。其中文莱、马来西亚、印尼同属热带雨林气候, 常年炎热多雨, 文莱和马来西亚的年平均降水量超过了 3 000 mm, 印尼的年平均降水量也接近 3 000 mm, 2017 年

文莱的年降水总量甚至达到了 4 024 mm。新加坡和菲律宾的年平均降水量超过 2 400 mm, 相对于文莱、马来西亚、印尼三国的降水量有所减少, 但 2017 年总降水量也达到了 2 938 和 2 966 mm, 2015 年总降水量也有 1 872 和 2 067 mm, 可见这两个国家的降水量也十分充沛。其余国家中, 缅甸和越南的年平均降水量在 2 000 mm 以上, 老挝和柬埔寨的年平均降水量超过 1 800 mm, 而泰国降水量则相对较少, 在 2014 年降水量只有 1 439 mm, 是东盟十国中年平均降水量最少的国家。

东盟各国的降水量最大值均出现在 2017 年, 东盟十国中除了文莱和柬埔寨以外, 其余国家降水量都是逐年增加。然而由于此次研究只使用了 2015 - 2017 年总共 3 年的数据, 数据量较少, 尚不足以断定东盟地区具有降水量逐年升高的趋势。

2015 - 2017 年东盟全境年平均降水量空间分布如图 3 所示。由图 3 可见, 东盟各国降水空间分布差异显著, 文莱、马来西亚、印尼、新加坡、菲律宾等热带海岛国家的降水量较大, 而柬埔寨、泰国、越南、老挝、缅甸等位于中南半岛的国家降水量相对较少, 尤其在缅甸中部、泰国北部、柬埔寨中部等区域, 是东盟降水最少的地区。降水量较大的区域集中出现在马来西亚中部、菲律宾东部、缅甸南部沿海地区及印尼各主要岛屿。

### 2.2 东盟各国降水季节变化分析

根据 2015 - 2017 年各国各个月份的降水量数据, 计算各月的 3 年平均降水量, 并分别统计各国 5 - 10 月降水量占全年总降水量的比例, 结果如表 2 所示。同时, 分别制作各国的月降水量柱状图, 结果如图 4 所示。根据表 2 和图 4 结果对各国的降水季节性变化特征进行分析。

表 1 东盟各国年度降水量统计表 (mm)

Table 1 Annual precipitation statistics of ASEAN countries (mm)

年份 Year	文莱 Brunei	印尼 Indonesia	马来西亚 Malaysia	新加坡 Singapore	菲律宾 Philippines	柬埔寨 Cambodia	老挝 Laos	缅甸 Myanmar	越南 Vietnam	泰国 Thailand
2015	3 323	2 421	2 720	1 872	2 067	1 527	1 749	1 969	1 795	1 439
2016	2 988	3 248	2 813	2 458	2 411	1 961	1 854	2 083	2 070	1 655
2017	4 024	3 284	3 493	2 938	2 966	1 949	2 029	2 222	2 153	1 994
平均 Average	3 445	2 984	3 009	2 423	2 481	1 813	1 878	2 091	2 006	1 696

