

引用格式: 胡文斌, 乔雪, 陈科艺, 唐亚. 基于降水特征的华西雨屏地理范围界定[J]. 山地学报, 2023, 41(5): 662-675.

HU Wenbin, QIAO Xue, CHEN Keyi, TANG Ya. Geographic extent of the West China Rain Zone determined by precipitation characteristics [J]. Mountain Research, 2023, 41(5): 662-675.

基于降水特征的华西雨屏地理范围界定

胡文斌^{1a}, 乔雪^{1b, 1c}, 陈科艺², 唐亚^{1a, 1c*}

(1. 四川大学 a. 建筑与环境学院; b. 新能源与低碳技术研究院; c. 水力学与山区河流开发保护
国家重点实验室, 成都 610065; 2. 成都信息工程大学 大气科学学院, 成都 610225)

摘 要: 华西雨屏位于四川盆地向青藏高原的过渡区域, 是中国西部年降水量的高值区之一, 具有重要的生态服务价值, 明确其地理范围有助于区域生态环境保护、山区发展和灾害防治。本文基于 1975—2014 年地面降水数据和 2010—2019 年 CMORPH 卫星降水数据, 通过计算降水量和降水频次的空间距平值及应用空间聚类分析方法, 分析了华西雨屏带与周边地区的降水差异, 首次界定了华西雨屏的地理范围。结果表明: (1) 华西雨屏带的整体范围北起广元市嘉陵江附近, 沿四川盆地西部边缘山地及山前平原逆时针向南, 止于宜宾市中东部, 其降水量和降水频次都明显高于周边地区; (2) 华西雨屏带由核心区、南支区和北支区组成, 核心区位于雅安—峨眉山区, 即狭义华西雨屏区, 南支区主要在冬半年表现出较高的降水量和降水频次, 北支区在 7—9 月因多发暴雨而降水量偏高, 南、北两支均是周期性的“准雨屏带”; (3) 华西雨屏带降水具有明显的时空差异性, 在研究华西雨屏带气候及相关生态环境问题时应注意区分季节和地区。本研究能提高人们对华西雨屏的认识并为区域生态环境保护和发展提供科学依据。

关键词: 华西雨屏; 气候特征; 生态建设; 降水分布; 四川盆地

中图分类号: P942; P462

文献标志码: A

系统的生态安全战略布局是中国生态安全的基础^[1]。华西雨屏位于中国四川盆地边缘, 华西雨屏带及其邻近区域是四川省经济发展、农林业生产的核心地区, GDP 约占全省 64%^[2]。该区域有 16 个国家级自然保护区, 分布有近半数中国特有的哺乳动物和鸟类, 并有超过 4500~5000 种高等植物和约 600 种陆生脊椎动物, 在中国生物多样性保护中具有不可替代的地位^[3]。华西雨屏带对保障四川盆地及长江中下游地区生态安全十分重要^[4]。

“雨屏”这一概念由竺可桢于 1936 年提出^[5], 20 世纪 40 年代有关川康边区(今雅安市)气候的研究中也提到雨屏一词^[6]。“雨屏”一般理解为某些

降水偏多地区, 狭义的华西雨屏仅指四川盆地西部边缘多雨区, 是一个区域性气候范畴, 具有一定的地理含义。但气象学界和地理学界对华西雨屏的具体地理范围并无清晰的界定, 仅有庄平^[3]等结合区域气候和生态特征做了大致描述, 认为华西雨屏带由岷山山脉、邛崃山脉、大相岭至黄茅埂以东的狭长地带构成, 东西宽 50~70 km, 南北长 400~450 km, 面积大约 25 000 km², 地貌上包括四川盆地西部边缘的亚高山、中山及山前丘陵, 行政区划上包括平武、北川、江油、绵竹、彭州、都江堰、汶川、崇州、天全、宝兴、雅安、洪雅、峨眉山、峨边、马边和雷波等地。

收稿日期(Received date): 2023-03-29; 改回日期(Accepted date): 2023-10-20

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41929002)。[National Natural Science Foundation of China (41929002)]

作者简介(Biography): 胡文斌(1992-), 男, 陕西铜川人, 硕士研究生, 主要研究方向: 气候与环境变化。[HU Wenbin (1992-), male, born in Tongchuan, Shaanxi province, M. Sc. candidate, research on climate and environmental change] E-mail: hwb_hj@163.com

* 通讯作者(Corresponding author): 唐亚(1963-), 男, 贵州盘州人, 博士, 教授, 主要研究方向: 环境生态学。[TANG Ya (1963-), male, born in Panzhou, Guizhou province, Ph. D., professor, research on environmental ecology] E-mail: tangya@scu.edu.cn

华西雨屏带自然灾害风险高,生态问题突出。四川省持续3天以上的单站暴雨多发于盆地西北和西南部山地,盆地西缘山区是区域性持续暴雨的多发区^[7],如雅安、乐山及龙门山一带^[8-9];同时受地形和土壤因素影响,该地区泥石流等地质灾害多发^[10-11];2000—2015年华西雨屏带土壤侵蚀明显增加,降水的贡献大于50%^[12];受大气污染威胁,华西雨屏带大气氮、硫沉降量是四川盆地和川西高山峡谷区的2倍左右^[13-14],臭氧暴露剂量也较高^[15]。其他华西雨屏带研究还包括林地土壤理化性质^[16-17]、重金属污染^[18]、林地凋落物分解^[19]、土壤酶活性^[20]和土壤有机碳变化^[21]等。

合理划分华西雨屏带的范围既是准确研究和改善区域生态环境的基础,也能提高人们对华西雨屏的认知。本研究基于地面观测和卫星遥感数据,采用计算降水距平值和空间聚类方法,根据降水特征探讨华西雨屏的地理范围,为这一区域未来的气候研究、生态环境保护和生态屏障建设提供合理的科学依据。

1 研究方法 with 数据

研究区为四川省及周边地区(25°~35°N、97°~109°E;图1a)。对地面降水观测数据进行空间插值,得到年、月降水量和降水频次的空间分布,

并利用卫星降水数据补充对夏季降水的分析。24小时降水量达到0.1 mm定义为降水日,24小时降水量达到50 mm为暴雨日。

1.1 气象站降水数据来源

选取研究区1975年1月1日—2014年12月31日322个气象站点的逐日降水观测数据^[22],研究降水的分布特征。

气候研究中常用距平值来反映某一要素与平均值的差异。对研究区内站(格)点数据求距平值的计算公式如下:

$$P_i = (G_i - \bar{G}) \quad (1)$$

式中, P_i 为第*i*个站(格)点的降水距平值; G_i 为第*i*个站(格)点的降水; \bar{G} 为区域降水平均值。

1.2 卫星降水数据来源

气象站观测数据能准确反映一个区域的降水特征,但山区气象站点少,可以利用卫星降水数据来弥补这一不足。本研究采用的CMORPH(Climate Prediction Center Morphing Method)卫星降水数据是由美国国家大气和海洋管理局(NOAA)开发的一款全球高分辨率卫星降水产品^[23],根据红外亮温反演得到空间连续的降水分布^[24-25],空间网格分辨率8 km,时间分辨率0.5 h,时间跨度为2010—2019年。利用相对偏差(Relative Bias, RB)、均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)和相关系数(Correlation Coefficient, CC)这3个指标评估卫星降

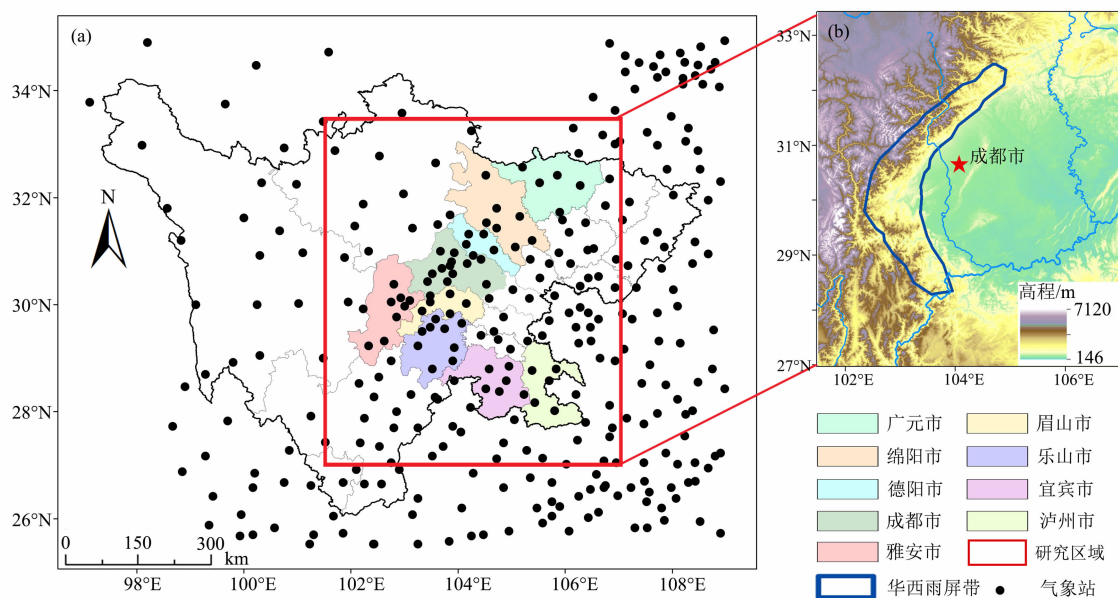


图1 研究区位置与高程图:(a) 研究区位置和气象站分布;(b) 高程图

Fig. 1 Location and elevation of study area:(a) location of study area and meteorological stations;(b) elevation

