

2008—2013 年新疆夏季降水的日变化特征

朱小凡 张明军* 王圣杰 杜铭霞 强 芳 靳晓刚 王 杰

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘 要 选用中国自动气象站与 CMORPH 融合的逐时降水量 0.1° 网格数据集, 使用逐时降水量、降水频率和降水强度等指标, 分析了 2008—2013 年新疆夏季降水的日变化特征。结果表明: 逐时降水量和降水频率的日变化特征基本一致, 北疆的逐时降水量和降水频率较南疆大, 山区较盆地大, 逐时降水强度的高值区更多地分布在降水稀少的盆地; 大部分区域的逐时降水量、降水频率和降水强度均是 6 月最大, 7 月次之, 8 月最小; 逐时降水量和降水频率的峰值时间具有相似的空间特征, 且后者的区域特征更为显著, 两者在山区的峰值时间主要集中在 18:00—23:00, 而盆地区域的降水峰值时间多集中于 0:00—5:00; 白天和夜间降水量的空间特征基本一致; 此外, 逐时降水量与逐时降水频率的相关性最高, 与逐时降水强度的相关性次之, 而逐时降水频率与逐时降水强度的相关性最差, 特别是在干旱的盆地。

关键词 新疆; 夏季; 降水; 日变化

Diurnal variation characteristics of precipitation of Xinjiang in summer during 2008–2013. ZHU Xiao-fan, ZHANG Ming-jun*, WANG Sheng-jie, DU Ming-xia, QIANG Fang, JIN Xiao-gang, WANG Jie (College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China).

Abstract: The diurnal variation characteristics of precipitation (such as hourly precipitation amount, frequency and intensity) of Xinjiang in summer during 2008–2013 were analyzed with 0.1° gridded hourly precipitation dataset merged from automatic weather stations in China and the Climate Precipitation Center Morphing (CMORPH) precipitation product. The results showed that the diurnal variation features of hourly precipitation amount and frequency were similar; both indexes were much larger in northern Xinjiang than in southern Xinjiang and much larger in mountains than in basins, but the higher values of hourly precipitation intensity occurred more in arid basins. The values of hourly precipitation amount, frequency and intensity in most areas of Xinjiang were the largest in June and the least in August. In addition, the peak time of hourly precipitation amount and frequency had a parallel spatial pattern, and the latter was more prominent, in which the peak time of both indexes happened from 18:00 to 23:00 in mountains and from 0:00 to 5:00 in basins. Additionally, the precipitation amount in daytime and nighttime showed a similar spatial pattern. Moreover, the correlation between hourly precipitation amount and frequency was the highest, secondly by the correlation between hourly precipitation amount and intensity, while the correlation between hourly precipitation frequency and intensity was poor, especially in arid basins.

Key words: Xinjiang; summer; precipitation; diurnal variation.

降水是重要的气象要素,也是水循环的重要环

节。全球变暖使得气候系统的响应更加敏感,气温的上升会促使水循环加速,降水增加(基本确定)(董思言等,2014),引发洪涝等极端降水事件频发,对社会生产、生活环境造成严重影响(陈亚宁等,

国家自然科学基金项目(41161012)和全球变化国家重大科学研究计划项目(2013CBA01801)资助。

收稿日期: 2015-05-18 接受日期: 2015-08-17

* 通讯作者 E-mail: mjzhang2004@163.com

2012, 2014; Li *et al.*, 2012; Shiu *et al.*, 2012)。受地形、纬度、大气环流、天气系统和海陆分布的影响,不同区域的降水存在显著的年代际、年际、月和日变化特征,这些变化与人们的日常生活存在紧密的联系,因此,对于不同时间尺度降水研究工作的开展具有重要的现实意义(Betts *et al.*, 2013)。2005 年,降水日变化特征的研究被世界气候研究计划(WCRP)确立为需要特别重视和关注的科学问题(Sperber *et al.*, 2006),并指出对于降水日变化特征的研究,可以促进我们认识不同区域的降水变化规律,提供相关的科学依据用于评估数值模拟的可靠性,还可以加深对影响区域气候变化的动力、热力过程的认识。受海陆分布和地形的影响,降水日变化存在两个基本的类型(伍光和等, 2008): (1) 大陆型: 受中纬度大陆性气候影响的区域,降水的峰值一般集中在清晨和午后,而不易出现降水的时刻是夜间和午前; (2) 海洋型或海岸型: 与大陆型存在明显的差异,仅有一个峰值和低值,分别是清晨和午后。

对于降水日变化特征的研究工作早在 20 世纪初期就有开展(Kincer, 1916; Ray, 1928; Cook, 1939),近年来有关降水日变化特征的研究主要集中在以下几个方面: (1) 基于地面观测资料对特定区域降水峰值、降水强度和降水频率等指标的时空特征研究(Chen *et al.*, 2009; 张运福等, 2011); (2) 基于热带降雨测量 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission) 卫星或美国气候预报中心的 COMRPH(CPC Morphing Technique) 等高时空分辨率卫星降水资料对降水日变化特征的分析,或者与地面观测资料对降水日变化特征的比较分析(宝兴华, 2011; 吴璐, 2012); (3) 通过使用微波辐射计的观测资料分析某区域的水汽日变化特征,然后将其用于当地降水的日变化特征研究之中(赵玲等, 2009; 姚俊强等, 2013); (4) 鉴于将大气可降水量 PW(Precipitable Water) 用于降水日变化特征的分析具有一定的可靠性,因此,可以通过分析 PW 的日变化特征从而探讨降水的日变化特征(Kuwagata *et al.*, 2001; 梁宏等, 2010)。

然而,用于降水日变化特征研究的数据必须具备小时尺度的时间分辨率,现有的关于西北地区降水日变化特征的研究较少,特别是地形复杂和气象资料相对匮乏的新疆地区更少(姚俊强等, 2013; 康延臻等, 2015)。本文使用中国气象局国家气象信息中心发布的中国自动站与 CMORPH 融合的逐时

降水量 0.1° 网格数据集,从逐时降水量、降水频率、降水强度和峰值时间等角度分析新疆夏季降水的日变化特征,旨在认识新疆地区的夏季降水是否存在明显的日变化特征,以及是否有显著的区域差异。

1 材料与方法

1.1 资料来源

本文使用中国气象局国家气象信息中心气象数据研究室 2011 年 1 月建立的中国自动站与 CMORPH 融合的逐时降水量 0.1° 网格数据集(1.0 版)(<http://cdc.nmic.cn/home.do>),时间序列为 2008—2013 年的 6 月 1 日 0:00 至 8 月 31 日 23:00,空间分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$,该数据集包含卫星和地面两个降水数据源: (1) 卫星反演的降水数据源自美国环境预测中心的实时卫星反演的 CMORPH 降水资料,时间分辨率是 30 min,初始空间分辨率是 8 km; (2) 地面观测资料选用全国 3 万多个自动气象观测站的逐时降水量数据。此外,该数据集的制作团队从数据资料误差的时空特征、不同量级降水和不同累计时间下的数据质量以及对强降水的反应能力等方面对该数据集的质量进行了评估,结果发现,地面和卫星相互融合的降水资料平均误差和均方根误差均显著减小,将其用于大气、生态、农业和水文等方面的研究具有一定的可靠性(沈艳等, 2013; Shen *et al.*, 2014)。本文选用该数据集 2008—2013 年新疆夏季(6、7、8 月)的数据资料,共 17548 个格点,时间由数据集初始的世界时转换为北京时间,用于分析研究区夏季降水的日变化特征。

