

# 巴丹吉林沙漠腹地降水特征的初步分析

王乃昂<sup>1,2</sup>, 马宁<sup>1,2</sup>, 陈红宝<sup>1,3</sup>, 陈秀莲<sup>4</sup>, 董春雨<sup>1,2</sup>, 张振瑜<sup>1,2</sup>

(1. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学干旱区气候变化与水循环研究中心, 甘肃 兰州 730000;  
3. 甘肃省水利水电勘测设计研究院, 甘肃 兰州 730000; 4. 内蒙古自治区阿拉善盟气象局, 内蒙古 阿拉善左旗 750306)

**摘要:** 利用巴丹吉林沙漠腹地定位观测的降水数据, 结合其外围南缘、东南缘、北缘和西北缘4个气象站同期降水资料, 分析了沙漠腹地的降水特征以及高大沙山对降水的影响, 比较了沙漠腹地与外围降水量的差异。结果表明, 沙漠腹地降水以小雨为主, 且一般在1~2 h内结束。沙漠腹地与外围的降水在季节分布上有较好的一致性, 观测期间腹地的年降水量少于南缘阿拉善右旗气象站, 但明显多于东南缘、北缘和西北缘。沙漠腹地降水的季节变率很大, 年降水量往往由某些集中降水日决定, 具有高度集中性。腹地的高大沙山对降水有一定影响, 沙山顶部年降水量和年降水日数皆略多于丘间地, 较长的单次降水过程之持续时间及累积降水量亦有类似特征。强降水事件发生时, 沙漠腹地在16.8 km的空间距离上有“斑块”现象。日降水量的相关距离分析显示, 夏半年日降水量空间相关性随距离的增大而明显减小; 冬半年因多冷锋降水而使其日降水量在约50 km空间尺度上仍有较好的相关性, 50 km以外相关性则显著减小。

**关键词:** 定位观测; 降水; 地形效应; 相关距离分析; 巴丹吉林沙漠腹地

**中图分类号:** P426.6      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-6791(2013)02-0153-08

降水作为沙漠地区的重要水分来源, 对沙丘移动和植被分布皆有影响<sup>[1]</sup>, 同时对全球气候变化响应也十分敏感<sup>[2]</sup>。长期以来, 因自然因素的限制, 沙漠腹地往往人迹罕至, 关于沙漠地区的降水研究多是基于外围的气象站进行<sup>[3-4]</sup>, 其中部分站点甚至位于绿洲地带, 这对沙漠地区极端干旱气候的代表性尚值得商榷。因此, 沙漠腹地的降水特征及其与外围降水的异同性值得通过定位观测开展系统研究。目前, 中国沙漠腹地的降水研究多集中在新疆地区, 而位于中国北方沙区东西交界处的巴丹吉林沙漠尚未有报道。何清等<sup>[5]</sup>结合1988年塔克拉玛干沙漠的实测资料证实了沙漠腹地大暴雨存在的可能性; 杨佐涛等<sup>[6]</sup>又基于该沙漠腹地单年观测结果推测其降水可能存在由外围向腹地减小的趋势; 孙东霞和杨建成<sup>[7]</sup>利用古尔班通古特沙漠腹地长达10年的降水观测数据, 指出沙漠腹地降水的年内分布与周边地区大致相同, 但前者的变率更大。巴丹吉林沙漠分布着世界上最高大的沙山群, 特别是东南部存在着众多相对高度逾300 m的高大复合型沙山<sup>[8-9]</sup>, 这种特殊地形对降水的影响尚不清楚。另外, 大气降水作为沙漠腹地湖泊水循环的关键环节, 对探讨湖泊水量平衡有不可或缺的作用, 但以往的研究<sup>[10-11]</sup>多采用沙漠外围降水量来代替腹地值进行水量平衡估算, 忽视了腹地与周边地区降水可能存在的差异, 难免存在误差。兰州大学干旱区气候变化与水循环研究中心从2009年冬季起, 在巴丹吉林沙漠腹地开始进行定位观测实验。本文采用4个腹地观测点数据和4个外围气象站资料研究沙漠腹地的降水特征, 探讨降水的地形和空间差异, 比较腹地与外围降水的差异, 旨在为中国沙漠气候研究和巴丹吉林沙漠湖泊水量平衡计算提供基础性数据。

收稿日期: 2012-05-28; 网络出版时间: 2013-02-02

网络出版地址: <http://www.cnki.net/KCMS/detail/32.1309.P.20130202.1645.002.html>

基金项目: 高等学校博士点专项基金项目(20090211110025; 20100211120006)

作者简介: 王乃昂(1962-), 男, 山东郓城人, 教授, 主要从事气候变化与水循环、沙漠环境与沙漠化研究。

E-mail: wangna@lzu.edu.cn

通信作者: 马宁, E-mail: ma.n2007@yahoo.com.cn

## 1 观测方法与资料选取

巴丹吉林沙漠(图1)位于中国内蒙古阿拉善高原西部,其范围大致为合黎山、北大山以北,拐子湖、古居延泽之南,雅布赖山之西北,黑河正义峡出山口、弱水东岸至古日乃湖以东,面积约5.21万 $\text{km}^2$ ,系中国第二大沙漠<sup>[12]</sup>,东西长约442 km,南北宽约354 km,地势呈东南高、西北低的特点,平均海拔为1 200 ~ 1 900 m<sup>[13]</sup>。因其腹地广泛分布高大沙山与湖泊,故引起了国内外学者的重点关注<sup>[8-11]</sup>。

