

大理地区所代表的青藏高原东南缘 降水日变化类型的分析

苏锦兰¹ 杨桂荣¹ 易小蓉²

(1 大理国家气候观象台, 大理 671003; 2 南涧县气象局, 南涧 675700)

摘要: 用谐波分析法对大理地区各气象站2005—2014年的小时降水量做日变化分析, 结果表明, 各站点降水量日变化可用前3个谐波做拟合, 方差贡献率 $\geq 30\%$ 的谐波是显著谐波, 降水量日变化呈现4种形态: 洱海盆地内呈夜间单峰型, 后半夜降水高峰由持续 ≥ 3 h的降水事件引起; 哀牢山起始西侧和点苍山西侧峡谷低地呈夜间峰值是午后峰值1.5倍的双峰型, 后半夜降水高峰多由持续 ≥ 6 h的长时降水事件引起, 傍晚降水次高峰一般由持续 ≤ 5 h的短时降水事件造成; 区域北部高山峡谷区属午后峰值是夜间峰值1.5倍的双峰型, 午后至傍晚的降水峰值由持续 ≤ 10 h的降水事件引起, 夜间降水次峰值由持续4~10 h的降水事件造成; 南部和西部区域呈午后峰值与夜间峰值持平的双峰型, 持续 ≤ 4 h的短历时降水事件易引发午后峰值, 而持续 ≥ 5 h的降水事件则造成夜间降水高峰。这些降水特性的区域差异主要是由于太阳辐射日变化和复杂地形因素引起的湖陆风和山谷风效应造成。

关键词: 青藏高原东南缘, 降水, 日变化, 谐波分析

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.05.003

Type Analysis of Precipitation Diurnal Variation in Dali Region, the Tibetan Plateau Southeast Margin

Su Jinlan¹, Yang Guirong¹, Yi Xiaorong²

(1 Dali National Climate Observatory, Dali 671003 2 Nanjian Meteorological Bureau, Nanjian 675700)

Abstract: The precipitation diurnal variations at 12 stations in Dali region were analyzed by using the harmonic analysis. The results show that the diurnal variations of rainfall at 12 stations, may be fitted by the first three harmonics, and the harmonic was significant when its variance contribution rate was bigger than 30%. Four types were found: Only one single peak in night in the Erhai basin, with rainfall events occurred usually 3 hours or more. Two peaks at the night and afternoon respectively in the valley of the western of Mount Ailao and Diancang: the rainfall at the night peak may last for 6 hours and is 6 times of that of that at the afternoon peak. Two peaks in afternoon and night in the Northern area of alpine valleys: rainfall may lasts 10 hours at the afternoon peak and was 1.5 times of that at the night peak which lasts for 4 hours or more. Two peaks at afternoon and night in Southern and western regions: rainfall events at the afternoon peak and the night peak, were all last around 4-5 hours. The differences between these types are mainly due to the lake-land wind and the hill-valley wind caused by the diurnal change of solar radiation and the complex terrain factors.

Keywords: Tibetan Plateau Southeast Margin, precipitation, diurnal variation, harmonic analysis

0 引言

降水作为气候的一个重要因素, 多年来其时间变化和空间差异是气候变化及气候差异研究重点关注的问题^[1-5]。近10年来随着我国高时空分辨率降水资料的出现, 国内不少学者不再停留于旬、月、季、年、年际等长时间尺度上来研究降水特性, 开始从小时尺度出发深入分析研究: Yu等^[6-7]首次利用我国台站自动观

测降水资料分析夏季降水日变化特性, 指出我国夏季降水日变化特征区域差异显著, 降水持续时间是区分不同类型降水事件的一个关键因素, 且降水的持续性能很好地解释降水日变化的双峰值; 李建等^[8]使用小时降水分析北京夏季降水的气候特征和日变化规律, 指出降水量和降水频次高值和低值出现的主要时段; 姚莉等^[9]分析了我国1 h雨强的时空分布特征, 指出雨强日变化具有明显的地区差异; 王夫常等^[10]分析了我国西南区域的降水日变化, 指出西南降水夜雨特征明显, 且降水日变化存在东西区域差异。这些研究丰富了我们对降水特性尤其是降水日变化特性的认识, 有