1.2 研究区概况

新疆维吾尔自治区位居亚欧大陆内部,地形轮廓以“三山夹两盆”著称,地貌类型以山地和盆地为主。独特的地理位置,境内复杂的地貌类型组合,加上多样化的自然环境,使得境内蒸发量大,降水稀少,全区年平均降水量仅有 146 mm,大部分区域的年降水量的变差系数介于 0.2 ~ 0.7(苏宏超等, 2007),且降水的时空分布不均匀,北疆降水较南疆丰富,山地降水较盆地丰富,西部地区较东部丰富,加上在特殊的地形、长期低温和特定区域降水丰富等特殊条件下形成的储水量丰富的冰川,形成了地表径流的主要补给来源(Wang *et al.*, 2011; 沈永平等, 2013)。

为了更加清晰地反映新疆降水日变化特征的区域差异,本文根据新疆的地貌特征和气候类型

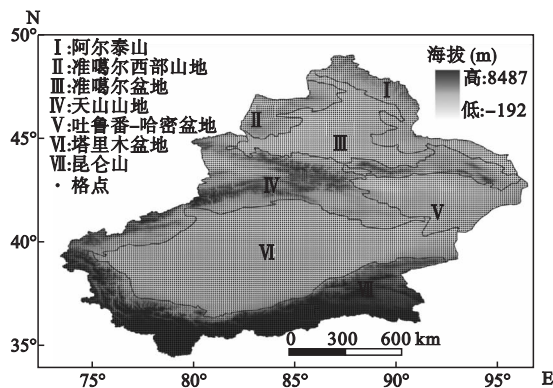


图 1 新疆格点分布示意图
Fig.1 Distribution of gridded boxes in Xinjiang

(丁一汇,2013; 范彬彬等,2013) 将研究区分为 7 个小区,分别是北部的阿尔泰山、准噶尔西部山地和准噶尔盆地,中部的天山山地和吐鲁番—哈密盆地,南部的塔里木盆地和昆仑山(图 1)。

1.3 分析方法
使用逐时降水量、逐时降水频率、逐时降水强度和峰值时间等 9 个指标分析新疆夏季降水的日变化特征,如表 1 所示。

表 1 降水日变化特征指标的定义
Table 1 Definition of indexes for diurnal variation of precipitation

指标	定义	单位
逐时降水量	单位时间或某一时段内的降水量,本文指每小时内的累计降水量	mm
逐时降水强度	某小时内有降水发生时,这一小时内的单位降水量	$\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$
逐时降水频率	某小时内发生降水的总次数与此小时降水总观测次数的比率	
降水量峰值时间	一天 24 小时内降水量的最大值所对应的时间	
降水频率峰值时间	一天 24 小时内降水频率的最大值所对应的时间	
降水强度峰值时间	一天 24 小时内降水强度的最大值所对应的时间	
峰值时间的格点数目	峰值时间出现在某一小时的格点总数目	个
白天降水量	08:00—20:00 的累计降水量	mm
夜间降水量	20:00—08:00 的累计降水量	mm

2 结果与分析
2.1 逐时降水量、降水频率和降水强度的时空变化特征
2.1.1 不同分区逐时降水量的时空变化特征 如图2所示,北疆以及天山地区的平均逐时降水量明

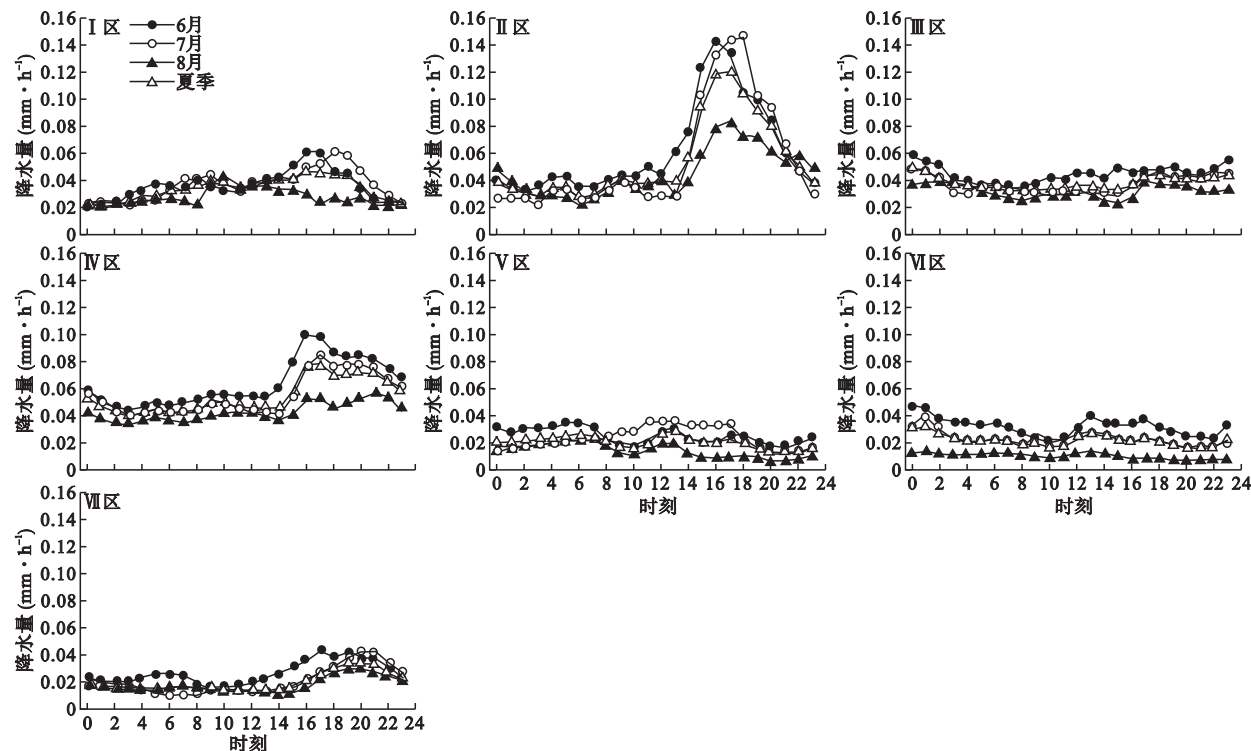


图 2 2008—2013 年新疆夏季平均逐时降水量的日变化特征
Fig.2 Diurnal variation of mean hourly precipitation amount in summer for Xinjiang during 2008—2013