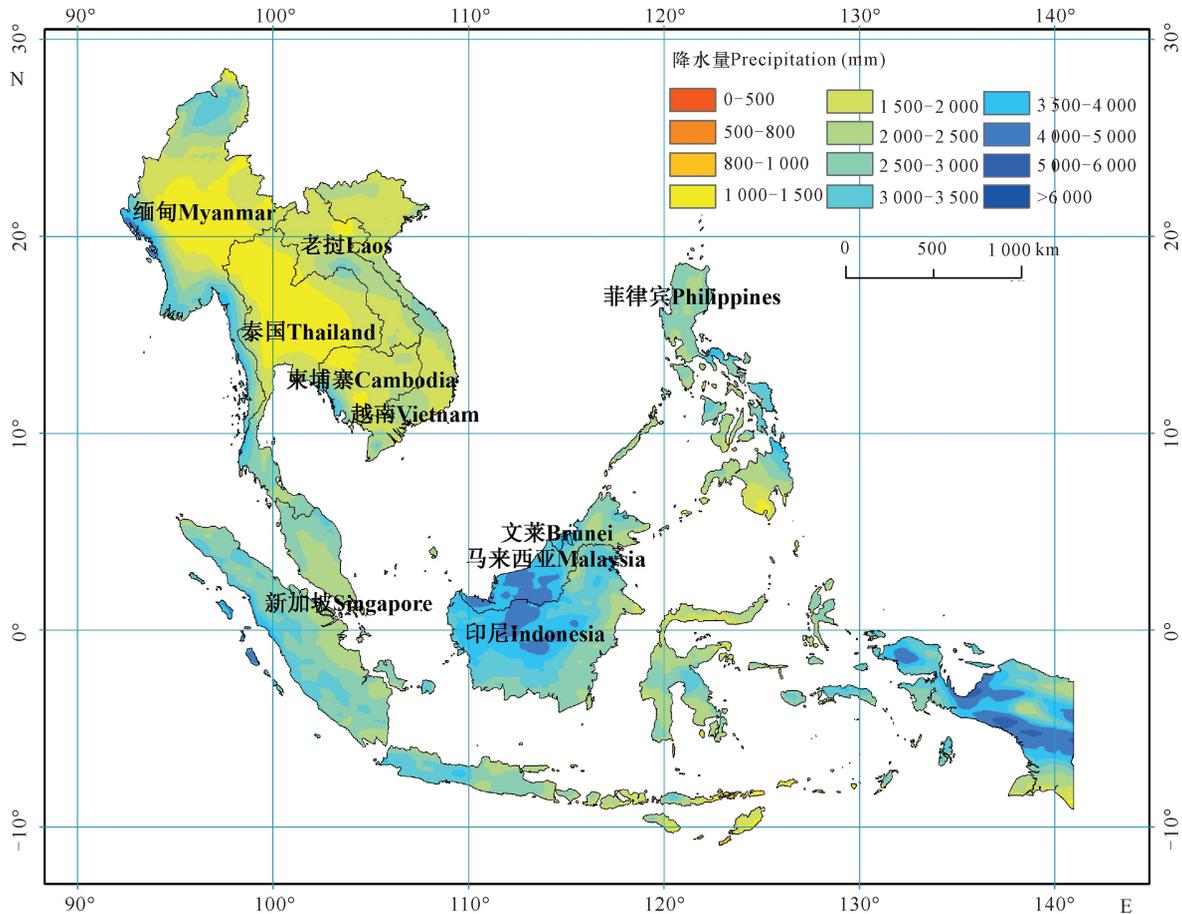


图3 2015-2017年东盟年度平均降水量空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of annual average precipitation in ASEAN in 2015 - 2017

表2 各国5-10月降水量占全年降水量比例

Table 2 Proportion of precipitation from May to October in annual precipitation of various countries

国家 Country	百分比 Percentage (%)	国家 Country	百分比 Percentage (%)
文莱 Brunei	47.8	柬埔寨 Cambodia	84.5
印尼 Indonesia	41.7	老挝 Laos	82.8
马来西亚 Malaysia	46.6	缅甸 Myanmar	90.2
新加坡 Singapore	45.3	越南 Vietnam	74.1
菲律宾 Philippines	61.1	泰国 Thailand	80.9

### 2.2.1 文莱

终年多雨,降水丰富,2015-2017年各月降水量均在100 mm以上,各月的3年平均降水量都超过或接近200 mm,没有明显的干湿季节变化。其中2月和3月降水相对偏少,2015年3月最低,为118 mm;而1月、10-12月平均降水量超过350 mm,最高值出现在11月,为401 mm,是文莱降水最丰富的时段。

### 2.2.2 印尼

月平均降水量最高值为4月的299 mm,11月平

均降水量为296 mm;8月平均降水量最低,为165 mm;6-10月是全年中降水相对较少的时段,8月是全年降水量的谷底。各月平均降水量均在150 mm以上,降水充沛,干湿季节差异不明显。