收稿日期: 2017年3月31日; 修回日期: 2017年8月10日
第一作者: 苏锦兰(1985—), Email: ss101003@163.com

利于降水天气预报。然而，降水精细化时空分布特征一直是研究难点，尤其是在复杂地形区域，如青藏高原、云贵高原等地。

随着几次青藏高原科学试验的推进，高原气象学的研究越来越受到人们的重视，高原及周边地区的降水活动也引起气象学者们的广泛关注，比如四川盆地夏季夜雨频繁的降水特征已被公认，但由于高原地区降水资料不足，特别是高原东南缘地区，由于地形复杂、自然环境恶劣，造成观测仪器更新换代缓慢、观测资料匮乏，限制了对其降水日变化特性的研究。大理地区（98°52′—101°03′E，24°41′—26°42′N）位于高原东南缘，地处东亚水汽通道上游和孟加拉湾西南季风带的迎风区，具有高原湖泊、大型山脉、盆地、谷地等多种不同尺度复杂下垫面特征，可以成为高原东南边缘复杂地形区域的典型研究代表。

关注复杂地形影响下大理地区降水的时空精细化分布特性，希望得到准确的降水日变化特征和区域分型，并对此做出定性解释，以期检验数值模式物理参数化方案提供依据，提高对高原东南边缘地区对流活动的认识。

1 数据和方 法

使用云南省大理地区12个国家级气象站2005—2014年小时降水观测数据，数据经过台站级、省级、国家级三级质量控制，质量可靠。考虑到双翻斗雨量传感器本身只能观测到液态降水，有固态降水时经过人工处理的数据会出现较大误差，仅对2005—2014年的雨季（5—10月）降水进行分析，时间均为北京时。

有效降水的标准为小时降水量 ≥ 0.1 mm；若连续2 h没有发生降水，则定义该次降水事件结束，该次降水事件的持续时间定义为降水开始的1小时到结束的1小时之间持续的小时数。

谐波分析^[11]是用三角函数来拟合数字信号或数字序列，根据拟合函数可以分析不同信号的周期、位相、振幅，可将周期函数表示为一个无穷多个频率为基本频率整数倍的谐振动之和，是研究不同尺度气候问题的常用工具。本文中通过使用谐波分析拟合降水量日变化序列，再用日变化序列经过谐波交换得到的振幅和位相来反映日变化的强弱、周期、峰值出现时间、对流活动传播特征，最终定量地对大理地区各站点降水日变化类型做出分型。

2 结果分析

2.1 谐波分析结果

根据高阶谐波分析原理，任一时间序列都可以看

作是由一系列正弦波迭加而成，谐波阶数 k 的选取与实际资料的长度和取样频率有关，谐波拟合的好坏可以用各谐波的方差表示，还可以通过 F 检验（服从第一自由度为2、第二自由度为 $(n-2-1)$ ， n 在此文中取24，且置信度为97.5%的 F 检验的阈值为4.4199）来检测谐波对应的周期是否显著。对大理地区12个国家级气象站2005—2014年多年累积的降水量日序列分别做谐波分析，阶数 k 分别取1, 2, ..., 12，表1给出了降水量日变化序列的前3个谐波的方差贡献率和 F 检验值， k 取4及以后的谐波的方差贡献率很小，没有周期显示意义。方差贡献率能清楚表示某一谐波对实际变化序列的拟合效果，由表1可知，大理地区前3个谐波的总拟合结果与实际降水量日变化序列具有非常好的一致性，总方差贡献率约为62%~93%，其中拟合效果较好的台站包括鹤庆、大理、漾濞、宾川、剑川、洱源、永平，而区域南部的弥渡、祥云、巍山、南涧等站的总拟合效果较弱。