本文所用数据来自兰州大学巴丹吉林沙漠野外科学观测实验站,其中常规气象方面配置了3套芬兰Vaisala公司所产的MAWS301型自动气象观测系统(图1),分别位于苏木吉林丘间地(简称V1站,海拔1 194 m)、苏木吉林东北沙山顶部(简称V2站,海拔1 523 m)和车日格勒湖盆边缘(简称V3站,海拔1 166 m),每小时观测一次降水。此外,在乌拉塔·布拉格安装了由美国Onset公司生产的HOBO RG3-M自计式雨量筒(简称R1站,海拔1 163 m),采用实时翻斗观测(每降水0.2 mm,即记录一斗)。上述4个站点起始观测日期略有差异(表1),为便于统一,本文所选资料皆止于2012年3月31日。需要说明,R1站2011年7月8日~2011年10月11日因电池故障而使观测中断。与此同时,选取位于沙漠周边的额济纳旗(西北缘)、拐子湖(北缘)、阿拉善右旗(南缘)和雅布赖(东南缘)气象站(图1)2010年1月1日~2012年3月31日降水数据用于对比,其中前三者源于中国气象科学数据共享服务网,雅布赖站资料来自内蒙古自治区阿拉善盟气象局。

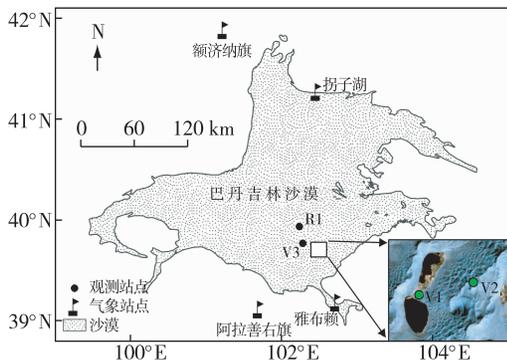


图1 巴丹吉林沙漠腹地降水观测点及周边气象站分布

Fig. 1 Location of the Badain Jaran desert and the observation sites

表1 本文所选腹地降水资料信息与起始日期  
Table 1 Start of the data and instruments information at four observation sites in the hinterland

编号	传感器型号	分辨率/mm	起始日期
V1	Vaisala VRG101	0.1	2010-01-01
V2	Vaisala VRG101	0.1	2010-01-01
V3	Vaisala VRG101	0.1	2011-05-07
R1	HOBO RG3-M	0.2	2011-05-07

## 2 沙漠腹地降水特征及地形效应

为探讨巴丹吉林沙漠腹地降水特征及高大沙山对降水的影响,选取位于苏木吉林丘间地的V1站(海拔1 194 m)和苏木吉林东北沙山顶部的V2站(海拔1 523 m)2010年1月1日~2011年12月31日两年连续降水资料进行分析,两站水平距离2.79 km,相对高差达到329 m,而沙漠东南部典型沙山高度亦大抵如此,故两站位置具备了探讨高大沙山对降水影响的地形条件。

### 2.1 年、月降水量特征

V1和V2站月降水分布显示,2010年两站降水量均在9月最大,分别达34.7 mm和39.6 mm;5月次之,分别为30.4 mm和34.1 mm,此两个月总降水占全年比例分别达64.7%和67.6%。2011年V1和V2站则均在8月最大,分别为35.9 mm和33.2 mm;6月次之,分别为14.9 mm和14.5 mm,此两月总降水占全年比例分别为69.7%和61.3%。由此可见,沙漠腹地降水的年内分布较为集中,并且季节变率较大,与沙漠的极端干旱气候和特殊下垫面有直接关系。就年降水量而言,V1和V2站2010年降水量分别为100.6 mm和109.0 mm,2011年则分别为72.8 mm和77.8 mm。沙山顶的年降水量略大于丘间地,前者较后者多7%~8%。两站月、季降水量的差异,因距离关系而不甚明显。