### 2.2.3 马来西亚

常年降水较多,各月平均降水量都在190 mm以上,无明显干湿季节变化,11月至次年1月是降水最丰富的时段,平均降水量11月最高,为350 mm。

### 2.2.4 新加坡

常年潮湿多雨,月降水量变化波动较小,10月至次年1月降水相对集中,2月和3月降水量略微减少。3年平均降水量最大值出现在11月,为329 mm,最小值出现在3月,为141 mm。

### 2.2.5 菲律宾

2-4月是全年降水相对较少的时段,形成降水谷底,其中2016年3月降水量只有38 mm,是2015-2017年中降水量最少的月份;5月降水开始增多,降水持续到次年1月,进入雨季后降水量增长较快,雨季持续时间较长,降水量十分充沛;月平均降水

量最高值出现在10月,为312 mm。

### 2.2.6 柬埔寨

降水主要集中在5-11月,其降水总量占全年降水量的91.1%,各月平均降水量都在120 mm以上,9月的平均降水量最高达到了320 mm;12月至次年4月降水明显减少,2月的平均降水量只有11 mm,在2016年2月降水量仅为3 mm,全月几乎没有降水。全年呈现雨旱季节明显交替的特点。

### 2.2.7 老挝

呈现明显的干湿季节性变化特点,降水集中在5-10月,其降水总量占全年降水量的82.8%,各月平均降水量都超过140 mm,7月的平均降水量最高,为386 mm;进入11月至次年4月降水量明显减少,2月的平均降水量最低仅有14 mm。

### 2.2.8 缅甸

降水分布具有明显的季节规律性,降水主要集中

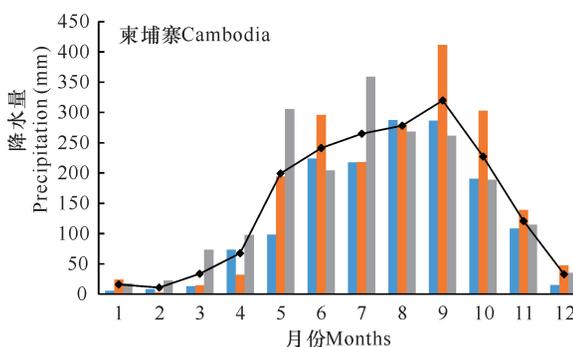
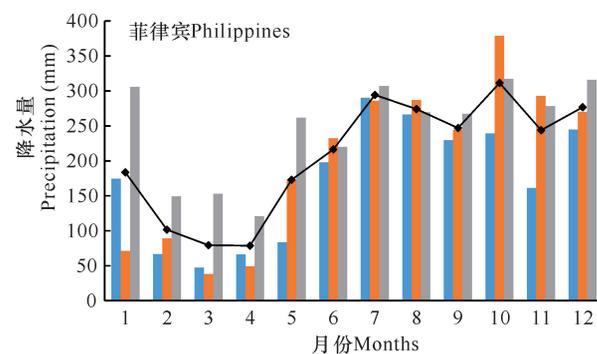
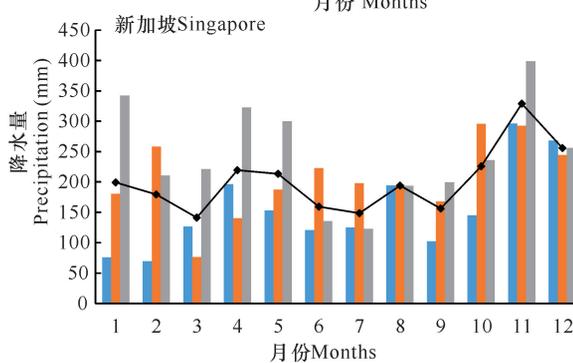
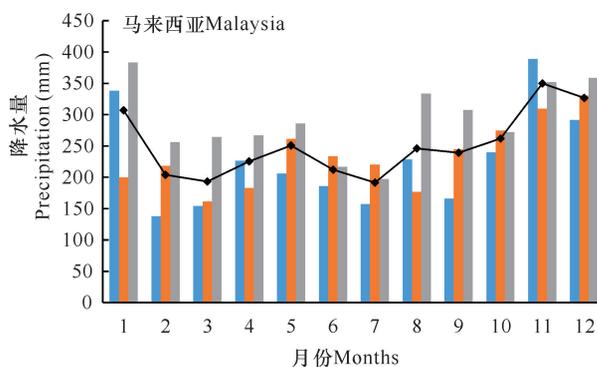
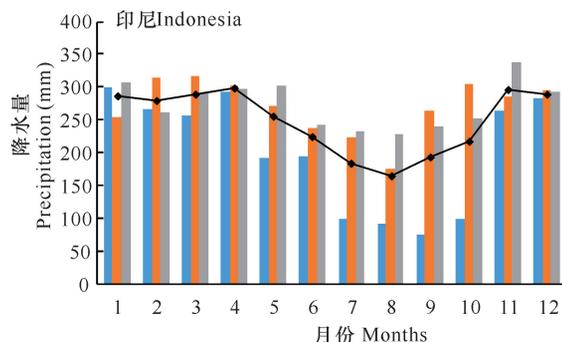
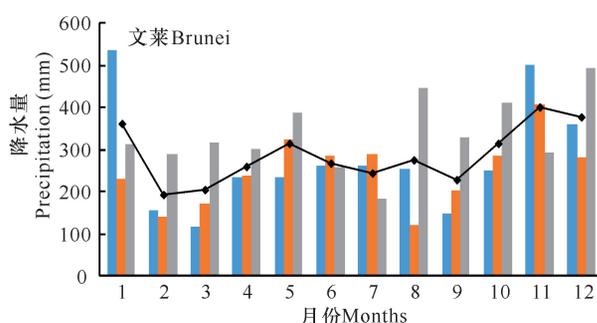
在5-10月,其降水总量占全年降水量的90.2%,在7月达到峰值(平均降水量为460 mm);11月至次年4月降水明显减少,2月是全年降水最少的时段,平均降水量只有11 mm。