显大于南疆地区,其中准噶尔西部山地是逐时降水量最大的区域,而吐哈盆地和昆仑山则相对最小;大部分分区的降水量是6月最大,7月次之,8月最小;以北疆的准噶尔西部山地为例,6月和7月的降水量峰值时间分别是16:00和18:00,而8月和夏季的峰值时间是17:00。

如图3所示,天山地区、准噶尔西部山地和阿尔泰山是新疆夏季降水最为富集的区域(平均小时降水量均超过0.1 mm),特别是天山中段。在一天的初始0:00,天山中、西段区域的降水较为丰富,之后

呈逐渐减少趋势;在3:00—4:00这一时间段内,仅有天山中段的部分区域有降水发生;凌晨5:00之后,天山中、西段的降水显著增加,之后又显著减少。此外,在9:00和13:00这两个时刻出现了降水集中的特征,16:00直至傍晚之后的几个小时是夏季降水最为集中的时刻,特别是在16:00—18:00这段时间内,天山中段、准噶尔西部山地和阿尔泰山的部分区域的平均小时降水量超过0.6 mm,而南部的昆仑山仅在17:00左右降水较为显著,其他时刻的平均小时降水量均未超过0.1 mm,且大部分时间降水量

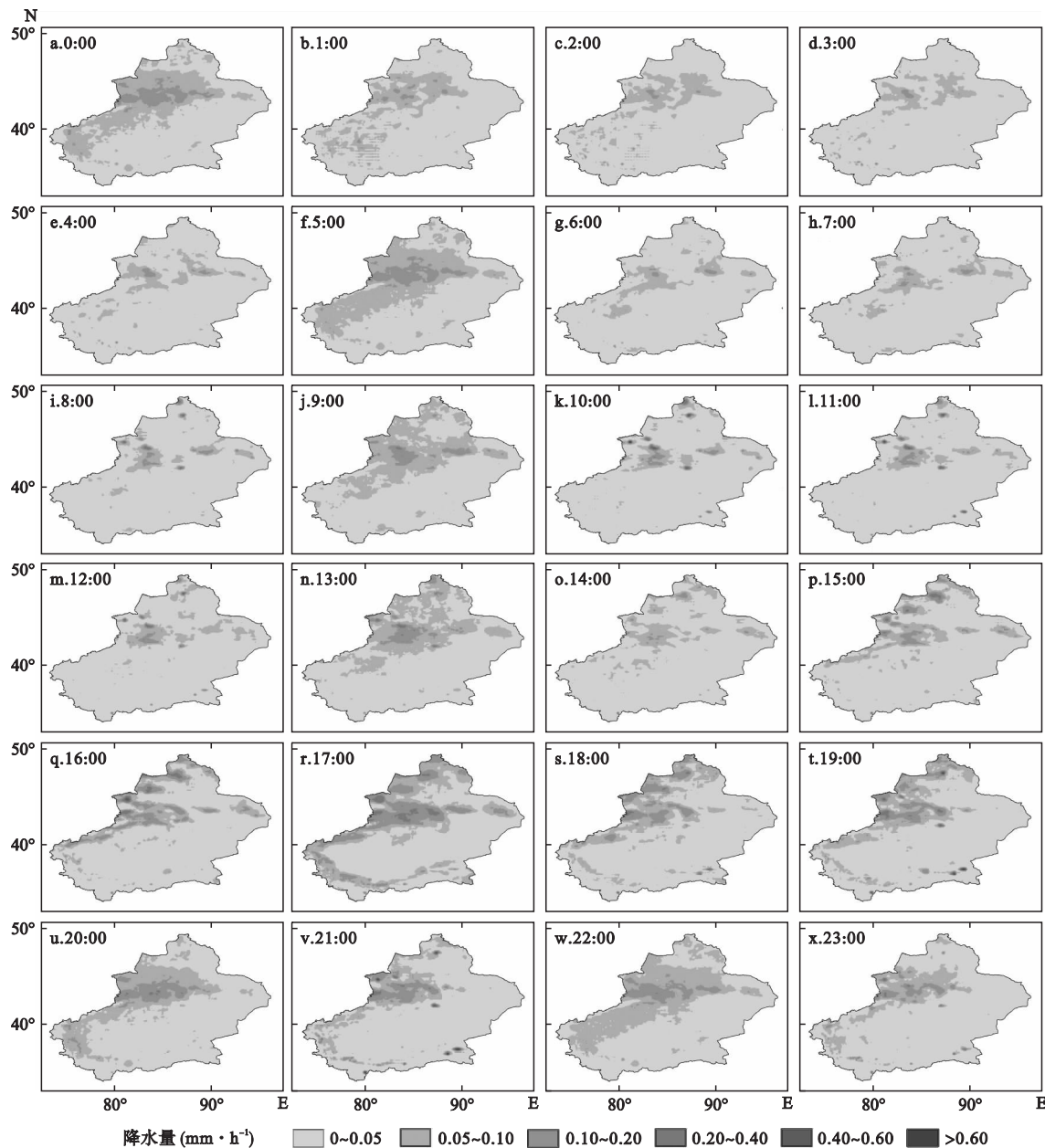


图3 2008—2013 年新疆夏季平均逐时降水量的空间特征
Fig.3 Spatial pattern of diurnal variation for mean hourly precipitation amount in summer for Xinjiang during 2008—2013

均小于 0.05 mm。

2.1.2 不同分区逐时降水频率的时空变化特征

从图4可以看出,逐时降水频率的日变化特征与逐时降水量的日变化特征基本一致。北疆以及天山地区的降水频率较南疆大,山区的降水频率较盆地大,特别是准噶尔西部山地和天山山地降水频率最大,即降水事件发生的概率大,而东部的吐哈盆地、南部的塔里木盆地和昆仑山是降水频率相对较小的区域;从月份来看,大部分区域在6月的降水频率最大,7月次之,8月最小;以北疆的准噶尔西部山地为例,7月和8月的降水频率峰值时间是18:00,6月和夏季的峰值时间是17:00。

整体来看,天山山地、准噶尔西部山地、阿尔泰山和昆仑山的部分区域是新疆夏季降水频率较高的区域,特别是天山中段和准噶尔盆地的部分区域逐时降水频率超过0.35,这与夏季逐时降水量的空间特征基本一致(图5)。具体来看,山区及其周围大部分区域的降水频率最高的时间均是出现在15:00以后,特别是16:00—19:00,凌晨4:00到午后的14:00均是降水频率较低的时间段,然而对于降水稀少的盆地而言,在大多数时刻,降水频率均低