### 2.2 日降水量特征

按中国气象局规定, 日降水量大于或等于 0.1 mm 为一个降水日。根据观测结果发现(图 2), 2010 年 V1 和 V2 站降水日数分别为 48 d 和 49 d, 2011 年则分别为 23 d 和 26 d, 沙山顶的降水日数略多于丘间地。就降水日的水量而言, 91.5% 的 V1 和 89.3% 的 V2 日降水量皆在 5 mm 以下, 体现了沙漠腹地降水量小的特点。在较大的日降水方面, 2010 年 V1 和 V2 共出现 2 次日降水量大于 20 mm 的降水过程(5 月 25 日 V1 和 V2 分别降水 23.8 mm 和 25.7 mm, 9 月 20 日分别降水 22.4 mm 和 25.2 mm), 而 2011 年两站日最大降水量相对小于 2010 年, 仅在 8 月 17 日分别出现 19.7 mm 和 15.8 mm 的降水。基于中国常用降水等级指标<sup>[14]</sup>可见, 巴丹吉林沙漠腹地的降水以小雨为主, 中雨或者大雨只占极少部分(表 2), 这种特征在沙山顶和丘间地表现较为一致。此外, 无论沙山顶还是丘间地, 其年/月总降水量一般由某些集中降水日决定, 即降水具有高度集中性。就连续无降水日数而言, V1 站在 2010—2011 年两年间最长连续无降水日数为 56 d(2011 年 1 月 2 日~2 月 26 日), 而在夏半年(5~9 月)亦分别出现连续 31 d(2010 年 5 月 27 日~6 月 26 日)和 34 d(2011 年 5 月 1 日~6 月 3 日)无降水的现象; V2 站在 2010—2011 年最长连续无降水日数为 47 d(2011 年 1 月 11 日~2 月 26 日), 夏半年则仅在 2011 年 5 月 1 日~6 月 3 日出现了一次连续 34 d 无降水, 表明沙山顶(V2)的连续无降水日数较丘间地(V1)短。

表 2 V1 和 V2 站 2010—2011 年日降水量分级百分比 %

Table 2 Proportion of daily precipitation grading of V1 and V2 from 2010 to 2011

站点	2010 年			2011 年		
	小雨	中雨	大雨	小雨	中雨	大雨
V1	95.8	4.2	0	91.3	8.7	0
V2	95.9	0	4.1	92.3	7.7	0

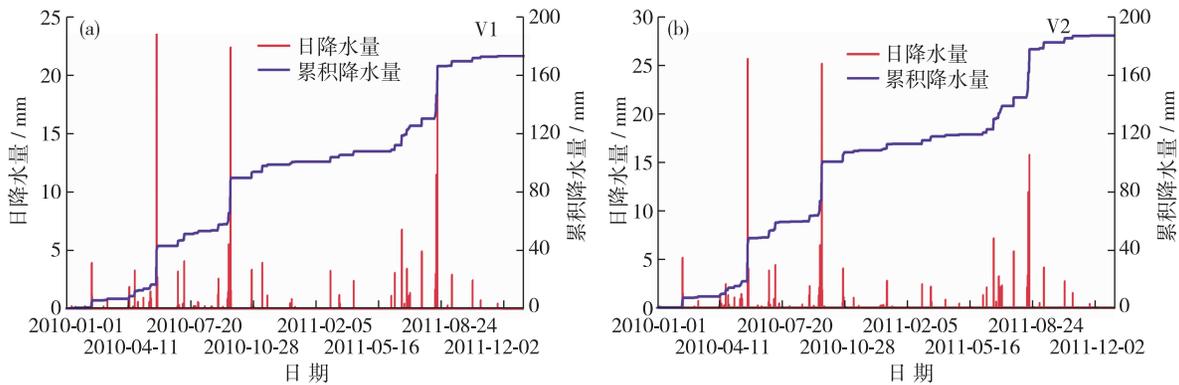


图 2 苏木吉林丘间地 V1 和沙山顶 V2 站 2010—2011 年日降水量和累积降水量

Fig. 2 Daily and accumulative precipitation of V1(interdune area) and V2(top of the dune) from 2010 to 2011

### 2.3 小时降水强度

为了更详细地探讨腹地的降水强度特征, 笔者统计了 2010—2011 年两个整年内的丘间地 V1 站和沙山顶 V2 站降水观测的小时值(图 3)。沙漠腹地 V1 和 V2 站在小时雨强的分布上无显著差异, 均主要介于 0.2~0.5 mm/h(此区间累积频率约 60%, 图 3), 其中两站出现频率最高的小时雨强皆为 0.2 mm/h(分别占各自的 20.1% 和 30.1%)。而就 4 mm/h 以上的强降水而言, V1 和 V2 站均较为罕见, 两年内仅分别有 4 次和 3 次小时降水量超过此界线。而就最大小时降水量而言, V1 站在 2011 年 8 月 17 日曾达 5.7 mm/h, V2 在同日亦曾出现 4.6 mm/h 的降水。倘以暴雨(24 h 累积降水 50 mm 以上, 即小时雨强约  $\geq 2.1$  mm/h)的划分指标<sup>[14]</sup>, V1 和 V2 站小时雨强  $\geq 2.1$  mm/h 的比例分别为 5.5% 和 5.4%, 表明沙漠腹地存在局地强降水的可能, 但此种情况具有很大的随机性和瞬时性, 且出现的概率极小。

### 2.4 单次降水过程与累积降水量

沙漠的特性决定了其降水必然是小概率事件, 加之水汽条件限制, 很多降水过程在 1~2 h 内即结束, 难以形成单次长时间的长降水。观测结果表明, 沙漠腹地连续 10 h 以上的降水过程相对罕见, 表 3 为 V1 和