表1 大理州12个气象站降水量日变化曲线前3个谐波的方差贡献率(%)和 F 检验值

Table 1 Variance contribution rate (%) and F test values of the first three harmonic for rainfall diurnal variation at 12 stations

地区	方差贡献率				F 检验值		
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	和	$k=1$	$k=2$	$k=3$
大理	80.85*	9.28	1.21	91.35	44.34*	1.07	0.13
洱源	55.69*	24.05	0.51	80.25	13.20*	3.32	0.05
漾濞	45.80*	37.83*	3.10	86.72	8.87*	6.39*	0.34
宾川	47.60*	36.48*	2.62	86.70	9.54*	6.03*	0.28
剑川	11.43	67.01*	3.99	82.43	1.35	21.33*	0.44
鹤庆	16.82	57.59*	18.28	92.70	2.12	14.26*	2.35
云龙	15.51	59.07*	2.81	77.39	1.93	15.16*	0.30
永平	15.27	64.58*	2.00	81.85	1.89	19.15*	0.21
弥渡	0.70	48.11*	20.70	69.50	0.07	9.73*	2.74
祥云	4.17	54.25*	3.44	61.86	0.46	12.45*	0.37
巍山	0.91	58.66*	9.09	69.66	0.10	14.90*	1.05
南涧	17.58	55.70*	2.03	75.31	2.24	13.20*	0.22

注：*表示谐波方差贡献率 $\geq 30\%$ 及通过置信度为97.5%的 F 检验。

若将方差贡献率 $\geq 30\%$ 的谐波视为显著谐波，则由表1可知，降水量日变化只有谐波1是显著谐波的台站有洱源、大理，只有谐波2是显著谐波的台站有剑川、鹤庆、云龙、永平、弥渡、祥云、巍山、南涧，谐波1和谐波2都是显著谐波的台站有漾濞、宾川。这里的“ $\geq 30\%$ ”只是一个相对标准，该标准定义的好坏必须要进行显著性检验，由表可见，降水量日变化序列只有谐波1对应的周期通过检验的台站有洱源、大理，只有谐波2对应的周期通过检验的台站有剑川、鹤庆、云龙、永平、弥渡、祥云、巍山、南涧，

谐波1和谐波2对应的周期均通过检验的台站有漾濞、宾川。由此可得，在大理地区，方差贡献率 $\geq 30\%$ 的谐波对应的周期均通过了置信度为97.5%的显著性检验，一般可把方差贡献率 $\geq 30\%$ 的谐波变化对应的周期视为降水量日变化中的显著周期。

2.2 降水量日变化类型

将大理地区各台站2005—2014年累积降水量日变化序列的前3个谐波叠加拟合，如图1所示，由拟合曲线的波峰及波谷的相对位置可将降水量日变化分为4种类型：1) 夜间单峰型降水，包括大理(图1a)、洱源(图1b)，此类型日变化在11—21时都维持弱降水，22时—次日10时则是降水的高值时段，尤其是03—08时的降水高峰特别显著，小时降水量极值多出现于04—07时；2) 夜间峰值远高于午后峰值的双峰型降水，包括漾濞(图1c)、宾川(图1d)，此类型日变化不仅在01—08时出现最强降水高峰，

还会在15—20时出现另一个降水高峰，且夜间峰值降水量约是午后峰值降水量的1.5倍；3) 夜间峰值远低于午后峰值的双峰型降水，包括剑川(图1e)、鹤庆(图1f)，此类型日变化在00—06时出现降水第一个高峰，之后降水持续减少，在11时达最小，接着在15—19时出现降水第二个高峰，且午后峰值降水量约是夜间峰值降水量的1.5倍；4) 夜间峰值和午后峰值持平的双峰型降水，包括祥云(图1g)、永平(图1h)、弥渡(图1i)、云龙(图1j)、巍山(图1k)、南涧(图1l)，此类型降水日变化出现后半夜夜间峰值和午后峰值，一般情况下夜间和午后发生降水事件的可能性相当。