### 2.2.9 越南

5-11月降水量较大,均超过了175 mm,9月达到峰值(平均降水量为297 mm),5-11月降水总量占全年降水量的83.7%;12月至次年4月降水量相对减少,2月为全年降水最少的时段,平均降水量为23 mm。全年干湿季节变化明显。

### 2.2.10 泰国

降水主要集中在5-10月,其降水总量占全年降水量的80.9%,各月平均降水量都在180 mm以上,7月的平均降水量最高,为275 mm;11月至次年4月降水明显减少,2月降水最少,平均降水量为14 mm,全年雨旱季节交替特点明显。



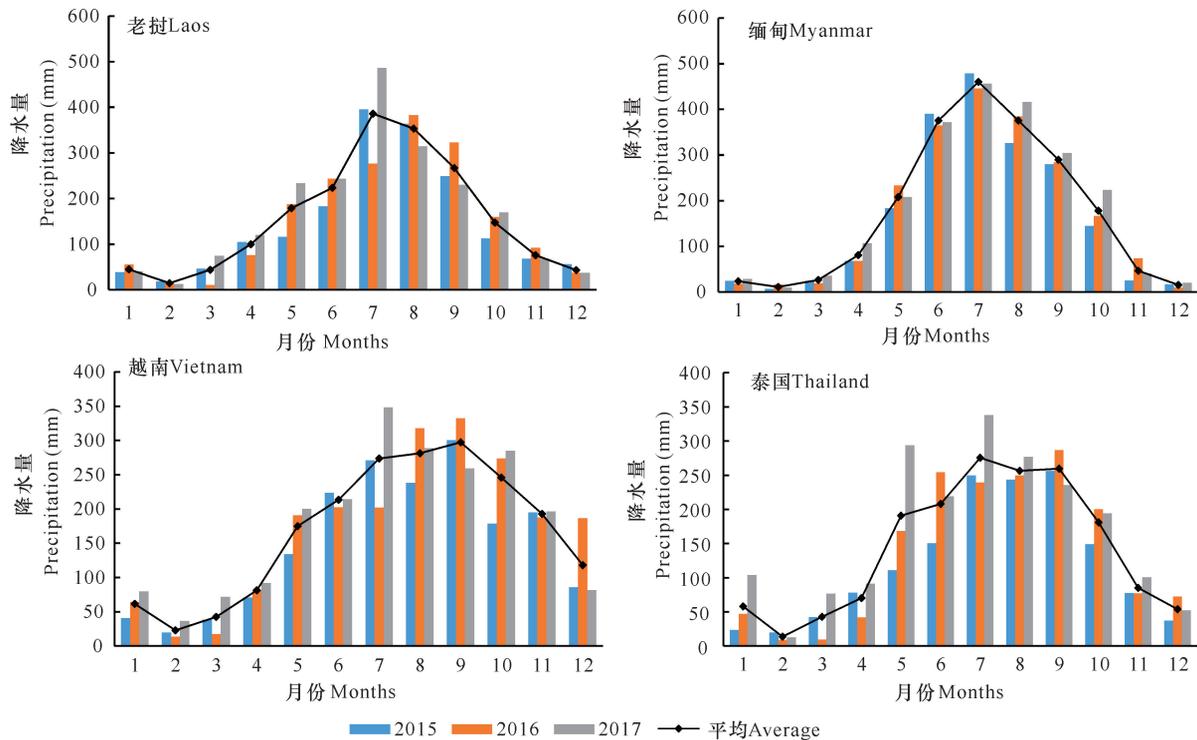


图4 2015-2017年东盟各国月降水量变化图

Fig. 4 Monthly precipitation change of ASEAN countries in 2015-2017

### 3 结论

根据以上数据分析结果可见,东盟各国降水均非常充沛,但降水的区域分布和时间分布在各国差异较大。从地理位置分布上看,处于南洋群岛的文莱、印尼、马来西亚、新加坡和菲律宾的年降水量总体上大于处于中南半岛的柬埔寨、老挝、缅甸、越南、泰国;具体空间分布上,马来西亚中部、菲律宾东部、缅甸南部沿海地区及印尼各主要岛屿是降水相对集中的区域,而缅甸中部、泰国北部、柬埔寨中部等是东盟降水最少的地区。文莱、印尼、马来西亚受热带雨林气候影响,常年高温多雨,降水丰富,年平均降水量在3 000 mm左右,各月的平均降水量均接近或者超过200 mm,一些月份的平均降水量达到300 mm,个别月份甚至超出400 mm,是东盟十国中降水量排行前三的国家。