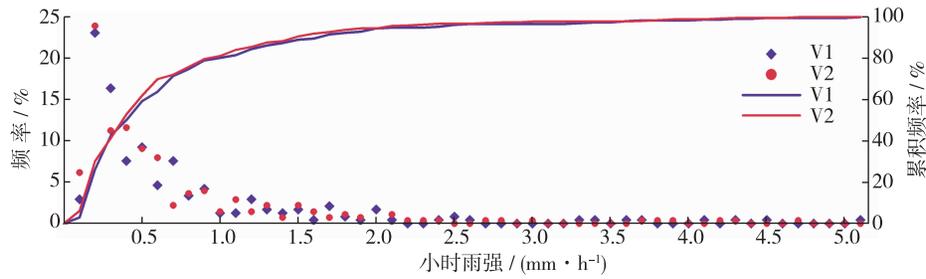


图 3 2010—2011 年 V1 和 V2 站小时雨强的频率与累积频率分布

Fig. 3 Frequency and cumulative frequency of the hourly precipitation intensity of V1 and V2 from 2010 to 2011

V2 站 2010—2011 年持续时间最长的 5 次降水过程，可以发现，即便对长达 20 h 以上的降水过程而言，其间亦有无降水（即小时降水量为零）的断点。其中，V1 和 V2 站在 2010 年 5 月 25 日~26 日的单次降水过程分别累积达到了 26.5 mm 和 29.7 mm，为两年中最大的单次降水过程，同年 9 月 20~21 日亦出现相近程度的降水（表 3）。这两次降水过程几乎占各自 2010 年降水量的 50%，再次证明了腹地降水的高度集中性。需要指出，地形对单次降水过程中亦有一定的影响，比较表 3 中每次降水的持续时间和累计降水量可以发现，在较长的单次降水过程中，沙山顶的持续时间大多较丘间地长，其对应的累积降水量亦有类似特征。

表 3 V1 和 V2 站 2010—2011 年 5 次长时间的降水过程

Table 3 Five longer period precipitation events of V1 and V2 from 2010 to 2011

编号	站点	降水过程起止时间	持续时间/h	期间无降水时间/h	降水量/mm
1	V1	2010-02-10T12:00 ~ 11T07:00	20	3	5.0
	V2	2010-02-10T08:00 ~ 11T06:00	23	1	6.6
2	V1	2010-05-25T03:00 ~ 26T10:00	32	5	26.5
	V2	2010-05-25T03:00 ~ 26T11:00	33	4	29.7
3	V1	2010-09-20T06:00 ~ 21T05:00	24	5	24.0
	V2	2010-09-20T06:00 ~ 21T06:00	25	1	26.9
4	V1	2011-08-14T22:00 ~ 15T12:00	15	0	14.4
	V2	2011-08-14T22:00 ~ 15T12:00	15	0	14.7
5	V1	2011-08-17T04:00 ~ 17T14:00	11	0	19.7
	V2	2011-08-17T04:00 ~ 17T15:00	12	0	15.8

### 3 沙漠腹地降水的空间特征

降水的空间结构是指某区域内任意一点降水过程的特性与区域尺度的关系。就沙漠地区降水空间结构而言，20 世纪早期的研究<sup>[15]</sup>显示，沙漠地区的降水具有明显“斑块”性，且这种现象可能与其较高的能见度有直接关系。Sharon 等<sup>[16]</sup>在中亚沙漠地区的观测表明，该区的降水过程存在直径约 5 km 的“对流单体”，且

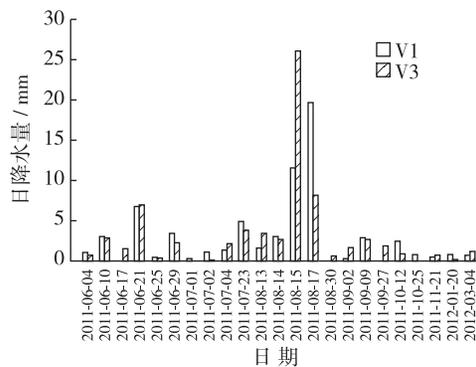


图 4 V1 和 V3 站日降水量(2011 年 5 月 7 日~2012 年 3 月 31 日)

Fig. 4 Daily precipitation of the rainy day at the V1 and V3 station from 7th May, 2011 to 31st March, 2012

“斑块降水”现象在晚春和秋季最为常见。为了探讨巴丹吉林沙漠腹地降水的空间结构，利用海拔高度相似的苏木吉林 V1 和车日格勒 V3 站(两站水平相距 16.8 km，相对高差仅 28 m)2011 年 5 月 7 日~2012 年 3 月 31 日降水资料进行分析。此段时间内两站降水总量则分别为 66.9 mm 和 71.7 mm，相差 4.8 mm；日降水量序列的相关系数为 0.764 ( $n = 330$ ，通过信度为 0.001 的显著性检验)；与此同时，选取两站各自降水日集合的并集为统计对象(图 4)，可以发现 23 个统计日中，V1 和 V3 站分别有 20 d 和 21 d 发生降水，且其中 18 d 两站同时发生降水。但就日降水而言(图 4)，当日降水量较小时(10 mm 以下)，V1 和 V3 差异不明显，21 个统计日的平均差异仅 0.1 mm；当日降水量较大时(10 mm 以上)，两站降水相差较大，如 2012 年 8 月 15