将上述降水量日变化类型分析结果体现在大理地区的海拔高度地形图上，如图2所示。由图可知：降水量日变化在点苍山—罗坪山沿线东侧的洱海盆地狭长区域内属夜间单峰型，点苍山—罗坪山沿线西

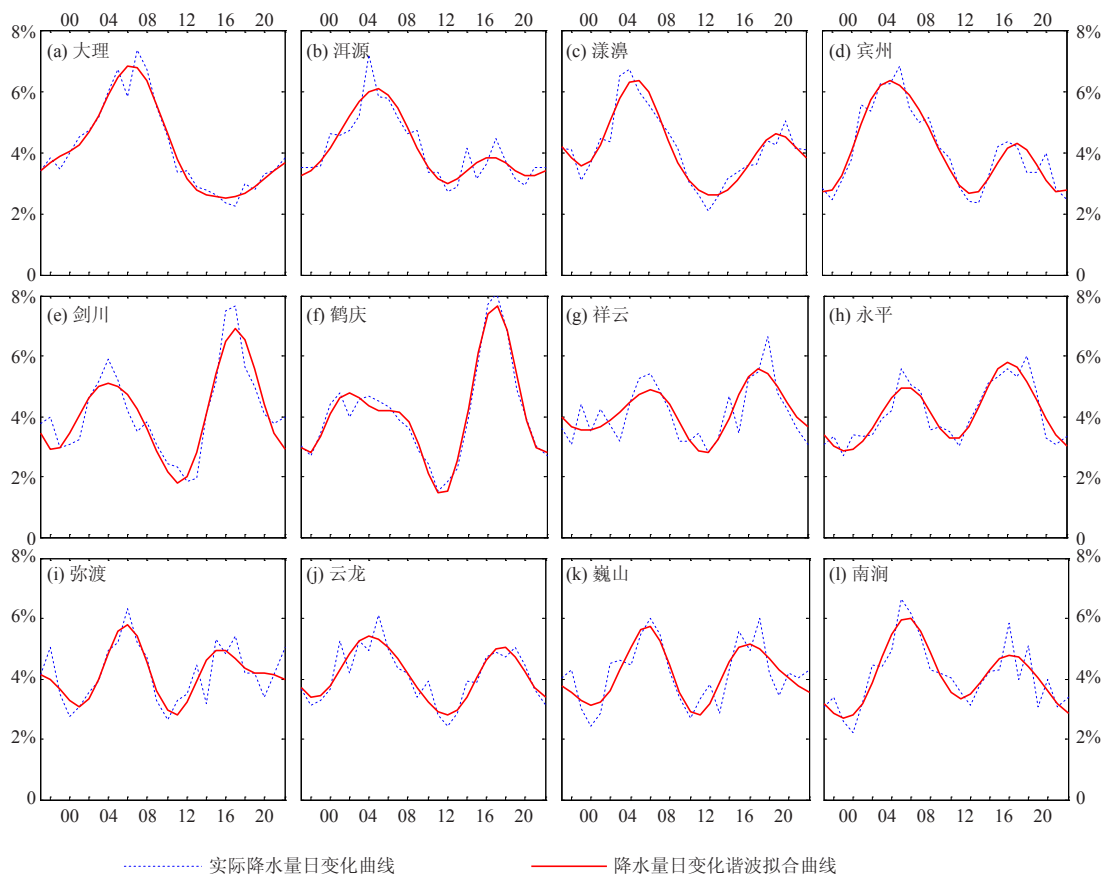


图1 大理地区各气象台站2005—2014年累积降水量日变化曲线及前3个谐波拟合曲线
(X轴代表北京时间23时—次日22时，Y轴代表小时降水量占日降水量的百分比)

Fig. 1 Averaged observations and Fitted curves of the first three harmonic components for rainfall diurnal variation at 12 stations in Dali region for 2005–2014

(the X-axis presents 23 BT to 22 BT next day, the Y-axis presents the percentage of averaged hourly percentage of daily precipitation)