新加坡和菲律宾的年降水量虽然少于文莱、印尼、马来西亚三国,但各月的平均降水量较大,例如菲律宾2-4月降水量相对其他月份较少,平均降水量也都接近或超过80 mm。可见文莱、印尼、马来西亚、新加坡和菲律宾五国常年潮湿多雨,无明显旱、雨季之分。地理位置同处中南半岛的柬埔寨、老挝、缅甸、越南、泰国五国,受到热带季风气候的影响,降水显现出比较一致的分布规律,通常在5-11月降水相

对集中,这7个月的降水量占全年降水量的80%以上,在缅甸和柬埔寨甚至90%以上降水都集中在这个时段,而12月至次年4月的降水量只占不到10%,形成了明显的旱、雨季交替的现象。

此次研究中东盟各国呈现出不同的降水时空变化特征,相关结果有望为东盟各国农业生产、社会经济等方面的研究提供帮助,也可为相关涉农企业在种植基地选址、种植品种选取、种植计划制定等方面提供参考。但需指出的是,此次研究采用的是GPM卫星降水监测数据,有别于地面气象观测站点获取的监测数据。虽然众多学者的研究结果都表明GPM降水数据精度较高,但两套数据仍存在着一定的区别,GPM卫星降水数据可以很好地反映区域降水特征,而气象观测站点只能获取点数据,区域代表性有限。此次研究结果中GPM卫星降水数据很好地反映出了东盟各国的空间分布和时序变化特征,但同时也要注意其绝对值与气象站点观测值有偏差,建议谨慎使用相关降水量数值。

#### 参考文献

- [1] BLACUTT L A, HERDIES D L, GONCALVES L G, et al. Precipitation comparison for the CFSR, MERRA-2, TRMM 3B42 and combined scheme datasets in Bolivia [J]. Atmospheric Research, 2015, 163: 117-131.