水产品质量^[26], 计算公式如下:

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - G_i)}{\sum_{i=1}^n G_i} \times 100\% \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (4)$$

式中, n 为样本数量; S_i 为第 i 个站点对应的 CMORPH 格点数据。

以 2014 年研究区气象站观测数据对 CMORPH 数据作精度评估(图 2), RB 在夏半年更接近 0, 即偏差较小, 8 月和 9 月的 CC 分别为 0.63 和 0.79, 表明 CMORPH 数据在 8—9 月有较稳定表现。有研究^[27]表明 CMORPH 数据在四川盆地的月均 $RMSE$ 为 85 mm 左右, 与图 2 中 8—9 月的 65 ~ 74 mm 接近。综合来看, 8—9 月的 CMORPH 数据较可靠。

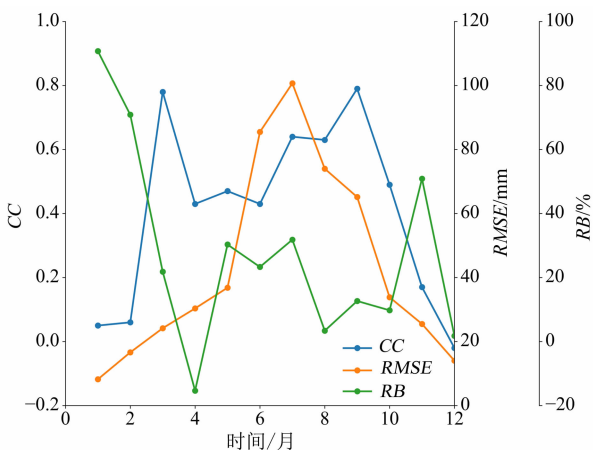


图 2 2010—2019 年 CMORPH 数据的 RB 、 $RMSE$ 和 CC 逐月变化

Fig. 2 Monthly variation of RB , $RMSE$, CC from 2010 to 2019

1.3 华西雨屏带的界定方法

根据前人^[3]的研究结果, 以成都平原为中心设定研究区域, 通过图 3 所示步骤界定华西雨屏带。(1) 利用以薄盘样条为基函数的径向基函数法将研究区内地面降水数据插值为 5 km 分辨率的空间网格; 以月降水量和降水频次距平值为判断指标, 将二者的正距平区认定为多雨区; 利用 GIS 软件提取并合并涉及区县, 以此作为华西雨屏带的初步区域。

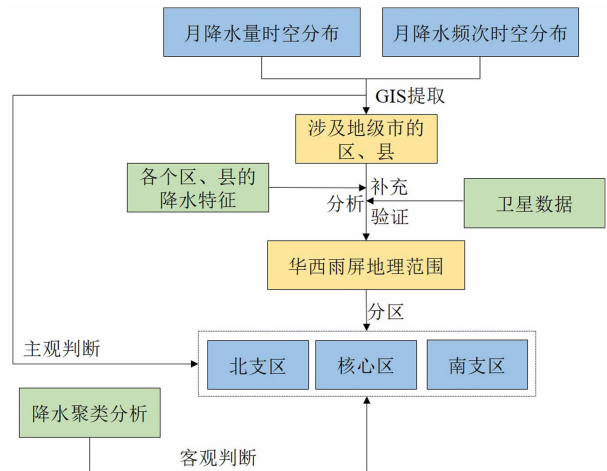


图 3 华西雨屏带地理范围的界定方法

Fig. 3 Flow chat of determining the geographical coverage of West China Rain Zone

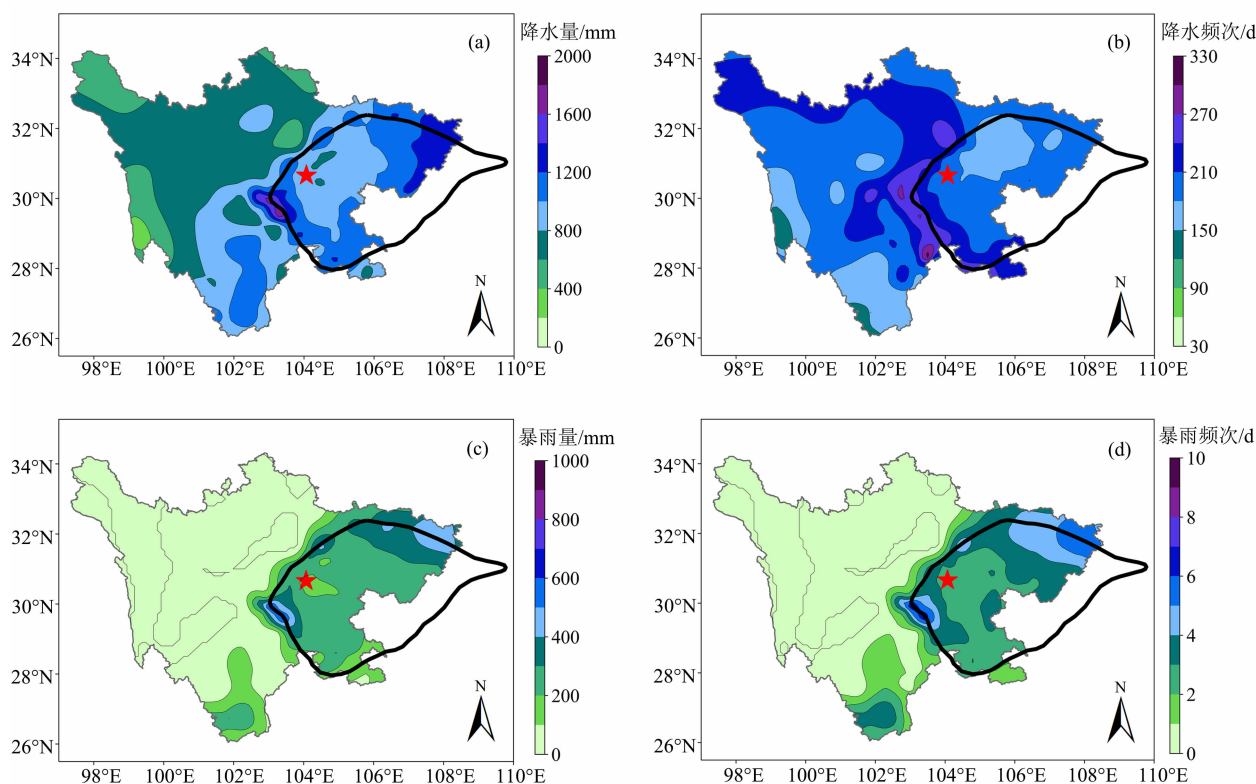
(2) 查阅文献、汇总分析各个区县的降水特征, 对初步区域进行调整, 然后对边界做平滑处理以得到华西雨屏带范围。(3) 根据降水季节分布特征和降水的气候学成因, 划分华西雨屏带为 3 个子区域。聚类分析能够将空间上具有相似气候特征的区域归类, 利用离差平方和法对研究区内站点分类^[28], 作为划分华西雨屏带子区域的客观依据。

2 结果分析

2.1 四川省降水的空间分布特征

四川省降水分布有如下特征。(1) 年降水量由东南向西北递减, 眉山、雅安和乐山是全省降水中心, 年降水量超过 1800 mm, 由此向东南延伸至泸州市的带状降水区年降水量超过 1000 mm; 巴中、达州降水量超过 1200 mm, 川西高原降水量小于 800 mm (图 4a)。(2) 年降水频次自西向东呈“少—多—少”的分布特征, 盆地西缘年降水频次超过 240 d, 局部达 270 d (图 4b)。(3) 年暴雨量与年降水量类似, 但暴雨在雅安—峨眉山频次更高, 且在盆地西缘分布更集中 (图 4c、4d)。

四川省降水空间分布格局表明, 在四川盆地边缘存在异于盆地和西部高原的特殊降水区, 即华西雨屏带。该区域降水量和降水频次均明显高于成都平原、西部高原和南部山区, 这符合四川省降水分型研究结果^[29], 即全省一致型、盆地西部与其余地区相反型、南北分布相反型以及盆地南部