日, V3(26.1 mm)是 V1(11.5 mm)的 2.3 倍; 8 月 17 日, V1(19.7 mm)是 V3(8.2 mm)的 2.4 倍。由此可见, 相距 16.8 km 的沙漠腹地 V1 和 V3 站, 发生强降水事件时的日降水量可能存在“斑块”现象, 而一般降水事件的空间差异不甚明显。需要指出, 因沙漠地区强降水事件的发生频率较小, 加之目前观测时间尚且较短, “斑块”降水现象对年/季节降水总量和降水日数的影响程度尚不能做出推论。

#### 4 沙漠腹地与外围降水的比较

##### 4.1 年、月降水异同

降水除受大尺度天气系统作用外, 下垫面条件和局地环流亦有直接影响, 因此沙漠地区降水有较大的区域差异<sup>[6]</sup>。观测点 V1 和 V2 在 2010 和 2011 年降水量均低于沙漠南缘的阿拉善右旗气象站, 但明显高于其他 3 个边缘气象站(表 4); 降水日数 2010 年 V1 和 V2 皆明显多于沙漠边缘, 2011 年却少于南缘阿拉善右旗气象站, 与东南缘的雅布赖气象站相近。就降水的年内分布而言(图 5), 巴丹吉林沙漠地区冬季主要受强大的大陆反气旋控制, 难以形成降水, 故腹地与外围降水皆主要出现在暖季(5~10 月); 另外, 受大尺度天气系统的影响, 系统性降水过程的出现使得沙漠外围与腹地降水的年内分配比较一致。外围的额济纳旗、拐子湖、阿拉善右旗、雅布赖气象站和腹地的 V1 和 V2 站, 暖季降水量分别占各自年降水量的 94.2%、94.9%、93.8%、91.6%、84.3% 和 85.8%。其中 2010 年皆以 9 月和 5 月降水最多, 2011 年降水则主要出现在 8 月。

表 4 巴丹吉林沙漠腹地与周边 2010—2011 年降水量及降水日数  
 Table 4 Annual precipitation and the amount of rainy day of the sites in the hinterland and the margin of the Badain Jaran desert

年份	年降水量/mm						年降水日数/d					
	V1	V2	阿拉善右旗	雅布赖	拐子湖	额济纳旗	V1	V2	阿拉善右旗	雅布赖	拐子湖	额济纳旗
2010	100.6	109.0	121.6	39.2	66.8	25.4	48	49	46	26	19	21
2011	72.8	77.8	106.4	50.6	55.8	33.0	23	26	37	26	13	15
多年均值	-	-	118.8	88.5	41.2	32.9	-	-	41	-	18	19

注: 多年均值为 1981—2010 年平均值; 雅布赖气象站 1981—2009 年降水资料为月值, 未统计降水日数。

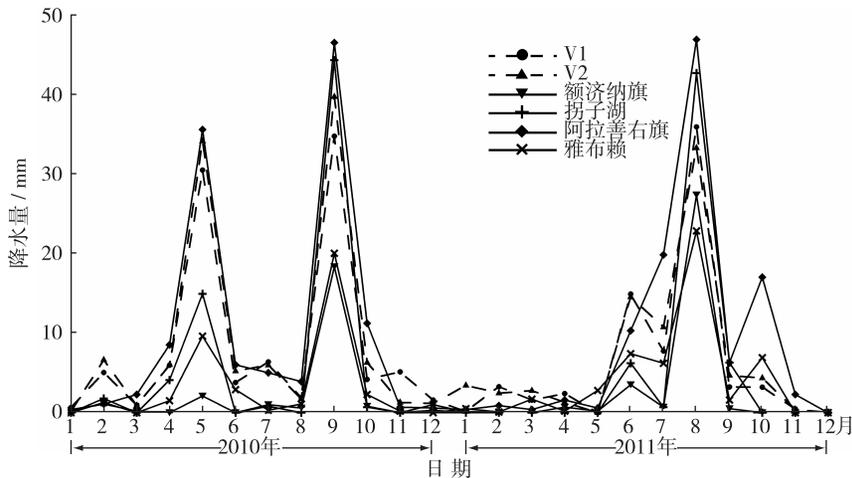


图 5 巴丹吉林沙漠腹地与周边观测站点 2010—2011 年降水的月变化

Fig. 5 Change of monthly precipitation of the stations in the hinterland and the margin of the Badain Jaran desert from 2010 to 2011