侧的峡谷低地和洱海以东、哀牢山起始地西部的低海拔盆地属夜间峰值远高于午后峰值的双峰型，区域北部的高山峡谷区午后降水量高峰远大于夜间次峰值降水，而区域西部及南部的低山小盆地范围内夜间降水和午后降水出现的可能性接近。图中椭圆区域属点苍山—洱海影响区域范围，可以关注到：①椭圆内由于点苍山和洱海湖泊的影响效应导致小区域内热力差异显著，午后降水量由西向东呈现出“多—少—多”的变化型式。②椭圆内区域的夜间降水量比椭圆外区域的大，即点苍山—洱海影响区域范围的夜雨强度明显大于其周边区域，这可能是大范围环流影响程度受地形因素的影响结果。③更靠近青藏高原东南麓的方框区域，海拔高，高山林立，其午后降水量高峰达大理地区之最。

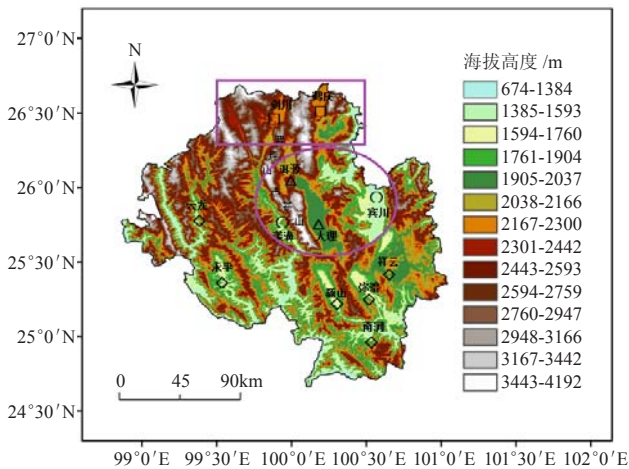


图2 大理地区降水量日变化类型区域分布图

(△为夜间峰值单峰型，○为夜间峰值远高于午后峰值双峰型，□为夜间峰值远低于午后峰值双峰型，◇为夜间峰值和午后峰值持平双峰型)

Fig. 2 Type distribution about precipitation diurnal variation in Dali region

(△: only a single peak in night, ○: the night peak towers over the afternoon peak, □: the night peak far below the afternoon peak, ◇: the night peak comparable to the afternoon peak)

2.3 不同降水日变化类型的降水事件特征

为了进一步明确大理地区这4种不同类型降水日变化的特性差异，接着分析不同小区域2005—2014年里降水事件演变过程的特性及差异，如图3所示，横坐标表示北京时间21—次日20时，纵坐标表示降水事件的持续小时数，填色区表示大理站（图3a）、漾濞站（图3b）、鹤庆站（图3c）、巍山站（图3d）4个代表站点不同持续时间的降水事件在相应降水过程中的累积降水量，由图可见，4种降水日变化类型在降水事件方面存在不同的特征：1）大理站，持续1 h的

降水事件在12时达小时降水最大峰值，持续2 h的降水事件的最大小时降水在22时出现，持续3 h降水事件的最大小时降水出现于13时、次大值出现在08时，持续4~17 h的降水事件的最大小时降水多出现在04—08时，只有持续5、7、9 h降水事件的最大小时降水出现于前半夜，也就是说，洱海盆地狭长区域内在正午时段易发生持续时间很短、降水强度不强的短时弱降水事件，入夜后降水事件的持续时间逐渐变长，一般持续 ≥ 3 h的降水事件往往会在后半夜至清晨引起降水高峰。2）漾濞站，持续1 h的降水事件的最大小时降水出现于18时，持续2 h的降水事件的最大小时降水出现于08时、次小时降水出现于18时，持续3 h降水事件的最大小时降水出现于19时，持续4 h降水事件的最大小时降水出现于21—22时，持续5 h降水事件的最大小时降水出现于03时、次小时降水出现于18时，即持续 ≤ 5 h的降水事件更容易发生在18—21时的傍晚时段；而持续6~17 h的长时降水事件，除8、9 h外的各类降水事件多在03—06时的某个时次出现最大小时降水，即持续 ≥ 6 h的降水事件一般会在后半夜出现降水高峰。3）鹤庆站，持续时间在1~10 h的降水事件中，除持续7、8 h的降水事件外，均在15—17时的某个时次出现最大小时降水，也就是说，大理地区北部高海拔区域的午后降水最高峰多由持续时间 ≤ 10 h的降水事件造成，而夜间降水次高峰一般由持续4~10 h的降水事件引起，但降水强度较弱。4）巍山站，持续时间在1~4 h的降水事件在15—17时的某个时次出现最大降水，持续时间 ≥ 5 h的降水事件的最大小时降水量多出现于夜间，即持续 ≤ 4 h的降水事件易引发午后出现降水的一个峰值时段，而持续 ≥ 5 h的降水事件易造成夜间另一个峰值时段。