五角星为成都市,粗实线为四川盆地边界线。下同。

图4 1975—2014年四川省年均降水的空间分布:

(a) 年降水量; (b) 年降水频次; (c) 年暴雨量; (d) 年暴雨频次

Fig. 4 Spatial distribution of mean annual precipitation in Sichuan province from 1975 to 2014:

(a) precipitation; (b) precipitation frequency; (c) total rainfall of rainstorm; (d) frequency of rainstorm

与其余地区相反型。因此,华西雨屏带以雅安—眉山—乐山为核心区域,可能涉及广元市、绵阳市、德阳市、成都市、眉山市、雅安市、乐山市、宜宾市和泸州市。

2.2 华西雨屏带与周边区域降水的分布差异

基于上文分析,选取 $27^{\circ} \sim 33.5^{\circ} \text{N}$ 、 $101.5^{\circ} \sim 107^{\circ} \text{E}$ 为重点研究区,分析 1—12 月的降水量和降水频次。

2.2.1 降水量的分布差异

降水量距平分布(图5)显示,四川西北高原和北部山区降水量全年偏少,其他地区随时间有显著变化,特别是冬半年和夏半年差异明显。11月至次年3月,自峨眉山市向东南至泸州市有带状降水,7—9月,自雅安市沿盆地西缘向北的带状降水明显。雅安—峨眉山是一个全年性的降水中心区,面积在冬半年比夏半年小,包括雅安市的雨城区、名山区、天全县以及荥经县北部,眉山市的洪雅县和丹棱县,乐山市的夹江县和峨眉山市。该区域降水量自

7月开始增大,至8月达到全年最大值,降水量距平值为 $187 \sim 270 \text{ mm}$ 。综上,雅安—峨眉山地区是华西雨屏带的核心区,且具有全年性。

10月,以宜宾兴文县和泸州叙永县为中心形成降水高值区,降水量在11月至次年2月期间超过雅安。11月开始,兴文—叙永和峨眉山市之间形成一条西北—东南向的降水带,并于次年4月消失,该区域降水量虽在夏半年的个别月份比盆地多,但并没有表现为较明显的带状分布。因此,峨眉山市至泸州市以西的地区可看作华西雨屏带的南支区,且该区域仅存在于冬半年。7—9月,自雅安市向北沿盆地西缘有降水带,包含成都市西部、德阳市西部和绵阳市中部至广元市部分区域,该区域可看作华西雨屏带的北支区。

综上所述,华西雨屏带由3个部分组成,分别是以雅安—峨眉山为中心的雨屏带核心区、主要存在于冬半年的雨屏带南支区和仅出现于7—9月的雨屏带北支区。

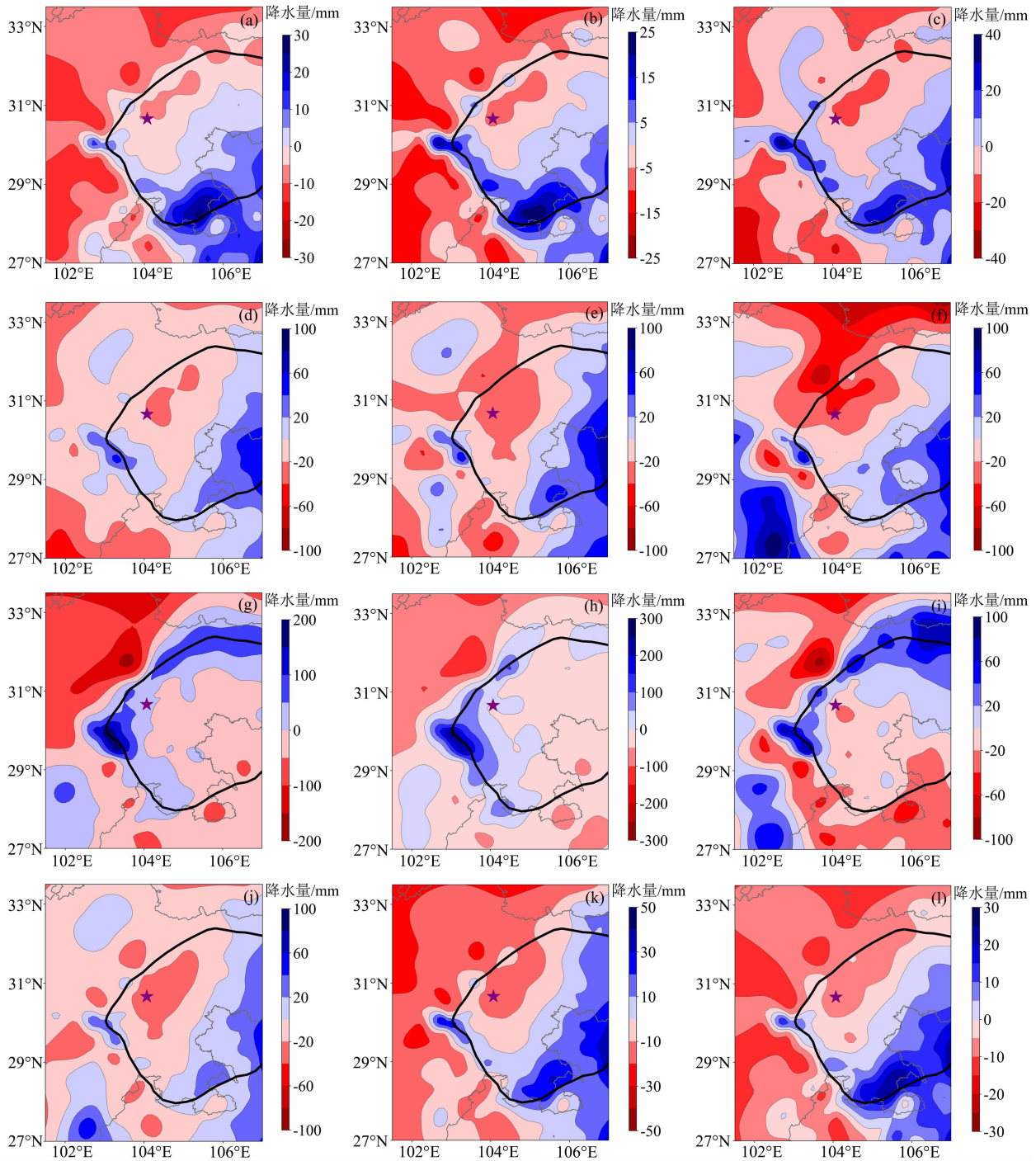


图 5 1975—2014 年平均月降水量距平值空间分布：

(a) 1 月；(b) 2 月；(c) 3 月；(d) 4 月；(e) 5 月；(f) 6 月；(g) 7 月；(h) 8 月；(i) 9 月；(j) 10 月；(k) 11 月；(l) 12 月

Fig. 5 Spatial distribution of mean monthly precipitation anomalies from 1975 to 2014: (a) January; (b) February;

(c) March; (d) April; (e) May; (f) June; (g) July; (h) August; (i) September; (j) October; (k) November; (l) December

2.2.2 降水频次的分布差异

研究区各月的降水频次分布有较大差异(图 6)。10 月至次年 4 月,降水频次沿盆地西缘至南缘呈带状分布,且以雅安至宜宾南部最明显。夏半年,降水频次在川西高原为正距平,盆地内为负距平,盆

地边缘无带状特征,这与降水量分布有明显差异。由于夏半年西南地区受夏季风影响而水汽充沛,系统性降水天气较多,雨日分布较均匀,且暴雨是盆地西缘降水的主要贡献,导致了夏半年降水量和降水频次的不一致。另外,随着春季西风槽活动增加,高