##### 4.2 日降水量的空间差异

为探讨沙漠腹地与周边日降水量的关系, 采用相关距离分析法定量表征其空间变化。该方法主要以任意两站点相同时间尺度和分辨率的降水资料、相关性为基础, 分析其随距离的变化趋势, 进而表征两站降水发生的相互影响程度, 即降水量在空间尺度的变化。与传统的等降水线相比, 该方法具有定量统计意义, 在降水的空间结构研究<sup>[17-18]</sup>和面降水量的估算<sup>[19]</sup>得到了广泛应用。由于乌尔塔·布拉格的 R1 雨量筒在 2011 年

7月8日~10月11日因供电故障导致数据缺失,故笔者分析时只能舍弃此段时间。

首先将研究时段分为夏半年(2011年5月7日~7月7日)和冬半年(2011年10月12日~2012年3月31日),构建V1、V2、V3、R1、南缘阿拉善右旗、东南缘雅布赖、北缘拐子湖和西北缘额济纳旗共8个站点的日降水量序列 $P_{i,j}$ ( $i$ 为日序数,夏半年以2011年5月7日为1,冬半年以2011年10月12日为1, $j$ 为站点名称, $P_{i,j}$ 即表示第 $i$ 日 $j$ 站点降水量),分别求相同时段内两两站点的日降水量序列 $P_{i,j}$ 的皮尔逊相关系数(作为 $Y$ 值),分析其与两站距离(作为 $X$ 值)的关系。由于V2海拔与其余站点差距较大,故作相关距离分析时,仅分析其与V1的关系。总体来看,夏半年的日降水量相关性随距离的增大而明显减小(图6(a));冬半年(图6(b))因以冷锋降水为主,日降水量在距离50 km左右仍有较高的相关性,50 km以外其相关性则开始显著减小。

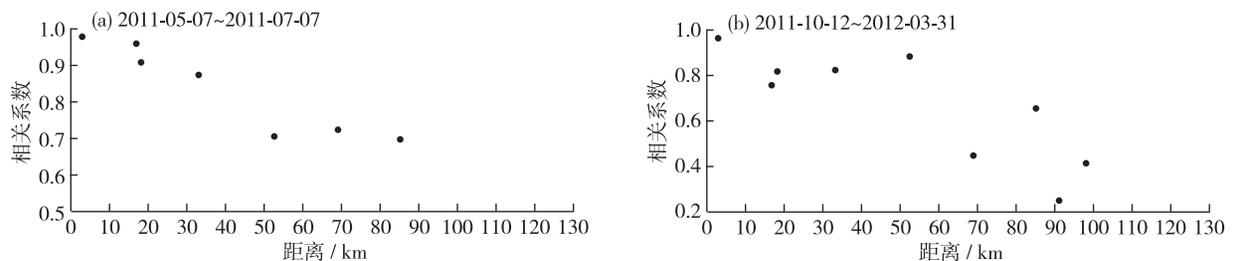


图6 巴丹吉林沙漠夏半年(a)与冬半年(b)日降水量的相关系数~距离关系

Fig. 6 Cross-correlation coefficients vs. interstation distances based on daily precipitation for Summer half year(a) and Winter half year(b) in the Badain Jaran desert

沙漠地区天气以晴朗无云为主,加之太阳辐射较强,空气中水汽含量较小。过去的部分研究中,关于沙漠腹地的降水往往以理想条件(近似为0)推算<sup>[19]</sup>。观测结果表明,沙漠腹地降水并非如此,某些时段的降水过程甚至明显强于其外围地区(图5)。沙漠腹地曾出现的20 mm以上日降水量和多达5.7 mm/h的小时雨强,即可证实沙漠腹地存在局地强降水的可能。巴丹吉林沙漠腹地V1和V2站年降水量略低于沙漠南缘,而明显高于沙漠东南缘、北缘和西北缘。因为周边外围地区的绿洲具有“冷岛效应”,沙漠腹地区则表现为“热岛效应”,暖季时地方性热力对流的出现,导致沙漠腹地多对流性降水,故腹地降水与边缘存在某些差异。就降水量年际变化而言,对比周边气象站各自的年降水量和降水日数的多年平均值可以发现(表4),2010年南缘的阿拉善右旗气象站为正常年,2011年则明显偏旱;而西北缘额济纳旗气象站恰与之相反,东南缘的雅布赖气象站和北缘拐子湖气象站则分别皆偏旱和偏涝。与此同时,V1和V2站2011年降水明显少于2010年,故腹地观测点的降水年际变化可能与南缘阿拉善右旗是一致的,但由于腹地降水观测时间尺度较短,此特征可能存在不确定性。另外,降水的空间结构与距离有很大关系,利用相关距离分析法探讨沙漠地区日降水在空间上的变化特征具有较好的结果,但距离并非决定降水的唯一因素。此方法仅考虑了水平距离的作用,忽略了气候、海拔高度和坡向差异对降水的影响,故在同一气候区域且高程和地貌形态相近的降水观测点运用会更为精确。腹地与边缘降水观测点均处在相同气候区域,其中V1、V3和R1海拔高度分别为1 194 m、1 166 m和1 163 m,沙漠南缘的阿拉善右旗和东南缘的雅布赖气象站海拔分别为1 510 m和1 240 m,北缘的额济纳旗和拐子湖海拔分别为940 m和960 m,根据本文地形差异分析的结果,高海拔观测点(V2)在年降水量和降水日数上略高于低海拔观测点(V1)的趋势,而在日降水量上差异不甚明显,故尽管上述站点海拔高度略有差异,但相关距离分析法所获得结果仍可有较高的可信度。