3 结论和讨论

本文通过谐波分析方法定量地讨论了高原东南缘复杂地形大理地区的12个国家气象站2005—2014年的降水量日变化特征的区域差异，并对日变化特征做出准确分型，得到如下主要结论。

1）高原东南缘复杂地形大理地区实际逐小时降水量序列的日变化曲线可用前3个谐波较好地拟合，总方差贡献率在62%~93%，实际降水量日变化序列某一谐波的方差贡献率 $\geq 30\%$ 时能通过置信度为97.5%的F检验，一般可把这样的谐波变化对应的周期视为降水量日变化中的显著周期。

2）通过谐波可对大理地区实际降水量日变化类型做出4种定量划分：洱海盆地狭长小区域属夜间单峰型，其04—08时降水高峰由持续 ≥ 3 h的降水事件引

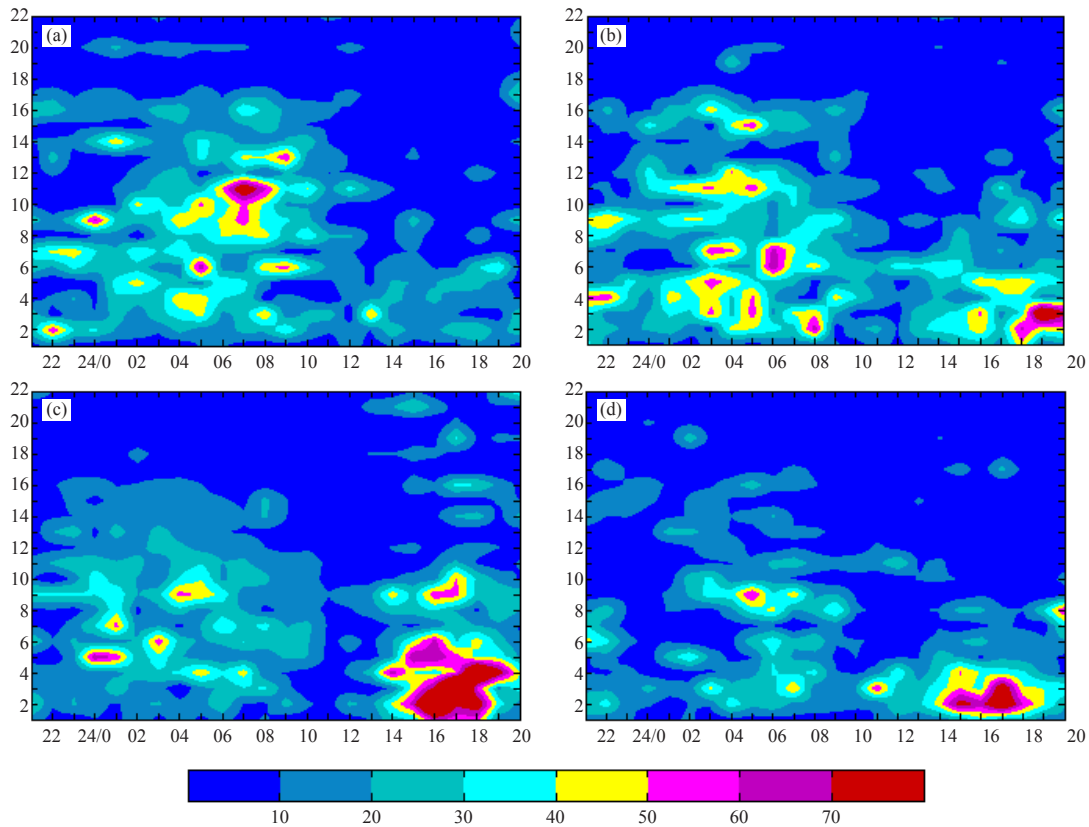


图3 4种降水日变化类型代表站点的不同降水事件特征差异
 (a) 夜间单峰型; (b) 夜间峰值远高于午后峰值双峰型; (c) 夜间峰值远低于午后峰值双峰型; (d) 夜间峰值和午后峰值持平双峰型
 (X轴代表北京时间21时一次日20时, Y轴代表降水事件持续小时数, 填色区代表不同持续时间降水事件在相应时次的累积降水量, 单位: mm)

Fig. 3 Differences of rainfall events among 4 types of rainfall diurnal variations
 (a) only a single peak in night; (b) the night peak towers over the afternoon peak; (c) the night peak far below the afternoon peak; (d) the night peak comparable to the afternoon peak