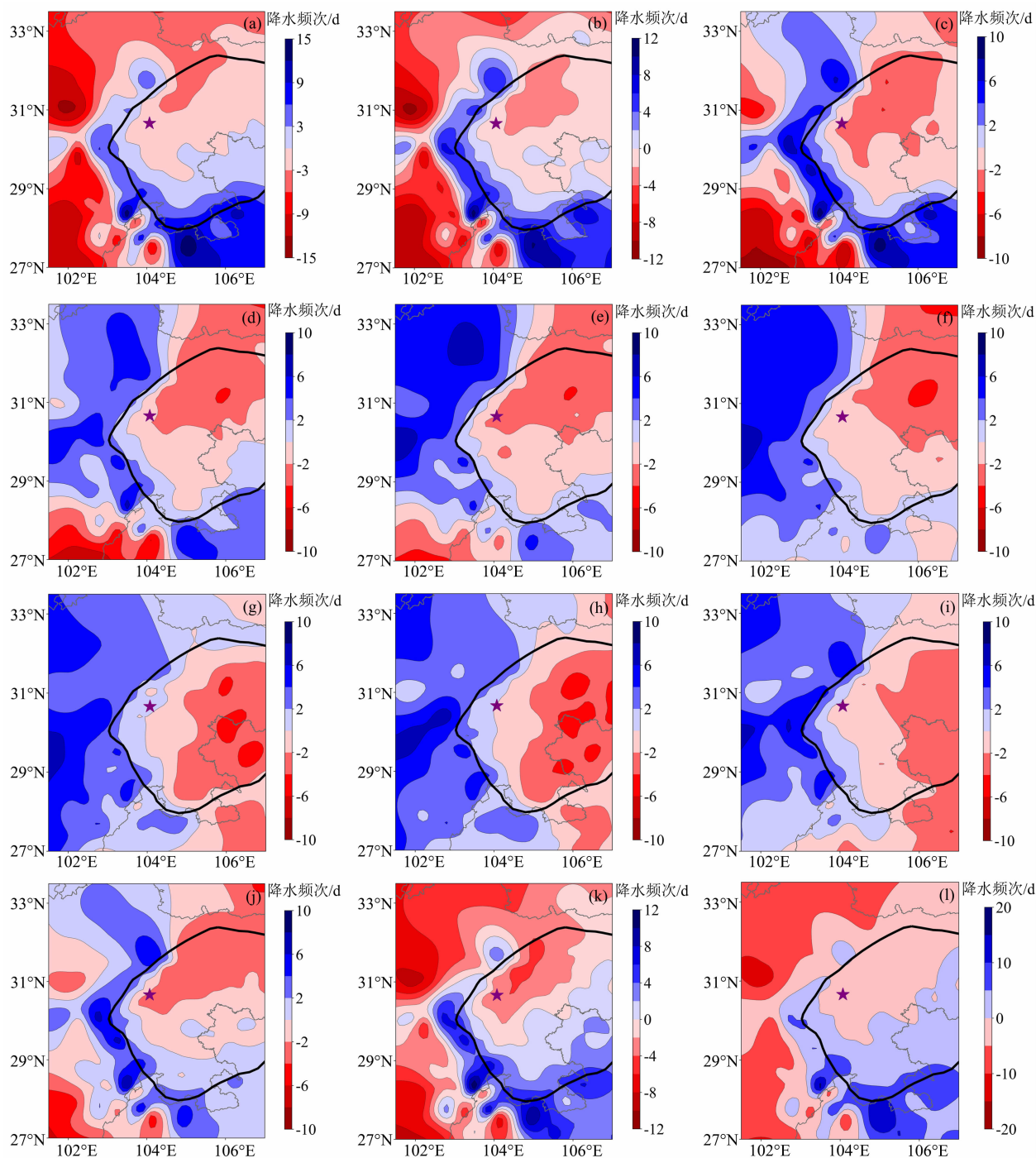


图6 1975—2014年平均月降水频次距平值空间分布:

(a) 1月; (b) 2月; (c) 3月; (d) 4月; (e) 5月; (f) 6月; (g) 7月; (h) 8月; (i) 9月; (j) 10月; (k) 11月; (l) 12月

Fig. 6 Spatial distribution of mean monthly precipitation frequency anomalies from 1975 to 2014: (a) January; (b) February;

(c) March; (d) April; (e) May; (f) June; (g) July; (h) August; (i) September; (j) October; (k) November; (l) December

原天气系统更容易影响川西地区,受地形作用,夏半年川西高原的降水频次多于盆地内,进而导致华西雨屏带在降水频次上表现不明显。

频繁的降水给人以“多雨”的感受。中国冬季大部分地区降水偏少,而华西雨屏带核心区 and 南支

区的降水频次比周边高,因此在冬半年显现出“雨屏”特征。

2.2.3 夏季暴雨的分布差异

降水量分布表明,北支区主要存在于夏季,因此选取6—8月暴雨量(图7)和暴雨频次(图8)做进

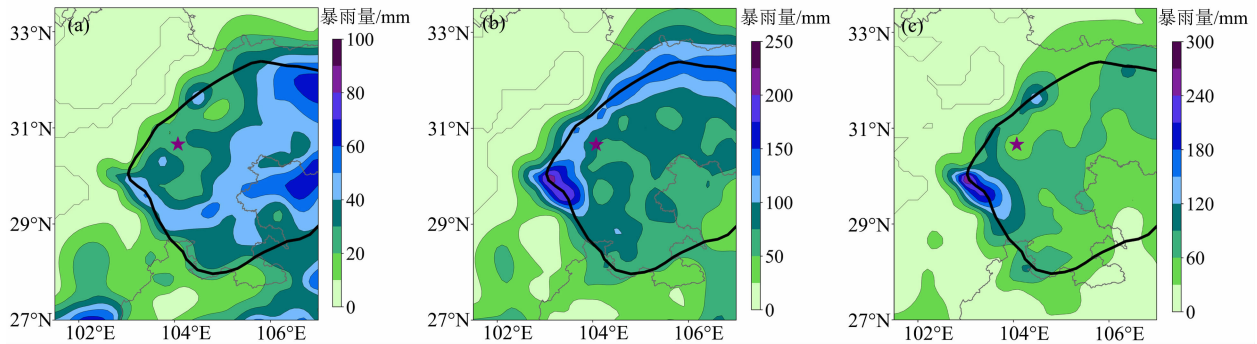


图 7 1975—2014 年 6—8 月暴雨的降水量空间分布:(a) 6 月;(b) 7 月;(c) 8 月

Fig. 7 Precipitation of summer rainstorm from June to August during 1975 — 2014: (a) June; (b) July; (c) August

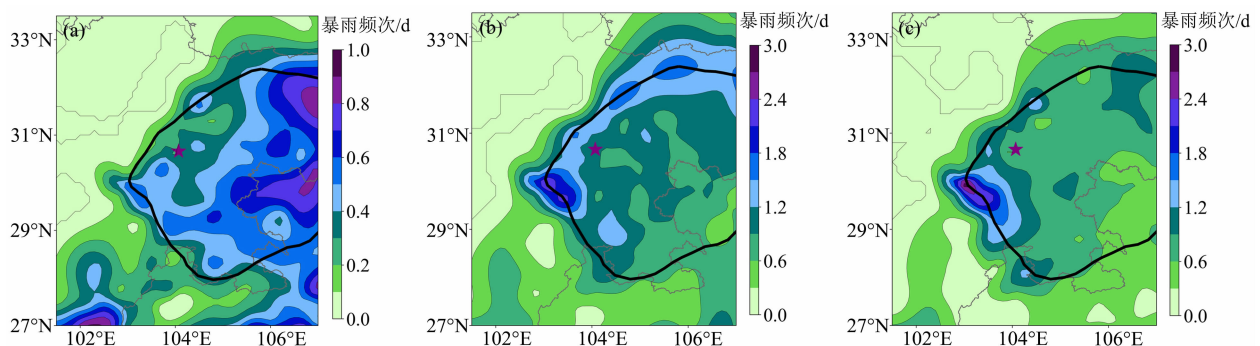


图 8 1975—2014 年 6—8 月暴雨的频次空间分布:(a) 6 月;(b) 7 月;(c) 8 月

Fig. 8 Frequency of summer rainstorm from June to August during 1975 — 2014: (a) June; (b) July; (c) August

一步分析。6 月,盆地中、东部地区暴雨明显多于西部,且雅安市至盆地西南部有弱雨带;7 月,雅安市至盆地北部呈现一条雨带,其北部月暴雨量达 125 ~ 150 mm,月暴雨频次达 1.5 ~ 1.8 d;8 月,雨带有所减弱,但仍呈带状分布。另外,雅安市雨城区至峨眉山市是暴雨发生的核心区,在 7 月、8 月都有 2 ~ 3 d 暴雨。

用 CMORPH 降水数据辅助分析夏季降水,以确保前文降水量插值结果的可靠性。选取 2010—2019 年间 CMOPRH 数据做 8 月降水量距平值空间分布(图 9),CMORPH 降水与图 5h 基本吻合,表明降水量插值结果能够较真实反映夏季降水在盆地西缘的分布。由此确定北支区正距平西界与成都市和德阳市西部边界基本重合,在绵阳市涉及北川县中部和东部、平武县东南部、梓潼县、游仙区和涪城区。此外,还发现在雅安市以西的泸定县有一个降水中心区,此处属贡嘎山东坡地区,因无气象站而在图 5 中没有显现。