于0.05。

2.1.3 不同分区逐时降水强度的时空变化特征

图6显示,逐时降水强度的日变化特征与逐时降水量和降水频率的日变化特征存在显著的差异,大部分盆地区域的逐时降水强度与降水丰富的山区基本相同,甚至比后者更大。准噶尔盆地和天山山地,不论是6、7、8月还是夏季,其逐时降水强度的日变化特征基本一致,且强度稳定,而其他区域不同月份的逐时降水强度日变化特征差异较大;此外,阿尔泰山、准噶尔西部山地和天山山地的逐时降水强度峰值时间大体一致且比较集中(5:00和16:00—18:00),而昆仑山及其他盆地的逐时降水峰值时间比较分散。

如图7所示,逐时降水强度的高值区并非与逐时降水量和降水频率一样分布在降水丰富的山区,而是更多地分布在降水稀少干旱的盆地区域,如塔里木盆地的中西部 and 准噶尔盆地的中部及北部区域(部分地区降水强度超过 $6 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)。具体来看,0:00—2:00和13:00—17:00是塔里木盆地中西部地区降水强度最大的时刻,19:00—21:00则是塔里木盆地中南部区域降水强度最大的时刻;准噶尔西

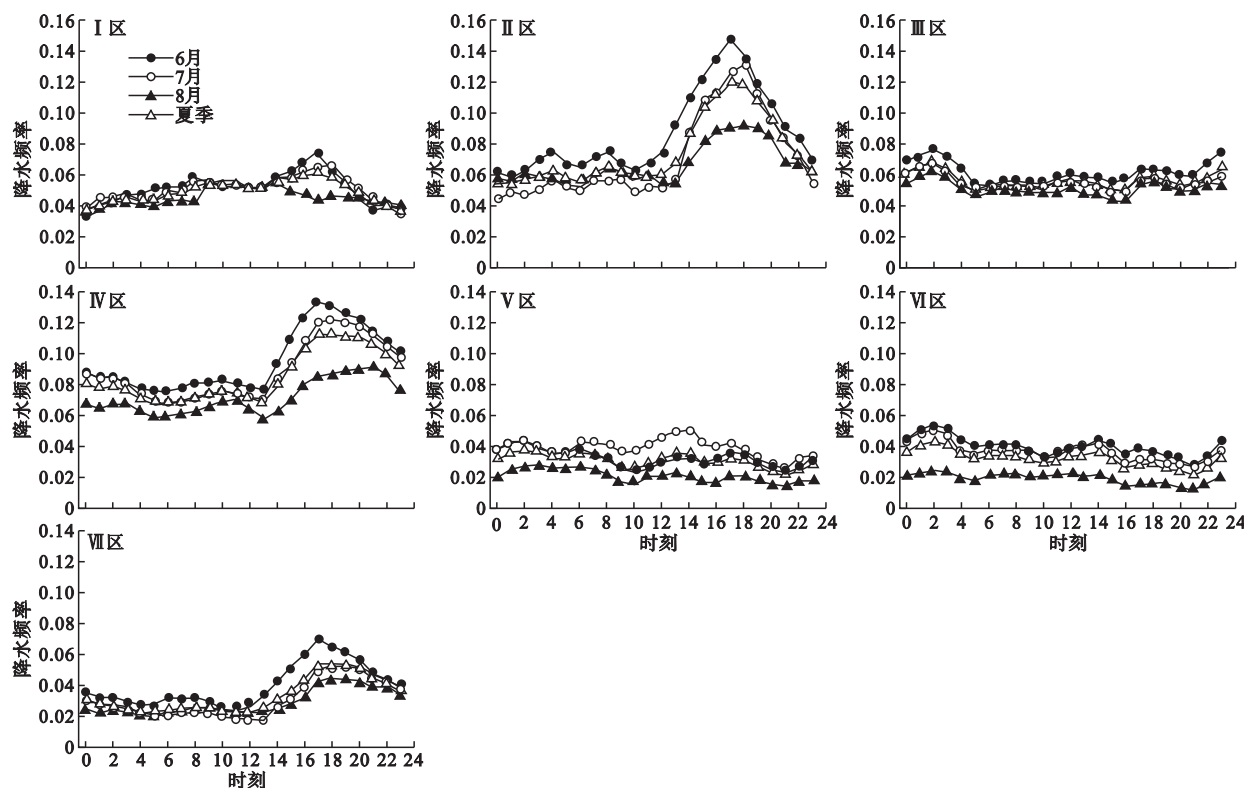


图4 2008—2013年新疆夏季平均逐时降水频率的日变化特征

Fig.4 Diurnal variation of mean hourly precipitation frequency in summer for Xinjiang during 2008—2013