 (the X-axis presents 21 BT to 20 BT next day, the Y-axis presents the rainfall event duration in hours, shadings show that the accumulated rainfall amount for different rainfall events, unit: mm)

起; 洱海盆地以东区域和点苍山西侧峡谷低地属夜间峰值约是午后峰值1.5倍的双峰型降水, 其03—06时降水高峰多由持续 ≥ 6 h的降水事件引起, 而18—21时的降水次高峰一般由持续 ≤ 5 h的短时降水事件造成; 北部靠近丽江地区的高海拔高山峡谷区属午后峰值约是夜间峰值1.5倍的双峰型降水, 15—19时的降水高峰值由持续 ≤ 10 h的降水事件造成, 00—06时的降水次峰值由持续4~10 h的降水事件引起; 南部和西部区域属午后峰值和夜间峰值持平的双峰型降水, 持续 ≤ 4 h的降水事件易引发午后出现降水的一个峰值时段, 而持续 ≥ 5 h的降水事件易造成夜间另一个峰值。

3) 总的来说, 包括洱海湖泊在内的河谷地带狭长区域内的降水主要集中在夜间, 这主要是由于湖陆风效应造成洱海附近狭长区域在夜间为上升气流控

制, 出现降水的概率高, 而在白天则受下沉气流影响, 发生降水的可能性小; 高原山地区域(尤以鹤庆、剑川为主)降水主要集中在午后, 主要是由于该区域海拔高度明显高于洱海盆地, 太阳辐射日变化造成山谷风环流, 白天高原山地为上升气流影响, 出现降水的可能性极高, 而夜间则为下沉气流控制, 发生降水的概率低。

具有复杂地形的高原东南缘大理地区如此繁杂的降水日变化特征除受到大范围大气环流影响外, 更多是由于太阳辐射日变化和地形因素引起的局地环流所导致, 湖陆风效应和山谷风效应相互叠加, 降水日变化特征区域差异显著。分析得到的降水日变化类型可较直观地供大理地区各县气象局天气预报服务人员参考应用, 不同县域强降水事件发生的时间段不同, 我