2.3 站点聚类分析

本文根据降水分布的季节变化界定华西雨屏带

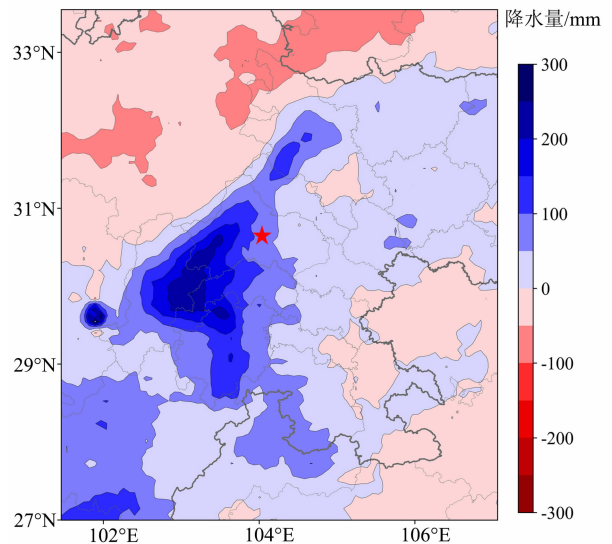


图 9 2010—2019 年 8 月 CMORPH 数据降水量距平值空间分布

Fig. 9 Spatial distribution of August precipitation anomalies based on CMORPH from 2010 to 2019

范围,并将其划分为核心区、南支区和北支区,再利用聚类分析对上述结果进行客观验证。基于月降水量,聚类分析将站点分为 4 类(图 10),首先是雅

安—峨眉山这一核心区为一类(类别1),其次是南、北支区为一类(类别2),再次是盆地内和西南的个别站点为一类(类别3),最后是泸州单独为一类(类别4)。聚类结果表明盆地边缘与盆地内降水差异较大,同时雨屏带核心区与南北两支应区别开,且泸州市不属于南支区。聚类分析结果基本支持了本文对华西雨屏地理范围的界定结果。

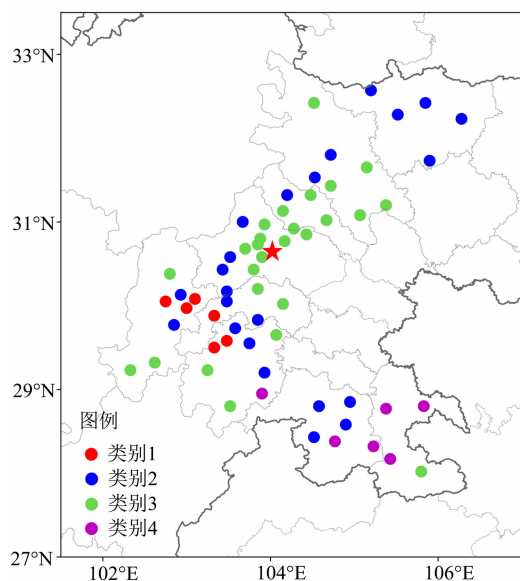


图 10 1975—2014 年月降水量的聚类分析结果

Fig. 10 Cluster analysis results of monthly precipitation from 1975 to 2014

2.4 华西雨屏的地理范围

华西雨屏带由核心区、南支区和北支区组成,3个区域的空间方位不同却联系紧密。核心区全年存在,南支区存在于冬半年,而北支区仅存在于7—9月,后二者可以认为是周期性的“准雨屏带”。

核心区是一个全年性的降水中心,主要涉及雅安市、眉山市和乐山市。雅安市降水空间分布很不均匀,降水集中于雨城区、名山区、荥经县和天全县^[30],雨城区历来被认为是“天漏”之地。汉源县、宝兴县和芦山县北部是少雨区,汉源县局部年降水量甚至不足 500 mm。另外,位于天全县以西的贡嘎山东坡为迎风坡,因水汽抬升而降水量大,一般也被认为是华西雨屏区^[31]。因此,雅安市的雨城区、名山区、天全县、荥经县、芦山县以及泸定县的贡嘎山东坡均属于雨屏带核心区。眉山市降水从西南向东北递减,洪雅县和丹棱县年降水量分别为 1385 mm

和 1229 mm,比青神县和彭山区明显偏多^[32-33],所以洪雅县和丹棱县应属于核心区。乐山市夹江县降水量为 1275 mm,峨眉山市降水量为 1438 mm,二者也属于核心区。

南支区是一个半年性的降水带,主要涉及乐山市和宜宾市,包括乐山市城区、犍为县、沐川县、马边县北部、峨边县中北部以及宜宾市大部分地区。北支区包括成都市、德阳市、绵阳市和广元市的部分地区。成都市降水量高值区主要集中在西部各县、市,这些地区年降水量一般为 1000 ~ 1200 mm^[34],如蒲江县(1233 mm)^[35]、邛崃市(1016 mm)^[36]。德阳市海拔自西北向东南逐渐递减,龙门山地区最大海拔高差达 4000 m,降水高值区集中于西北部山地及山前地区,如绵竹市和什邡市的部分地区降水量为 1300 ~ 1500 mm。绵阳市年降水量超过 1000 mm 的地区为北川县(1417 mm)、安州区(1285 mm)和江油市(1137 mm),且以北川县为降水中心向外减少^[37],其余地区年降水量均低于区域平均值^[38]。广元市降水分布呈马鞍型特征,东西分布有 1200 ~ 1300 mm 的降水中心,并以嘉陵江河谷和低山地带为分界^[39],同时考虑到盆地东北部降水受大巴山影响,不属于传统认知的华西雨屏,因此华西雨屏带北支区应止于广元市嘉陵江附近。

综上所述,华西雨屏带划分如下。(1)核心区包括雅安市的市辖区(雨城区、名山区)、天全县、荥经县、芦山县,泸定县的贡嘎山东坡,眉山市的洪雅县和丹棱县,乐山市的夹江县和峨眉山市。(2)南支区包括乐山市的市辖区(市中区、五通桥区、沙湾区、金口河区)、犍为县、沐川县、马边县和峨边县,宜宾市的市辖区(翠屏区、南溪区、叙州区)、屏山县、江安县、长宁县、高县、珙县、筠连县和兴文县。(3)北支区包括成都市的蒲江县、邛崃市、大邑县、崇州市、都江堰市和彭州市,德阳市的什邡市和绵竹市,绵阳市平武县东南部、北川县中东部、安州区和江油市,广元市的市辖区(利州区、昭化区、朝天区)、青川县南部和剑阁县北部。利用 GIS 软件对上述地区合并整理,并平滑区域边界得到华西雨屏带(图 11)。

3 讨论

3.1 华西雨屏带降水的差异性

本研究依据降水分布界定的华西雨屏带支持了

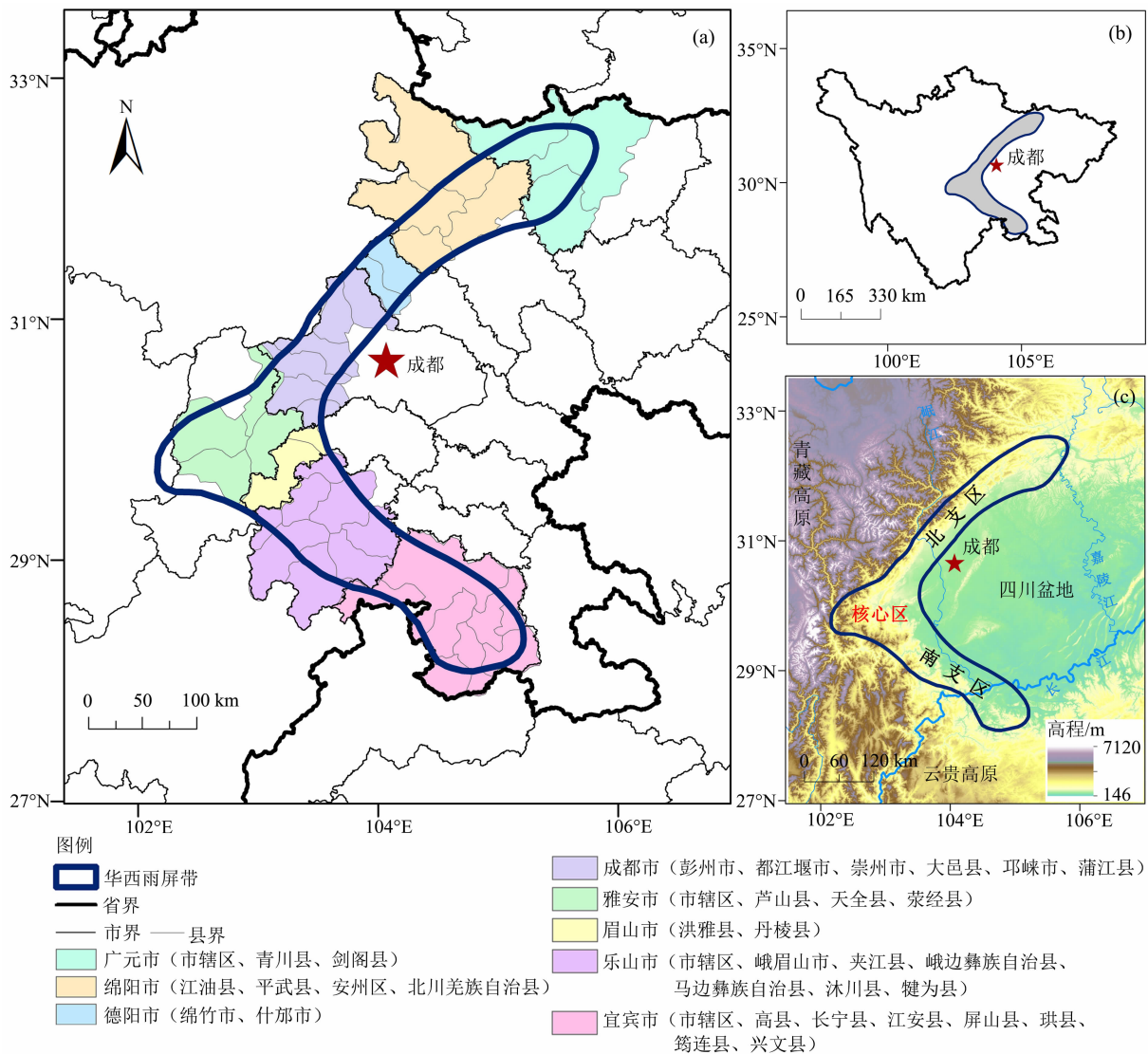


图 11 华西雨屏的地理范围：(a) 华西雨屏涉及的地级市；(b) 华西雨屏在四川省的位置；(c) 高程图

Fig. 11 Geographic coverage of the West China Rain Zone:

(a) municipalities covers in WCRZ; (b) location of WCRZ in Sichuan province; (c) elevation

“华西雨屏”这一概念,所得结果印证了前人^[3]依据经验判断的华西雨屏范围。本文使华西雨屏带有了比较清晰的边界,这一概念有了科学数据的支撑,而将华西雨屏带细分为 3 个子区域利于有针对性地应用这一概念。华西雨屏带以雅安—峨眉山为核心,并分别向南北延伸出两条“准雨屏带”——北支区和南支区。北支区在 7—9 月多暴雨,原因是夏季风在汛期携带充足的水汽,沿副热带高压西侧向内陆输送,并在盆地西缘被迫抬升而产生沿山降水带,导致盆地西缘夏季强降水集中^[40]。南支区在冬半年降水偏多,原因是冬半年大气环流以西风为主,高原东移的天气系统携带水汽较少,活跃的南支槽携带

孟加拉湾水汽输送到盆地南部,使得南支区 10 月至次年 4 月降水比周边偏多^[41]。受水汽条件限制,南支区在冬半年的降水量虽远低于夏季北支区的降水量,但冬半年南支区的降水量和降水频次与核心区相当,明显高于盆地内部,所以南支区应作为华西雨屏带的一部分。因此,南支区和北支区是对华西雨屏带核心区的补充,在相关研究时应注意区分降水在这两个区域的季节差异。

3.2 地理范围界定中存在的局限

本研究依据降水分布界定华西雨屏带存在以下不足。(1)虽然站点降水数据可靠性高,但因站点密度低而导致降水分布与实际存在一定差异。

(2)无法定量降水阈值来确定华西雨屏带。在气候研究中,常用某些降水阈值作为气候带或自然地理的分界线,如400 mm、800 mm等降水量线。本文未明确某个阈值界定华西雨屏带,主要是因为华西雨屏仅是四川盆地周边的多雨区,相比于中国东南等地,其降水量并不高,而且其内部的降水差异大,难以确定某个阈值来准确界定。(3)降水受地形影响较大,盆地周边地形十分复杂,高山、亚高山、丘陵、河谷等交相叠织,因坡向和坡度不同而引起地形降水较难分辨,如屏山县的五指山迎风坡和背风坡降水量相差1000 mm^[42]。目前的降水观测技术很难准确识别中小尺度降水,这导致难以精确界定华西雨屏带的边界。(4)引入CMORPH高分辨率卫星降水数据能辅助识别夏季降水,但CMORPH数据对层云、大雾的识别能力较弱,且卫星红外资料在夜间的观测能力有明显下降^[43],因此该数据在华西雨屏的应用受限。

3.3 研究展望

未来可对华西雨屏带的气候和生态系统进行更深入的研究。首先,提高降水数据的分辨率,尽可能使用分辨率更高的常规和非常规降水产品,如利用经过严格质量控制后的自动气象站数据、雷达和卫星定量降水估测数据^[44]。其次,结合生态环境特征,综合植被分布、地表径流及地形进行综合界定,使华西雨屏具有气候学和生态环境学的综合意义,以更加符合其“生态屏障”的地位。此外,华西雨屏位于盆地到高原的过渡区,其周边地区对全球变暖的响应差异较大^[45],未来应关注华西雨屏带对全球变暖响应的特殊性^[46]。随着川渝城市群的快速发展,盆地大气污染一直处于较高水平,盆地的气溶胶向山区传输也可能是北支区暴雨多发的新因素^[47]。

4 结论

利用站点降水数据和CMORPH卫星降水资料,本研究分析了华西雨屏的降水特征,界定了其地理范围。

华西雨屏带是自四川广元嘉陵江附近沿四川盆地西侧边缘山地及山前平原逆时针向盆地南侧,止于宜宾市中东部的一个带状降水区,无论是降水量还是降水频次都明显高于其周边地区。

华西雨屏带由3个子区域组成,分别是以雅

安—峨眉山为主的雨屏带核心区、峨眉山—宜宾的雨屏带南支区和盆地西缘的雨屏带北支区。雨屏带核心区为全年性的降水中心区,也即狭义华西雨屏区,南支区和北支区随季节交替出现,都是周期性的“准雨屏带”。

核心区包括雅安市的市辖区、天全县、芦山县、荥经县和贡嘎山东坡地区,眉山市的洪雅县和丹棱县,乐山市的夹江县和峨眉山市;南支区包括乐山市的市辖区、犍为县、沐川县、马边彝族自治县、峨边彝族自治县及宜宾市;北支区包括成都市的蒲江县、邛崃市、大邑县、崇州市、都江堰市、彭州市、绵阳市的江油市、安州区、平武县、北川羌族自治县,广元市的市辖区、剑阁县和青川县。

核心区全年均存在,冬半年面积比夏半年小。南支区在冬半年表现出明显的降水带,北支区主要出现于7—9月。华西雨屏可狭义地认为是雅安—峨眉山这一雨屏带核心区,南支区和北支区是对华西雨屏区的补充和扩展,在应用和研究时应注意区分二者的季节性。

参考文献 (References)

- [1] 傅伯杰, 欧阳志云, 施鹏, 等. 青藏高原生态安全屏障状况与保护对策[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(11): 1298–1306.
[FU Bojie, OUYANG Zhiyun, SHI Peng, et al. Current condition and protection strategies of Qinghai-Tibet Plateau ecological security barrier [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(11): 1298–1306] DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.20210919001
- [2] 四川省统计局. 四川统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021: 40–41. [Statistical Bureau of Sichuan. Sichuan statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021: 40–41]
- [3] 庄平, 高贤明. 华西雨屏带及其对我国生物多样性保育的意义[J]. 生物多样性, 2002, 10(3): 339–344. [ZHUANG Ping, GAO Xianming. The concept of the Rainy Zone of West China and its significance to the biodiversity conservation in China [J]. Biodiversity Science, 2002, 10(3): 339–344] DOI: 10.17520/biods.2002047
- [4] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发全国主体功能区规划的通知[J]. 北京: 中华人民共和国国务院公报, 2011(17): 3–89. [State Council of the People's Republic of China. Circular of the State Council on printing and distributing the National Major Functional Area plan [J]. Beijing: Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2011(17): 3–89]
- [5] 竺可桢. 中国气候之要素(续)[J]. 地理学报, 1935, 2(2):