## 5 结 论

(1) 巴丹吉林沙漠腹地的降水以小雨为主(约90%的日降水皆小于5 mm),中雨和大雨仅占极小部分;降水具有高度集中性,年降水总量往往由某个季节的某些集中降水日决定。沙漠腹地的降水过程持续时间较

短,大多在1~2 h内结束。其小时雨强亦很小,一般为0.2~0.5 mm/h。然而,2010—2011年观测期间曾出现的20 mm以上单次降水过程和最大小时降水量超过4 mm/h的现象表明,沙漠腹地存在发生局地强降水的可能,唯其具有很大的随机性和瞬时性,且概率极小。

(2) 沙漠腹地的高大沙山对降水有一定影响。沙山顶部年降水量和年降水日数较丘间地多,年内最大日降水量、较长的单次降水过程持续时间和累积降水量亦有类似特征。降水的空间结构与距离有很大关系,利用相关距离分析法探讨沙漠地区日降水在空间上的变化特征具有较好的效果。夏半年日降水量的空间相关性随距离的增大而显著减小,冬半年因多冷锋降水,故各站日降水量在约50 km的空间尺度上仍有较好的相关性,而50 km以外其相关性则显著减小。

(3) 沙漠腹地距离16.8 km的V1和V3站在强降水事件发生时的日降水量存在“斑块”现象,一般降水事件的日降水量空间差异不甚明显。笔者认为,腹地的“斑块”降水在不同时间、空尺度的表现特征尚需加密空间观测、延长观测时间方可有更为全面的认识。

(4) 受大尺度系统性降水影响,沙漠腹地与外围的降水在季节分配上表现得较为一致,主要出现在5~9月份;与此同时,2010—2011年观测站所在位置的年降水量较沙漠南缘阿拉善右旗少,但明显多于海拔高度接近的东南缘、北缘及西北缘,推测周边外围地区的绿洲具有“冷岛效应”,沙漠腹地则表现为“热岛效应”,暖季时地方性热力对流的出现,导致沙漠腹地多对流性降水,故腹地降水与外围存在某些差异。

#### 参考文献:

- [1] 杨志鹏,李小雁,孙永亮,等. 毛乌素沙地沙柳灌丛降雨截留与树干茎流特征[J]. 水科学进展, 2008, 19(5): 693-698. (YANG Zhipeng, LI Xiaoyan, SUN Yongliang, et al. Characteristics of rainfall interception and stemflow for *Salix psammophila* in Maowusu Sandland, Northwest China[J]. *Advances in Water Science*, 2008, 19(5): 693-698. (in Chinese))
- [2] 徐利岗,周宏飞,李彦,等. 中国北方荒漠区降水稳定性与趋势分析[J]. 水科学进展, 2008, 19(6): 792-799. (XU Ligang, ZHOU Hongfei, LI Yan, et al. Analysis of the precipitation stability and variety trend in the desert region of northern China[J]. *Advances in Water Science*, 2008, 19(6): 792-799. (in Chinese))
- [3] 杨莲梅. 塔克拉玛干地区气候变化对全球变暖的响应[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 497-502. (YANG Lianmei. Response of climate change in Takalimakan desert area to global warming[J]. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(5): 497-502. (in Chinese))
- [4] 马宁,王乃昂,朱金峰,等. 巴丹吉林沙漠周边地区近50 a来气候变化特征[J]. 中国沙漠, 2011, 31(6): 1541-1547. (MA Ning, WANG Nai'ang, ZHU Jinfeng, et al. Climate change around the Badain Jaran desert in recent 50 years[J]. *Journal of Desert Research*, 2011, 31(6): 1541-1547. (in Chinese))
- [5] 何清,向鸣,李立. 塔克拉玛干沙漠腹地一次强降水天气分析[J]. 干旱区研究, 1998, 15(1): 15-20. (HE Qing, XIANG Ming, LI Li. Analysed on a Heavy Precipitation in the Hinterland of Taklimakan Desert[J]. *Arid Zone Research*, 1998, 15(1): 15-20. (in Chinese))
- [6] 杨佐涛,陈渭南,陈广庭,等. 塔克拉玛干沙漠腹地的气候表现[J]. 中国沙漠, 1995, 15(3): 293-298. (YANG Zuotao, CHEN Weinan, CHEN Guangting, et al. Characteristics of the weather in the hinterland of the Taklimakan desert[J]. *Journal of Desert Research*, 1995, 15(3): 293-298. (in Chinese))
- [7] 孙东霞,杨建成. 古尔班通古特沙漠腹地与周边降水特征分析[J]. 干旱区地理, 2010, 33(5): 769-774. (SUN Dongxia, YANG Jiancheng. Precipitation characteristics at the hinterland of the Gurbantunggut desert and the surrounding areas[J]. *Arid Land Geography*, 2010, 33(5): 769-774. (in Chinese))
- [8] 王涛. 巴丹吉林沙漠形成演变的若干问题[J]. 中国沙漠, 1990, 10(1): 29-40. (WANG Tao. Formation and evolution of Badain Jaran desert, China[J]. *Journal of Desert Research*, 1990, 10(1): 29-40. (in Chinese))
- [9] YANG Xiaoping, SCUDERI L, LIU Tao, et al. Formation of the highest sand dunes on Earth[J]. *Geomorphology*, 2011, 135: 108-116.
- [10] CHEN Jiansheng, LI Li, WANG Jiyang, et al. Groundwater maintains dune landscape[J]. *Nature*, 2004, 432: 459.
- [11] YANG Xiaoping, MA Nina, DONG Jufeng, et al. Recharge to the inter-dune lakes and Holocene climatic changes in the Badain Jaran Desert, Western China[J]. *Quaternary Research*, 2010, 73: 10-19.
- [12] 朱金峰,王乃昂,陈红宝,等. 基于遥感的巴丹吉林沙漠范围与面积分析[J]. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1087-1094. (ZHU Jinfeng, WANG nai'ang, CHEN Hongbao, et al. Study on the boundary and the area of Badain Jaran desert based on the remote sensing imagery[J]. *Progress in Geography*, 2010, 29(9): 1087-1094. (in Chinese))