- [2] HOU A Y, KAKAR R K, NEECK S, et al. The global precipitation measurement mission [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2014, 95(5): 701-722.
- [3] DUAN Z, LIU J Z, TUO Y, et al. Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales [J]. Science of the Total Environment, 2016, 573: 1536-1553.
- [4] HONG Y, CHEN S, XUE X W, et al. Global precipitation estimation and application [M]. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2012.
- [5] 杨绍镠, 廖雪萍, 谭裕模. 基于 TRMM 降水产品的近实时旱情监测——以广西为例[J]. 南方农业学报, 2014, 45(1): 143-147.
- [6] 王兆礼, 钟睿达, 赖成光, 等. TRMM 卫星降水反演数据在珠江流域的适用性研究: 以东江和北江为例[J]. 水科学进展, 2017, 28(2): 174-182.
- [7] 唐国强, 万玮, 曾子悦, 等. 全球降水测量(GPM) 计划及其最新进展综述[J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(4): 607-615.
- [8] 李麒嵩, 张万昌, 易路, 等. GPM 与 TRMM 降水数据在中国大陆的精度评估与对比[J]. 水科学进展, 2018, 29(3): 303-313.
- [9] 唐国强, 洪阳. 星载降水雷达的交叉分析和案例应用[J]. 水利水电技术, 2018, 49(8): 10-18.
- [10] 李媛媛, 宁少尉, 丁伟, 等. 最新 GPM 降水数据在黄河流域的精度评估[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(1): 164-170.
- [11] NING S W, SONG F, UDMALE P, et al. Error analysis and evaluation of the latest GSMaP and IMERG precipitation product over eastern China [J]. Advances in Meteorology, 2017 (11): 1 - 16. DOI: 10. 1155/2017/1803492.

## Analysis on the Spatial and Temporal Characteristics of Precipitation in Ten ASEAN Countries

HE Zhong<sup>1</sup>, YANG Shao'e<sup>2</sup>, XIE Guoxue<sup>2</sup>, CHEN Yanli<sup>3</sup>, HUANG Qiting<sup>2</sup>, SU Qiuqun<sup>2</sup>, ZHANG Jiamei<sup>2</sup>

(1. Guangxi Agricultural Reclamation Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530022, China; 2. Institute of Agricultural Science and Technology Information, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 3. Guangxi Institute of Meteorological Science, Nanning, Guangxi, 530022, China)

**Abstract:** In order to reveal the temporal and spatial characteristics of precipitation in ASEAN region and ASEAN countries, based on the Global Satellite Precipitation Observation Plan (GPM) dataset in 2015 - 2017, the remote sensing image smoothing, data statistics and other methods were used to investigate the periodicity and spatial distribution characteristics of monthly precipitation time series. The results show that Brunei, Indonesia and Malaysia are the top three countries in ASEAN, with an average annual precipitation of about 3 000 mm. And the average monthly precipitation is close to or more than 200 mm. The average annual precipitation of Singapore and Philippines is about 2 400 mm. The annual precipitation of Cambodia, Laos, Myanmar, Vietnam and Thailand is 1 600 - 2 100 mm. Central Myanmar, northern Thailand and central Cambodia are the areas with the least precipitation in ASEAN, and the regions with larger precipitation are concentrated in central Malaysia, eastern Philippines, southern coastal areas of Myanmar and major islands of Indonesia. The precipitation of Cambodia, Thailand, Vietnam, Laos and Myanmar in Indochina Peninsula is mainly concentrated in May to November, and the precipitation in this period accounts for more than 80% of the annual precipitation. The precipitation in ASEAN countries is generally abundant, but the spatial distribution of precipitation varies significantly among the countries. Brunei, Indonesia, Malaysia, Singapore and Philippines are rainy all the year round, and there is no obvious difference between dry and rainy seasons. Cambodia, Laos, Myanmar, Vietnam and Thailand show relatively consistent alternation of dry and rainy seasons. The rainy season is from May to November and dry season is from December to April of the following year.

**Key words:** ASEAN, precipitation, space distribution, time variant, GPM

责任编辑: 陆雁