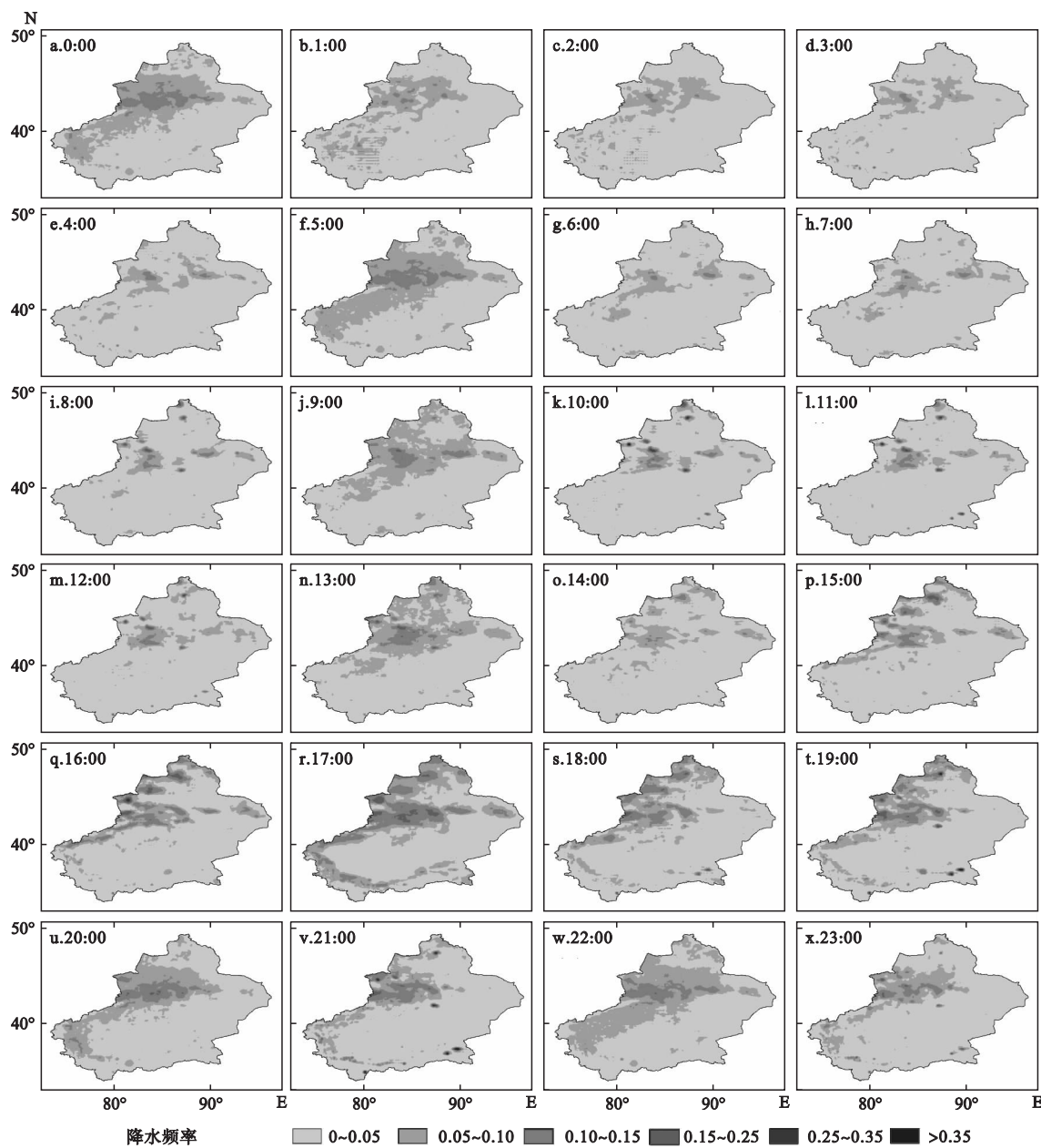


图 5 2008—2013 年新疆夏季平均逐时降水频率的空间特征
Fig.5 Spatial pattern of diurnal variation for mean hourly precipitation frequency in summer for Xinjiang during 2008—2013

部山地和阿尔泰山的大部分区域的降水强度在 15:00 开始逐渐增大,到 17:00 基本达到最大值,之后逐渐减小,到 0:00 又呈现高值区,而后再开始减弱;此外,昆仑山区的部分区域降水强度的最大值出现在 1:00—2:00 和 4:00—6:00,其他时刻的降水强度均低于 $0.5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

2.2 降水峰值时间的时空变化特征

从图 8 可以看出,不同分区之间的区域差异显著,以准噶尔西部山地为例,降水量、降水频率和降水强度的峰值时间均呈单峰型分布,其中 94% 以上

的格点降水量峰值时间处于 15:00—20:00,87.3% 的格点降水频率峰值时间集中在 16:00—19:00,53% 以上的格点降水强度峰值时间集中在 15:00—18:00,即在准噶尔西部山地,降水量、降水频率和降水强度具有一定的一致性,且大部分区域在该时段的降水量丰富很可能是由该时段的降水频率高和降水强度大所造成的;以南疆的塔里木盆地为例,降水量、降水频率和降水强度的峰值时间基本呈双峰型分布,33.3% 的格点降水量峰值时间处在 0:00—3:00,对降水频率而言,格点数目所占比拟较大的峰

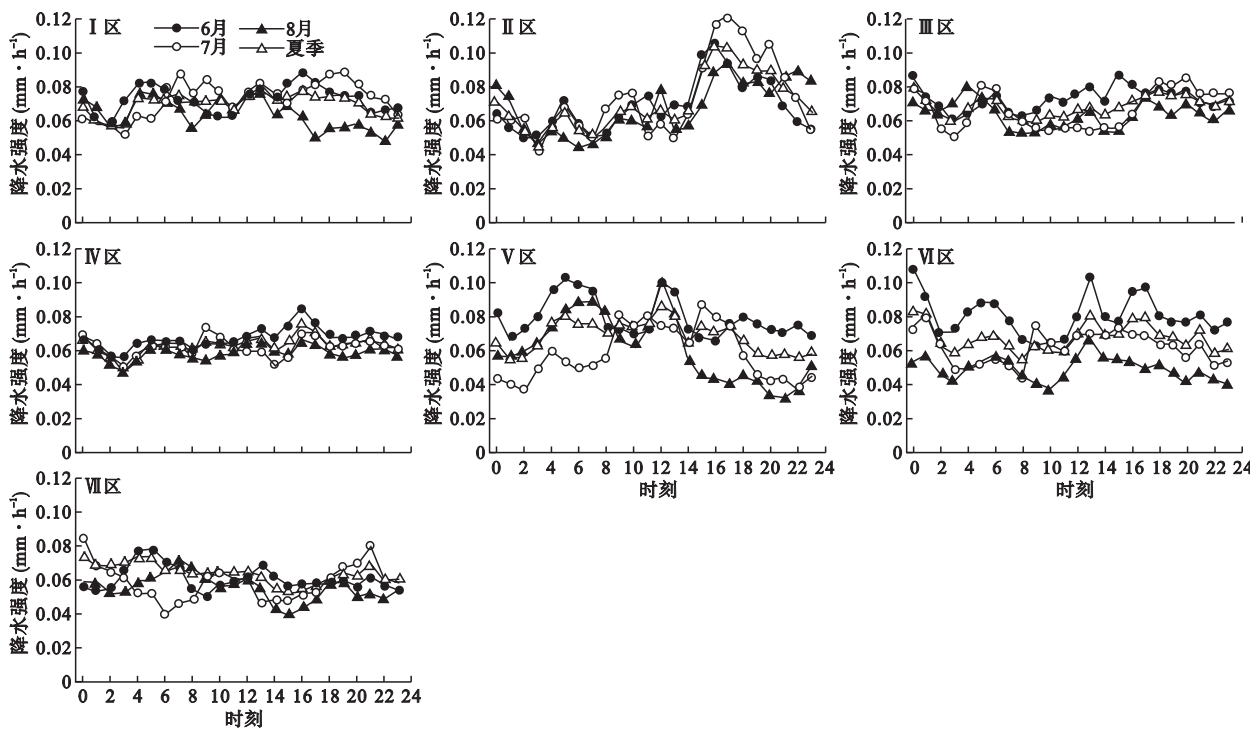


图 6 2008—2013 年新疆夏季平均逐时降水强度的日变化特征
Fig.6 Diurnal variation of mean hourly precipitation intensity in summer for Xinjiang during 2008—2013

值时间分别是 1: 00—3: 00 和 13: 00—14: 00, 分别占到 46.4% 和 17.9%, 而 0: 00—1: 00 和 16: 00—19: 00 是本区降水强度格点数目所占比例较大的峰值时间, 其他时刻的格点数目比例分布基本相似。

如图 9a 所示, 山区的大部分区域逐时降水量在 18: 00 以后、23: 00 以前最大, 准噶尔盆地中东部、塔里木盆地西南部及东部区域和吐哈盆地的西部部分区域的逐时降水量在 0: 00—5: 00 最大; 逐时降水频率峰值时间与降水量峰值时间的空间特征基本一致, 并且区域特征更为显著, 山区的降水多集中在 18: 00—23: 00, 盆地的大部分区域降水则多集中在 0: 00—5: 00(图 9b); 逐时降水强度峰值时间与降水量和降水频率峰值时间的空间特征存在很大的差异, 无明显的区域特征, 阿尔泰山西部、天山中段和塔里木盆地中北部的部分区域逐时降水强度的最大