- 1-31. [CHU Coching. Climatic factors of China (continued) [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1935, **2**(2): 1-31] DOI: 10.11821/xb193502001
- [6] 卢臻. 川康边区之雨量[J]. *气象学报*, 1942(Z1): 23-35. [LU Wu. The precipitation of the SE Tibetan borderland [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1942(Z1): 23-35]
- [7] 王佳津, 陈朝平, 刘莹, 等. 四川省持续性暴雨定义及时空分布特征[J]. *气象科技*, 2017, **45**(2): 331-341. [WANG Jiajin, CHEN Chaoping, LIU Ying, et al. Statistical analysis of persistent heavy rainfall in Sichuan [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2017, **45**(2): 331-341] DOI: 10.19517/j.1671-6345.20160242
- [8] 卿清涛, 陈文秀, 詹兆渝. 四川省暴雨洪涝灾害损失时空演变特征分析[J]. *高原山地气象研究*, 2013, **33**(1): 47-51. [QING Qingtao, CHEN Wenxiu, ZHAN Zhaoyu. Characteristics of spatial and temporal distribution of losses caused by flood damage [J]. *Plateau and Mountain Meteorology Research*, 2013, **33**(1): 47-51] DOI: 10.3969/j.issn.1674-2184.2013.01.008
- [9] 李昱锐, 陈朝平, 陈权亮, 等. 四川地区短时强降水事件时空演变特征研究[J]. *高原山地气象研究*, 2021, **41**(3): 42-49. [LI Yurui, CHEN Chaoping, CHEN Quanliang, et al. Temporal and spatial evolution characteristics of the short-duration strong rainfall events in Sichuan [J]. *Plateau and Mountain Meteorology Research*, 2021, **41**(3): 42-49] DOI: 10.3969/j.issn.1674-2184.2021.03.006
- [10] XIONG K, ADHIKARI B R, STAMATOPOULOS C A, et al. Comparison of different machine learning methods for debris flow susceptibility mapping: A case study in the Sichuan province, China [J]. *Remote Sensing*, 2020, **12**(2): 295. DOI: 10.3390/rs12020295
- [11] 杨红娟, 韦方强, 马振峰, 等. 四川省泥石流灾害的时空分布规律和降水特征[J]. *灾害学*, 2017, **32**(4): 102-107. [YANG Hongjuan, WEI Fangqiang, MA Zhenfeng, et al. Spatial-temporal distribution of debris flows in Sichuan province in China and the corresponding rainfall characteristics [J]. *Journal of Catastrophology*, 2017, **32**(4): 102-107] DOI: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.04.018
- [12] 郎燕, 刘宁, 刘世荣. 气候和土地利用变化影响下生态屏障带水土流失趋势研究[J]. *生态学报*, 2021, **41**(13): 5106-5117. [LANG Yan, LIU Ning, LIU Shirong. Changes in soil erosion and its driving factors under climate change and land use scenarios in Sichuan-Yunnan-Loess Plateau region and the Southern Hilly Mountain Belt, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(13): 5106-5117] DOI: 10.5846/stxb202101310341
- [13] ZHANG Yueying, CAO Yuanfei, TANG Ya, et al. Wet deposition of sulfur and nitrogen at Mt. Emei in the West China Rain Zone, southwestern China: Status, inter-annual changes, and sources [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **713**: 136676. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136676
- [14] 杨开军, 杨万勤, 庄丽燕, 等. 四川盆地西缘都江堰大气氮素湿沉降特征[J]. *应用与环境生物学报*, 2018, **24**(1): 107-111. [YANG Kaijun, YANG Wanqin, ZHUANG Liyan, et al. Characteristics of atmospheric wet nitrogen deposition in Dujiangyan, western edge of Sichuan Basin [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2018, **24**(1): 107-111] DOI: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2017.04001
- [15] QIAO Xue, WANG Peng, ZHANG Jie, et al. Spatial-temporal variations and source contributions to forest ozone exposure in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **674**: 189-199. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.106
- [16] 赖世会, 江全富, 贾晨, 等. 华西雨屏区不同林分类型对土壤化学性质的影响[J]. *四川林业科技*, 2021, **42**(4): 35-40. [LAI Shihui, JIANG Quanfu, JIA Chen, et al. Effects of different stand types on soil chemical properties in Rainy Zone of West China [J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2021, **42**(4): 35-40] DOI: 10.12172/202101050001
- [17] 田祥宇, 涂利华, 胡庭兴, 等. 华西雨屏区苦竹人工林土壤呼吸各组分特征及其温度敏感性[J]. *应用生态学报*, 2012, **23**(2): 293-300. [TIAN Xiangyu, TU Lihua, HU Tingxing, et al. Characteristics of soil respiration components and their temperature sensitivity in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, **23**(2): 293-300] DOI: 10.13287/j.1001-9332.2012.0070
- [18] 吴福佳, 游成铭, 朱亮, 等. 华西雨屏区常绿阔叶林4种重金属的空间分布特征[J]. *四川农业大学学报*, 2020, **38**(1): 36-42. [WU Fujia, YOU Chengming, ZHU Liang, et al. Spatial distribution characteristics of four heavy metals in evergreen broad-leaved forest in Rainy Area of West China [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2020, **38**(1): 36-42] DOI: 10.16036/j.issn.1000-2650.2020.01.006
- [19] ZHOU Shixing, HUANG Congde, HAN Bohan, et al. Simulated nitrogen deposition significantly suppresses the decomposition of forest litter in a natural evergreen broad-leaved forest in the Rainy Area of Western China [J]. *Plant Soil*, 2017, **420**: 135-145. DOI: 10.1007/s11104-017-3383-x
- [20] 孙宇, 彭天驰, 李顺, 等. 模拟氮沉降对湿性常绿阔叶次生林土壤碳氮组分和酶活性的影响[J]. *水土保持学报*, 2019, **33**(2): 235-243+250. [SUN Yu, PENG Tianchi, LI Shun, et al. Effects of simulated nitrogen deposition on soil carbon and nitrogen fractions and enzyme activity in moist evergreen broad-leaved secondary forest [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2019, **33**(2): 235-243+250] DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2019.02.037
- [21] 向元彬, 周世兴, 肖永翔, 等. 模拟氮沉降和降雨量改变对华西雨屏区常绿阔叶林土壤有机碳的影响[J]. *生态学报*, 2017, **37**(14): 4686-4695. [XIANG Yuanbin, ZHOU Shixing, XIAO Yongxiang, et al. Effects of simulated nitrogen deposition

- and precipitation changes on soil organic carbon in an evergreen broad-leaved forest that is part of the Rainy Area of Western China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(14): 4686–4695] DOI: 10.5846/stxb201604250784
- [22] 国家气象信息中心. 中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集 (V3.0) [DS]. 2015. [China National Meteorological Information Center. Daily meteorological dataset of basic meteorological elements of China national surface weather station (V3.0) [DS]. 2015]
- [23] ROY D, BANU S. Comparison of satellite derived rainfall estimations: CMORPH, IMERG and GSMaP with observed precipitation [J]. *American Journal of Climate Change*, 2021, **10**(4): 407–421. DOI: 10.4236/ajcc.2021.104021
- [24] KIM J, HAN H. Evaluation of the CMORPH high-resolution precipitation product for hydrological applications over South Korea [J]. *Atmospheric Research*, 2021, **258**: 105650. DOI: 10.1016/j.atmosres.2021.105650
- [25] 郭瑞芳, 刘元波. 多传感器联合反演高分辨率降水方法综述 [J]. *地球科学进展*, 2015, **30**(8): 891–903. [GUO Ruifang, LIU Yuanbo. Multi-satellite retrieval of high resolution precipitation: An overview [J]. *Advances in Earth Science*, 2015, **30**(8): 891–903] DOI: 10.11867/j.issn.1001–8166.2015.08.0891
- [26] 曾岁康, 雍斌. 全球降水计划 IMERG 和 GSMaP 反演降水在四川地区的精度评估 [J]. *地理学报*, 2019, **74**(7): 1305–1318. [ZENG Suikang, YONG Bin. Evaluation of the GPM-based IMERG and GSMaP precipitation estimates over the Sichuan region [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, **74**(7): 1305–1318] DOI: 10.11821/dlxb201907003
- [27] 赵亚迪. 中国区域 TRMM 3B42 RT 和 CMORPH 降水资料的评估与校正 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2018: 49–50. [ZHAO Yadi. Evaluation and correction of TRMM 3B42 RT and CMORPH precipitation data in the region of China [D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University, 2018: 49–50]
- [28] DEGHAN Z, ESLAMIAN S S, MODARRES R. Spatial clustering of maximum 24-h rainfall over Urmia Lake Basin by new weighting approaches [J]. *International Journal of Climatology*, 2018, **38**(5): 2298–2313. DOI: 10.1002/joc.5335
- [29] 孙昭萱, 杨小波, 甘薇薇, 等. 四川省月尺度降水的分型及预测 [Z]. 成都: 四川省气候中心, 2016. [SUN Zhaoxuan, YANG Xiaobo, GAN Weiwei, et al. Classification and prediction of monthly precipitation in Sichuan province [Z]. Chengdu: Sichuan Climate Center, 2016]
- [30] 王俊驿, 唐沛. 雅安地区降雨时空变化特征研究 [J]. *高原山地气象研究*, 2020, **40**(3): 54–58. [WANG Junyi, TANG Pei. Study on spatial-temporal variation characteristics of precipitation in Ya'an area [J]. *Plateau and Mountain Meteorology Research*, 2020, **40**(3): 54–58] DOI: 10.3969/j.issn.1674–2184.2020.03.008
- [31] 李桂垣, 张瑞云. 四川二郎山鸟类初步调查报告 [J]. *动物学杂志*, 1964(3): 110–115. [LI Guiyuan, ZHANG Ruiyun. A survey of birds in Erlang Mountain in Sichuan [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1964(3): 110–115] DOI: 10.13859/j.cjz.1964.03.005
- [32] 张雪芹, 徐晓明, 李想. 近 40 年增暖背景下岷江流域降水异常变化 [J]. *自然灾害学报*, 2022, **31**(4): 44–56. [ZHANG Xueqin, XU Xiaoming, LI Xiang. Changes of abnormal precipitation with warming in the Minjiang River Basin in the past 40 years [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2022, **31**(4): 44–56] DOI: 10.13577/j.jnd.2022.0404
- [33] 余益祺, 肖天贵. 成都平原经济区气候特征分析 [J]. *高原山地气象研究*, 2021, **41**(2): 143–149. [YU Yiqi, XIAO Tianguai. Study on climatic characteristics of Chengdu Plain economic zone [J]. *Plateau and Mountain Meteorology Research*, 2021, **41**(2): 143–149] DOI: 10.3969/j.issn.1674–2184.2021.02.017
- [34] 李昕翼, 肖国杰, 白爱娟, 等. 成都地区降水时空分布变化 [J]. *气象科技*, 2011, **39**(4): 417–422. [LI Xinyi, XIAO Guojie, BAI Aijuan, et al. Temporal-spatial distribution of precipitation in Chengdu [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2011, **39**(4): 417–422] DOI: 10.19517/j.1671–6345.2011.04.005
- [35] 左良优. 近 50 年来四川省蒲江县气候变化特征初探 [J]. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 2017, **38**(2): 60–64. [ZUO Liangyou. Primary investigation on the characteristics of climate change in Pujiang in recent 50 years [J]. *Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition)*, 2017, **38**(2): 60–64] DOI: 10.19789/j.1004–9398.2017.02.013
- [36] 胡毅, 朱克云, 李跃春, 等. 成都平原中西部近 40 年气候特征及其变化研究 [J]. *成都信息工程学院学报*, 2004, **19**(2): 223–231. [HU Yi, ZHU Keyun, LI Yuechun, et al. Climatic features and changes in the middle and western Chengdu Plain during past 40 years [J]. *Journal of Chengdu University of Information Technology*, 2004, **19**(2): 223–231]
- [37] 曾艳婷. 近 50 年来绵阳市气候时空变化特征分析 [D]. 成都: 四川师范大学, 2021: 53–71. [ZENG Yanting. Analysis on characteristics of temporal and spatial changes of climate in Mianyang city in the past 50 [D]. Chengdu: Sichuan Normal University, 2021: 53–71]
- [38] 钟爱华, 李跃清. 川北绵阳地区降水量的时空分布特征及变化趋势 [J]. *高原山地气象研究*, 2009, **29**(4): 63–69. [ZHONG Aihua, LI Yueqing. Spatial and temporal distribution characteristics and variation tendency of precipitation in Mianyang [J]. *Plateau and Mountain Meteorology Research*, 2009, **29**(4): 63–69] DOI: 10.3969/j.issn.1674–2184.2009.04.010
- [39] 刘开发. 广元气候资源的特点及综合评价 [J]. *西南工学院学报*, 1995, **10**(3): 70–73. [LIU Kaifa. The characteristics and comprehensive evaluation of climatic resources of Guangyuan [J].