- [13] 吴正. 中国的沙漠[M]. 北京: 商务印书馆, 1995: 101-105. (WU Zheng. The desert in China[M]. Beijing: The Commercial Press, 1995: 101-105. (in Chinese))
- [14] ZHANG Jiacheng, LIN Zhiguang. Climate of China[M]. New York: Wiley and Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1992: 1-376.
- [15] RUSSELL R J. The desert-rainfall factor in denudation[R]. Pretoria: Wallachs' Ltd, 1936: 337-372.
- [16] SHARON D. The spottiness of rainfall in a desert area[J]. Journal of Hydrology, 1972, 17(3): 161-175.
- [17] SUMMER G N. The use of correlation linkages in the assessment of daily rainfall patterns[J]. Journal of Hydrology, 1983, 66: 169-181.
- [18] BERNDTSSON R. On the use of cross-correlation analysis in studies of patterns of rainfall variability[J]. Journal of Hydrology, 1987, 93: 113-134.
- [19] CREUTIN J D, OBLED C. Objective analyses and mapping techniques for rainfall fields: An objective comparison[J]. Water Resources Research, 1982, 18(2): 413-431.
- [20] 朱炳海. 中国气候[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 361-363. (ZHU Binghai. Climate of China[M]. Beijing: Science Press, 1962: 361-363. (in Chinese))

## A preliminary study of precipitation characteristics in the hinterland of Badain Jaran desert\*

WANG Nai'ang<sup>1,2</sup>, MA Ning<sup>1,2</sup>, CHEN Hongbao<sup>1,3</sup>, CHEN Xiulian<sup>4</sup>,  
DONG Chunyu<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhenyu<sup>1,2</sup>

(1. College of Earth and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Center for Climate Change and Hydrologic Cycle in Arid Region, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

3. Institute of Water resource and Hydropower of Gansu Province, Lanzhou 730000, China;

4. Alashan Pledge Meteorological Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Alashan Left Banner 750306, China)

**Abstract:** Based on the positioning observation of precipitation in the hinterland of the Badain Jaran desert and data from four surrounding gauges in the vicinity of the desert, the characteristic of precipitation in the hinterland of the desert is examined. The effect of megadunes on precipitation is primitively analyzed. The difference in precipitation amounts between the margin area and the hinterland of the desert is discussed. Results show that light rain dominates the hinterland and the most common rainfall events are likely to be short in duration less than two hours. Precipitation exhibits a great deal of seasonal variability, and the annual precipitation depends very much on a few rainy days. A good consistency is found in the seasonal distribution of precipitation between the hinterland and the margin area. During the observation, the precipitation amount of the hinterland is lower than that of the southern margin, but is evidently higher than that of the northern, northwestern and southeastern margins. It is possible for the hinterland region to encountering local heavy rainfall events with precipitation greater than 20 mm and the maximum intensity of precipitation exceeding 4 mm/h; however, the occurrence of such events is rather instantaneous and random. It is evident that a megadune can influence precipitation as the annual precipitation and rainy days on the top of the megadune are slightly more than those in the interdune areas, and so do the duration and accumulation of a single precipitation event. During heavy rainfall events, spottiness is likely to occur on an average scale of 16.8 km. The cross-correlation analysis demonstrates that the space correlation decreases significantly with the increase of distances in the summer time of a year. However, the space correlation to 50 km is still high in the winter time of a year due to cold frontal precipitation.

**Key words:** positioning observation; precipitation; orographic effect; correlation-distance analysis; hinterland of Badain Jaran desert

\* The study is financially supported by the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education (No. 20090211110025; No. 20100211120006).