值发生在 18: 00—23: 00, 而塔里木盆地西南部和准噶尔盆地西部的部分区域的最大降水强度则出现在 0: 00—5: 00(图 9c) 。

2.3 白天和夜间降水的空间变化特征

如图 10a、b 所示, 白天和夜间降水量的空间特征基本一致, 无论白天还是夜间, 山区及其周围区域的降水量明显大于干旱的盆地地区, 天山中西部和准噶尔西部山地以北的部分区域是白天降水最富集的区域(超过 $1.5\text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$), 而在夜间仅有天山中、西部的部分区域呈现高值。从图 10c 可以看出, 山区及其周围区域的白天降水量明显大于夜间降水量, 特别是准噶尔西部山地和阿尔泰山西北部的部分区域最为显著(差值超过 0.5 mm), 而在干旱的盆地地区, 夜间降水量则大于白天降水量, 如准噶尔盆地。

表 2 2008—2013 年夏季逐时降水量、降水频率和降水强度的相关性
Table 2 Correlation coefficient (r) among hourly precipitation amount, frequency and intensity in summer for Xinjiang during 2008–2013

	I 区	II 区	III 区	IV 区	V 区	VI 区	VII 区
降水量—降水频率	0.94 **	0.97 **	0.71 **	0.95 **	0.78 **	0.76 **	0.93 **
降水量—降水强度	0.77 **	0.96 **	0.72 **	0.59 **	0.78 **	0.64 **	-0.18
降水频率—降水强度	0.60 **	0.88 **	0.07	0.34	0.23	0.01	-0.44 *

*、** 分别表示通过了 0.01 和 0.05 的置信度检验。

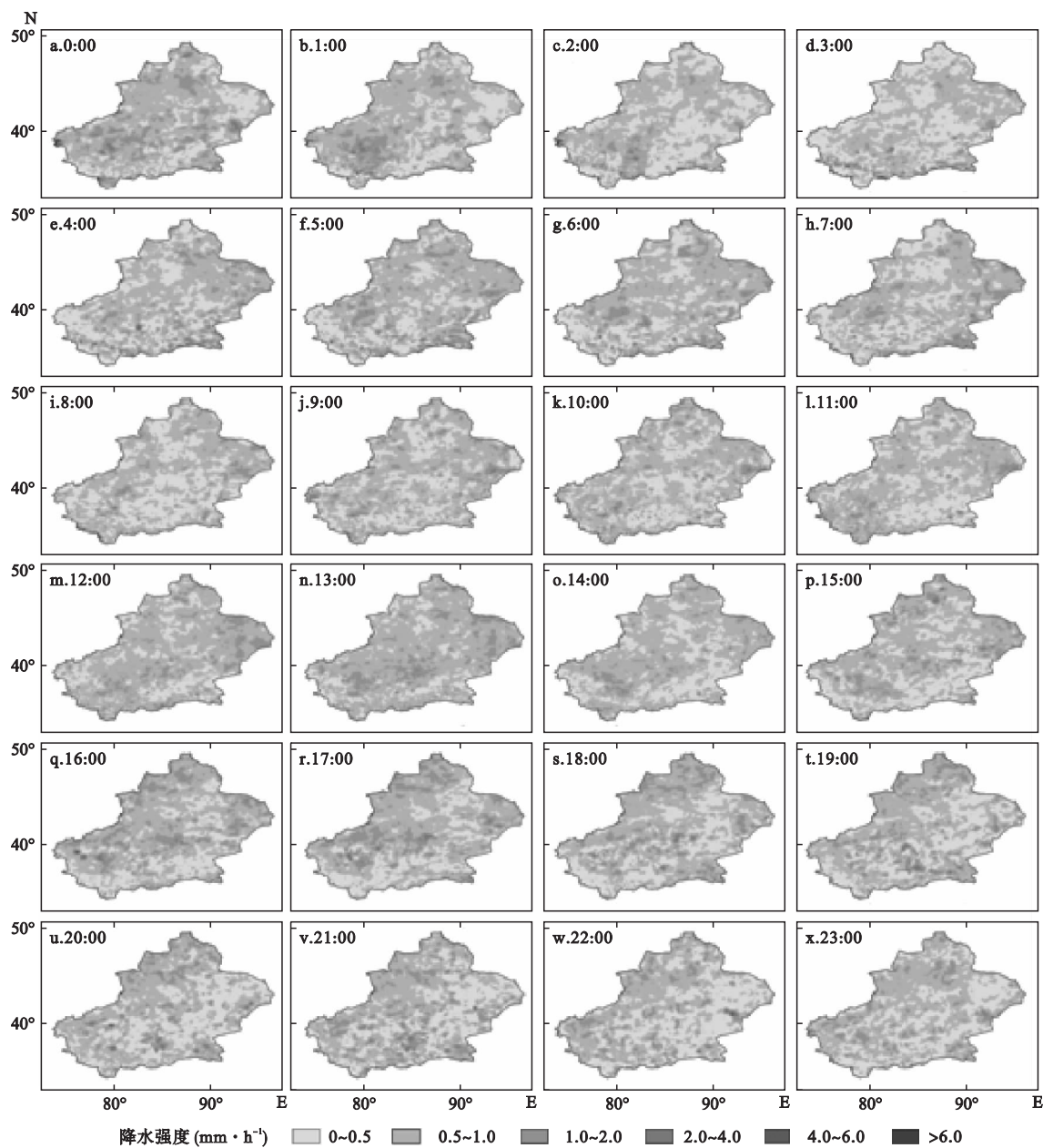


图 7 2008—2013 年新疆夏季平均逐时降水强度的空间特征

Fig.7 Spatial pattern of diurnal variation for mean hourly precipitation intensity in summer for Xinjiang during 2008—2013

2.4 相关性分析

整体来看,2008—2013 年新疆夏季逐时降水量与逐时降水频率的相关性最好(均通过了 0.01 的显著性检验),与逐时降水强度的相关性次之,而逐时降水频率与逐时降水强度的相关性最差,特别是盆地(表 2);其中,山区的逐时降水量与逐时降水频率的相关性明显高于盆地的,但逐时降水量与逐时降水强度的相关性的这一特征并不是很显著;逐时降水频率与逐时降水强度仅在北疆的阿尔泰山和

准噶尔西部山地表现出较好的相关性(r 分别是 0.60 和 0.88);此外,逐时降水强度与逐时降水量和降水频率的相关性在昆仑山地区呈负相关关系,但仅有后者通过了 0.01 的显著性检验。