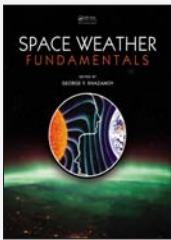
们在发布暴雨、强对流等预警时的侧重时间段也有所不同。

参考文献

- [1] 杨广基, 刘家铭. 东亚、东南亚、南亚地区降水的年变化和年际变化. 大气科学, 1987, 11(3): 304-312.
- [2] 白莹莹, 张炎, 高阳华, 等. 四川盆地降水变化的区域差异. 地理科学, 2011, 31(4): 478-484.
- [3] 李万源, 吕世华, 董治宝, 等. 中蒙干旱半干旱区降水异常的区域性差异及其年代际演变特征. 地球科学前沿, 2012, 2: 44-53.
- [4] 周胜男, 罗亚丽, 汪会. 青藏高原、中国东部及北美副热带地区夏季降水系统发生频次的TRMM资料分析. 气象, 2015, 41(1): 1-16.
- [5] 苏锦兰, 李建, 杨桂荣, 等. 横断山系云岭余脉点苍山东西侧小时降水特性对比分析. 气象, 2015, 41(1): 17-24.
- [6] Yu R, Zhou T, Xiong A, et al. Diurnal variations of summer precipitation over contiguous China. Geophysical Research Letters, 2007, 34(1): 223-234.
- [7] Yu R, Xu Y, Zhou T, et al. Relation between rainfall duration and diurnal variation in the warm season precipitation over central eastern China. Geophysical Research Letters, 2007, 34(13): 173-180.
- [8] 李建, 宇如聪, 王建捷. 北京市夏季降水的日变化特征. 科学通报, 2008, 53(7): 829-832.
- [9] 姚莉, 李小泉, 张立梅. 我国1小时雨强的时空分布特征. 气象, 2009, 35(2): 80-87.
- [10] 王夫常, 宇如聪, 陈昊明, 等. 我国西南部降水日变化特征分析. 暴雨灾害, 2011, 30(2): 117-12.
- [11] 吴洪宝, 吴蕾. 气候变率诊断和预测方法. 北京: 气象出版社, 2005.

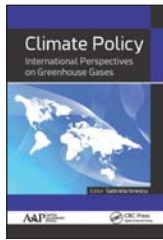
新书架
NEW BOOK

感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆查阅



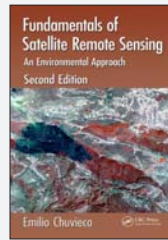
Space Weather Fundamentals
《空间天气基础》

编著者: George V. Khazanov
出版者: CRC Press
出版年: 2016



Climate Policy: International Perspectives on Greenhouse Gases
《气候政策: 温室气体排放的国际视角》

编著者: Gabriela Ionescu
出版者: Apple Academic Press Inc.
出版年: 2016



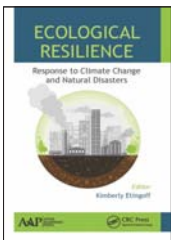
Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach, Second Edition
《卫星遥感基础: 环境方法 (第二版)》

编著者: Emilio Chuvieco
出版者: CRC Press
出版年: 2016



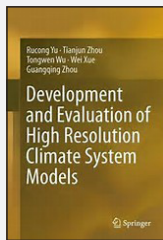
Remote Sensing Applications for the Urban Environment
《城市环境遥感应用》

编著者: George Z. Xian
出版者: CRC Press
出版年: 2015



Ecological Resilience: response to climate change and natural disaster
《生态恢复力: 应对气候变化和自然灾害》

编著者: Kimberly Etingoff
出版者: Apple Academic Press
出版年: 2016



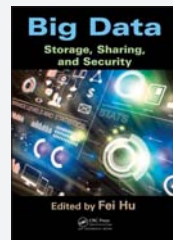
Development and Evaluation of High Resolution Climate System Models
《高分辨气候系统模式的开发及评估》

编著者: Yu Rucong 等
出版者: Springer
出版年: 2016



Air Quality: Monitoring, Measuring, and Modeling Environmental Hazards
《空气质量: 监测、测量及环境灾害模拟》

编著者: Marco Ragazzi
出版者: Apple Academic Press
出版年: 2017



Big Data: Storage, Sharing, and Security
《大数据: 存储、共享及安全》

编著者: Hu Fei
出版者: Auerbach Publications
出版年: 2016