- Journal of Southwest Institute of Technology, 1995, **10** (3): 70–73]
- [40] 赵衍斌, 肖天贵. 四川地区强降水的时空分布特征[J]. 成都信息工程大学学报, 2016, **31**(1): 94–101. [ZHAO Yanbin, XIAO Tianguai. The temporal and spatial distribution of heavy rainfall in Sichuan [J]. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2016, **31**(1): 94–101]
- [41] 冯良敏, 陈朝平. 南支槽对四川地区降水影响的定量分析[J]. 气象科技, 2019, **47**(2): 262–268. [FENG Liangmin, CHEN Chaoping. Quantitative analysis of influence of south branch trough on precipitation in Sichuan area [J]. Meteorological Science and Technology, 2019, **47**(2): 262–268] DOI: 10.19517/j.1671–6345.20180143
- [42] 李波. 川南降水的地理分布[J]. 内江师范学院学报, 1987 (S1): 89–99. [LI Bo. Geographical distribution of precipitation in south Sichuan [J]. Journal of Neijiang Normal University, 1987 (S1): 89–99]
- [43] 成璐, 沈润平, 师春香, 等. CMORPH 和 TRMM 3B42 降水估计产品的评估检验[J]. 气象, 2014, **40**(11): 1372–1379. [CHENG Lu, SHEN Runping, SHI Chunxiang, et al. Evaluation and verification of CMORPH and TRMM 3B42 precipitation estimation products [J]. Meteorological Monthly, 2014, **40**(11): 1372–1379] DOI: 10.7519/j.issn.1000–0526.2014.11.010
- [44] 徐八林, 许彦艳, 解莉燕, 等. 雷达估测降水在山洪灾害中的应用分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2021, **43**(2): 326–334. [XU Balin, XU Yanyan, XIE Liyan, et al. Application analysis of radar-measured precipitation in mountain flood disaster [J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2021, **43**(2): 326–334] DOI: 10.7540/j.ynu.20200122
- [45] 马振锋, 彭骏, 高文良, 等. 近 40 年西南地区的气候变化事实[J]. 高原气象, 2006, **25**(4): 633–642. [MA Zhenfeng, PENG Jun, GAO Wenliang, et al. Climate variation of southwest China in recent 40 years [J]. Plateau Meteorology, 2006, **25**(4): 633–642]
- [46] 吕晶, 李忠贤, 李跃清, 等. 峨眉山及其周边地区降水气候特征研究[J]. 高原气象, 2018, **37**(6): 1544–1562. [LYU Jing, LI Zhongxian, LI Yueqing, et al. Study on the climate characteristics of precipitation in Emei Mountain and its surrounding area [J]. Plateau Meteorology, 2018, **37**(6): 1544–1562] DOI: 10.7522/j.issn.1000–0534.2018.00049
- [47] FAN Jiwen, ROSENFELD D, YANG Yan, et al. Substantial contribution of anthropogenic air pollution to catastrophic floods in Southwest China [J]. Geophysical Research Letters, 2015, **42** (16): 6066–6075. DOI: 10.1002/2015GL064479

Geographic Extent of the West China Rain Zone Determined by Precipitation Characteristics

HU Wenbin^{1a}, QIAO Xue^{1b, 1c}, CHEN Keyi², TANG Ya^{1a, 1c*}

(1. a. College of Architecture and Environment; b. Institute of New Energy and Low-Carbon Technology;
c. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: The West China Rain Zone (WCRZ) is described by scholars as a strip of transition zone of precipitation extended approximately from the western edge of the Sichuan basin to the Qinghai-Tibet Plateau. WCRZ is one of the high-value areas of annual precipitation in western China, with important ecological service merits. Defining its geographic range can help regional ecological environmental protection, mountain development and disaster prevention and control.

In this paper, it initiatively defined the geographical boundary of WCRZ according to precipitation records collected at meteorological observations from 1975 to 2014 and CMORPH satellite data from 2010 to 2019. It analyzed the precipitation differences between WCRZ and its surrounding areas by calculating the spatial anomaly of precipitation values and precipitation frequency, and applying spatial clustering analysis.

It found (1) the overall extent of WCRZ started in the north near the Jialingjiang River in Guangyuan city; immediately it run counterclockwise southward along mountains and piedmont plains on the western edge of the

Sichuan basin, and ended in the east-central part of Yibin city, where the precipitation and its frequency were significantly higher than those in the surrounding areas. (2) WCRZ consisted of a core area, a southern branch area and a northern branch area, with the core area located in the Ya'an-Mount Emei area, i. e., WCRZ sensu stricto; in the southern branch area it had high precipitation and precipitation frequency in winter half years, while in the northern branch area high precipitation resulted from heavy rainstorms from July to September; the southern and northern branches were both periodic quasi-rain zone. (3) Precipitation in WCRZ had obvious spatial-temporal variability, and any scientific attention to the climate and related ecological and environmental issues in WCRZ should be aware of the spatial-temporal differentiation in connection with seasons or regions.

This study gives an insight into WCRZ and provides scientific basis for regional ecological conservation and development.

Key words: the West China Rain Zone; climatic characteristics; ecological construction; precipitation distribution; the Sichuan basin

(责任编辑 钟雨倩)

华西雨屏的 L 型分布

(胡文斌, 四川大学建筑与环境学院)

“雨屏”这一概念由竺可桢于 1936 年提出。华西雨屏一般理解为中国西部某些降水偏多地区,但狭义华西雨屏仅指四川盆地向青藏高原的过渡区域,是一个区域性气候范畴,具有一定的地理涵义。气象学界和地理学界对华西雨屏具体地理范围并无清晰地界定。有学者认为,华西雨屏带由岷山山脉、邛崃山脉、大相岭至黄茅埂以东的狭长地带构成,东西宽 50 ~ 70 km,南北长 400 ~ 450 km,面积大约 25000 km²,地貌上包括四川盆地西部边缘的亚高山、中山及山前丘陵。华西雨屏带自然灾害风险高,生态问题突出。合理划分华西雨屏带地理范围有助于区域生态环境保护、山区发展和灾害防治。

详见本期《基于降水特征的华西雨屏地理范围界定》一文。