3 结 论

逐时降水量和降水频率的日变化特征基本一致,即北疆的逐时降水量和降水频率较南疆大,山区较盆地大,其中天山山地、准噶尔西部山地和阿尔泰

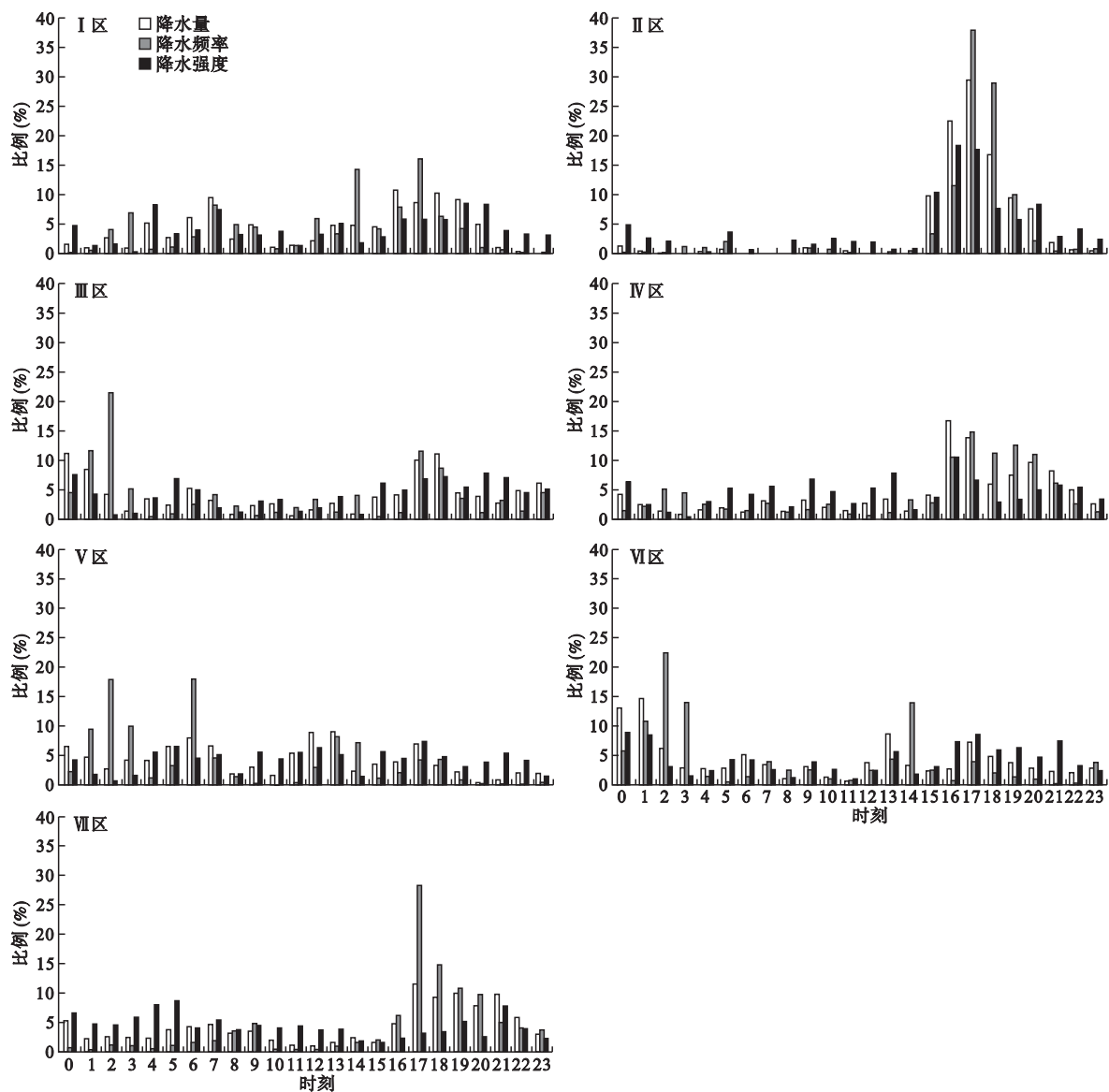


图 8 2008—2013 年新疆夏季逐时降水量、降水频率和降水强度峰值时间集中在某一时刻的格点数目占所在分区总格点数目的百分率

Fig.8 Percentage of gridded number of peak time to hourly precipitation , precipitation frequency and precipitation intensity at some time in total gridded number of division region in summer for Xinjiang during 2008—2013

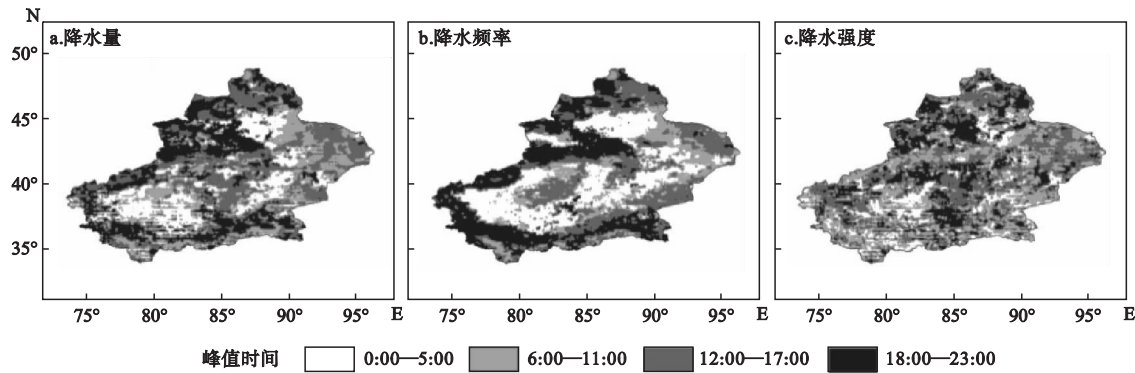


图 9 2008—2013 年新疆夏季平均逐时降水量 (a)、降水频率 (b) 和降水强度 (c) 峰值时间的空间特征

Fig.9 Spatial pattern of peak time for mean hourly precipitation amount (a) , frequency (b) and intensity (c) in summer for Xinjiang during 2008—2013

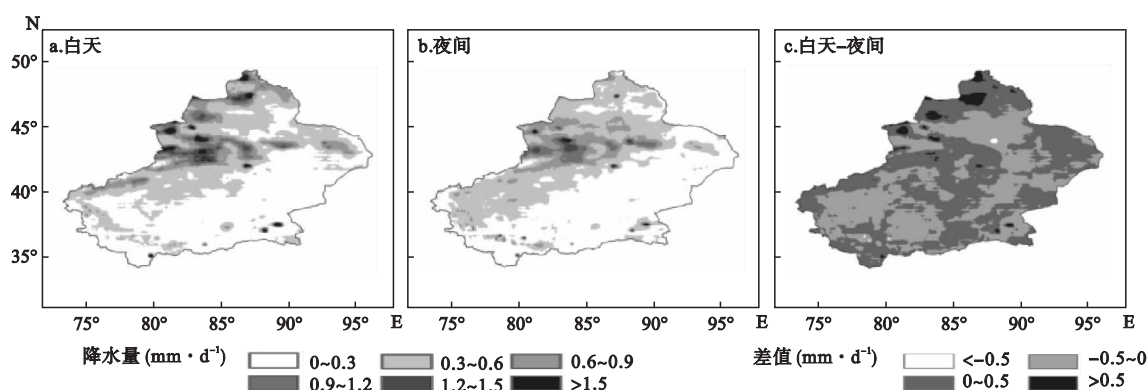


图 10 2008—2013 年新疆夏季平均白天 (a) 和夜间 (b) 降水量及其差值 (c) 的空间特征

Fig.10 Spatial pattern of precipitation in daytime (a), nighttime (b) and their difference value (c) in summer in Xinjiang during 2008—2013

山是新疆夏季降水最丰富的区域,同时也是降水频率较高的区域,而吐哈盆地、塔里木盆地的降水频率较小,降水量也相对较小;逐时降水强度的高值区并非与逐时降水量和降水频率一样分布在降水丰富的山区,而更多地分布在降水稀少的盆地区域;大部分区域的逐时降水量、降水频率和降水强度均是 6 月最大,7 月次之,8 月最小。

峰值时间集中在某一小时内的格点数目占所在分区格点总数的百分率在不同分区之间的区域差异显著,但大部分区域的降水量、降水频率和降水强度的峰值时间集中在某一小时的格点数目比例特征基本一致;逐时降水量和降水频率的峰值时间具有相似的空间特征,且后者的区域特征更为显著,两者在山区的峰值时间主要集中在 18:00—23:00,而在盆地区域的降水峰值时间多集中 0:00—5:00,但逐时降水强度峰值时间的空间特征不明显。

全区白天和夜间降水量的空间特征基本一致,山区及其周围区域的降水量明显大于盆地,北疆的降水量大于南疆地区,白天和夜间降水最多的地区分别是准噶尔西部山地和天山山地。

逐时降水量与逐时降水频率的相关性最高,与逐时降水强度的相关性次之,而逐时降水频率与逐时降水强度的相关性最差,特别是盆地区域。

参考文献

- 宝兴华. 2011. 中国青藏高原以东地区和华北地区暖季降水日变化特征与机制分析(硕士学位论文). 南京: 南京大学.
- 陈亚宁, 李 稚, 范煜婷, 等. 2014. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展. 地理学报, 69(9): 1295—1304.

- 陈亚宁, 杨 青, 罗 毅, 等. 2012. 西北干旱区水资源问题研究思考. 干旱区地理, 35(1): 1—9.
- 丁一汇. 2013. 中国气候. 北京: 科学出版社.
- 董思言, 高学杰. 2014. 长期气候变化: IPCC 第五次评估报告解读. 气候变化研究进展, 10(1): 56—59.
- 范彬彬, 罗格平, 张 弛, 等. 2013. 新疆夏季降水时空分布的适用性评估. 地理研究, 32(9): 1602—1612.
- 康延臻, 陈世红, 张 莹, 等. 2015. 2008—2013 年库姆塔格沙漠及阿尔金山降水特征. 中国沙漠, 35(1): 203—210.
- 梁 宏, 刘晶森, 陈 跃. 2010. 地基 GPS 遥感的祁连山区夏季可降水量日变化特征及成因分析. 高原气象, 29(3): 726—736.
- 沈 艳, 潘 阳, 宇婧婧, 等. 2013. 中国区域小时降水量融合产品的质量评估. 大气科学学报, 36(1): 37—46.
- 沈永平, 苏宏超, 王国亚, 等. 2013. 新疆冰川、积雪对气候变化的响应(1): 水温效应. 冰川冻土, 35(3): 513—527.
- 苏宏超, 沈永平, 韩 萍, 等. 2007. 新疆降水特征及其对水资源和生态环境的影响. 冰川冻土, 29(3): 343—350.
- 吴 璐. 2012. 青藏高原与其东侧四川盆地降水日变化差异研究(硕士学位论文). 北京: 中国气象科学研究院.
- 伍光和, 王乃昂, 胡双熙, 等. 2008. 自然地理学(第 4 版). 北京: 高等教育出版社.
- 姚俊强, 杨 青, 韩雪云, 等. 2013. 乌鲁木齐夏季水汽日变化及其与降水的关系. 干旱区研究, 30(1): 67—73.
- 张运福, 严晓瑜, 赵春雨, 等. 2011. 辽宁省 5—9 月降水日变化特征. 生态学杂志, 30(7): 1529—1534.
- 赵 玲, 马玉芬, 张广兴, 等. 2009. MP-3000A 微波辐射计的探测原理及误差分析. 沙漠与绿洲气象, 3(5): 54—57.
- Betts AK, Desjardins R, Worth D, et al. 2013. Impact of land use change on the diurnal cycle climate of the Canadian Prairies. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*,

- 118: 11996–12011.
- Chen H, Zhou T, Yu R, *et al.* 2009. Summer rain fall duration and its diurnal cycle over the US Great Plains. *International Journal of Climatology*, **29**: 1515–1519.
- Cook AW. 1939. The diurnal variation of summer rainfall at Denver. *Monthly Weather Review*, **67**: 95–98.
- Kincer JB. 1916. Daytime and nighttime precipitation and their economic significance. *Monthly Weather Review*, **44**: 628–633.
- Kuwagata T, Numaguti A, Endo N. 2001. Diurnal variation of water vapor over the central Tibetan Plateau during summer. *Journal of Meteorological Society of Japan, Series II*, **79**: 401–418.
- Li J, Dong WJ, Yan ZW. 2012. Changes of climate extremes of temperature and precipitation in summer in eastern China associated with changes in atmospheric circulation in East Asia during 1960 – 2008. *Chinese Science Bulletin*, **57**: 1856–1861.
- Ray CL. 1928. Diurnal variation of rainfall at San Juan, P. R. *Monthly Weather Review*, **56**: 140–141.
- Shen Y, Zhao P, Pan Y, *et al.* 2014. A high spatiotemporal gauge-satellite merged precipitation analysis over China. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, **119**: 3063–3075.
- Shiu CJ, Liu SC, Fu C, *et al.* 2012. How much do precipitation extremes change in a warming climate? *Geophysical Research Letters*, **39**: 26–33.
- Sperber KR, Yasunari T. 2006. Workshop on Monsoon Climate Systems: Toward Better Prediction of the Monsoon. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **87**: 1399–1403.
- Wang SJ, Zhang MJ, Li ZQ *et al.* 2011. Glacier area variation and climate change in the Chinese Tianshan Mountains since 1960. *Journal of Geographical Sciences*, **21**: 263 – 273.
-
- 作者简介** 朱小凡,男,1989年生,硕士研究生,主要从事全球变化与可持续发展方面的研究。E-mail: zxf_jc@163.com
责任编辑 李凤芹
-