

基于格点数据的西北干旱区极端降水事件分析

董 蕾, 张明军*, 王圣杰, 朱小凡, 任正果, 王 琮

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要: 根据国家气象信息中心发布的 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 中国地面逐日降水格点数据集, 选取最大1日降水量(RX1day)、最大5日降水量(RX5day)、R95极端降水量(R95)、湿天降水量(PRCPTOT)、持续干旱日数(CDD)和日降水强度(SDII)等指数, 利用Sen斜率法、相关分析法等方法分析了1961—2011年中国西北干旱区极端降水特征, 并探讨了各极端降水指数与北极涛动的关系, 此外还与早期基于气象台站观测数据的相关研究结果进行了对比。结果表明: 在时间尺度上, 除CDD显著下降($P < 0.01$)外, 其他指数均呈微弱上升趋势。在空间上, RX1day、RX5day、R95、PRCPTOT和SDII在研究区内主要呈现西部明显增加、东部微弱减小的趋势, 但CDD则整体呈现减小趋势。基于NCAR资料的夏季北极涛动指数与西北干旱区的CDD有很好的相关性($P < 0.05$), 表明夏季北极涛动与该区的干旱事件发生之间存在一定联系。与早期站点数据的研究相比, 格点数据覆盖度更好, 能更为细致地描述空间变化特征, 特别是在天山、阿尔泰山等山区的细节刻画上表现出一定的优势。

关键词: 气候变化; 极端降水; 格点数据; 西北干旱区

中图分类号: P426.6

文献标志码: A

文章编号: 1000-3037(2014)12-2048-10

DOI: 10.11849/zrzyxb.2014.12.006

极端降水事件作为极端气候变化的一个重要方面, 受到越来越多的关注^[1-4], 在全球变暖的大背景下, 干旱区水循环系统的不确定性增大, 极端降水事件发生频繁^[5-6]。因此, 采取适应的对策来应对干旱区极端降水变化, 分析近百年全球变暖背景下的干旱区极端降水变化特征和可能的成因, 已成为各国专家研究的热点问题^[7-10]。我国西北干旱区约占全国陆地面积的1/3, 包括大兴安岭以西, 昆仑山、阿尔金山、祁连山以北的广大地区^[11], 是全球变化响应最敏感地区之一。近年来, 国内外学者在西北干旱区极端降水方面先后开展了一些工作。例如, 王怀军等^[12]和汪宝龙等^[13]基于国家基本、基准站长期的站台资料, 对该区域的极端降水格局进行了评估分析。需要指出的是, 西北干旱区地域广袤, 地形十分复杂, 限于沙漠、冰川等不适宜人类居住区域的广泛分布, 已建立的气象台站观测网络分布仍极不均匀。未经过加权计算而简单平均各气象台站的计算结果并不能完全概括西北干旱区的趋势, 使得区域平均值存在一定偏差。

高精度的格点数据可以在一定程度上解决实测站点分布不均的问题, 但是目前普遍

收稿日期: 2013-12-25; 修订日期: 2014-04-21。

基金项目: 科技部全球变化重大科学研究计划重大科学目标导向项目(2013CBA01801); 国家自然科学基金项目(41161012); 甘肃省高等学校基本科研业务费项目。

第一作者简介: 董蕾(1988-), 女, 陕西韩城人, 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: donglei0814@163.com

***通信作者简介:** 张明军(1974-), 男, 甘肃宁县人, 教授, 博导, 主要从事气候变化与冰川方面的研究。E-mail: mjzhang2004@163.com

使用的再分析数据(如NCEP/NCAR、ERA-40等)空间分辨率一般都较为有限,往往不能满足降水乃至极端降水研究的需求,且同化的中国境内气象站点偏少。2012年8月,国家气象信息中心发布了空间分辨率为 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 的中国地面降水格点数据集(V2.0)^[14],该套数据集为客观评估我国降水与极端降水时空格局提供了良好的基础。因此,本文基于这套数据,采用世界气象组织气候委员会(WMO-CCl)、气候变化及可预报性计划(CLIVAR)以及海洋学和海洋气象学联合技术委员会(JCOMM)共同推荐的一系列反映极端降水事件的指数,尝试对格点化的西北干旱区极端降水时空特征进行分析,旨在加深对极端降水的变化规律和原因的认识,对于评估和预测西北干旱区灾害的影响也有着较为重要的作用。

1 资料与方法

1.1 数据资料

由中国气象信息中心发布的 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 中国地面降水格点数据集(V2.0)利用全国2 474个台站实测的逐日降水量资料,运用局部薄盘样条法(Partial thin plate smoothing spines,简称TPS)实时生成自1961年以来的中国区域逐日降水量的网格产品^[14]。采用的算法除普通的样条自变量外允许引入线性协变量子模型,只将空间分布作为观测数据的函数而不需要其先验知识和物理过程,能有效提高插值的准确度。所有的格点数据文件进行了严格的质量检测、质量控制、数据核查、数据更正及补录。数据评估结果表明,1961年以来降水格点月值的平均均方根误差为0.49 mm,格点值与观测值之间的相关系数平均达0.93 ($P<0.01$),表明该数据集具有较好的精度和理想的插值效果。依照席承藩^[11]对我国三大自然区中西北干旱区的划分法,本文选取了1 082个格点来描述我国的西北干旱区(图1)。

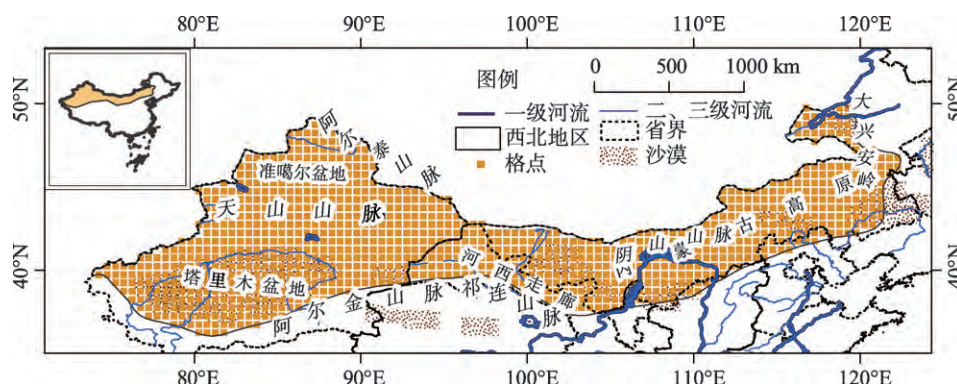


图1 西北干旱区格点分布

Fig. 1 Map showing the distribution of grid boxes in arid areas in Northwest China

1.2 研究方法

1.2.1 数据方法

选取了由世界气象组织气候委员会(WMO-CCl)、气候变化及可预报性计划(CLIVAR)以及海洋学和海洋气象学联合技术委员会(JCOMM)共同推荐的极端降水指数中的6个极端降水指数(表1),可分为两类:第一类是降水量指数和降水强度指数,包括

表1 本研究使用的极端降水指数定义

Table 1 Definition of extreme precipitation indices in this study

极端降水指数	缩写	定义	单位
持续干旱日数	CDD	日降水量小于1 mm持续日数的最大值	d
R95 极端降水量	R95	日降水量大降水序列第95个百分位52 a平均值的降水量	mm
日降水强度	SDII	年总降水量/降水日数	mm/d
最大1 (5) 日降水量	RX1(5)day	年内最大的1日 (连续5日) 降水总量	mm
湿天降水量	PRCPTOT	日降水量大于等于1 mm的年降水量	mm

最大1日降水量 (RX1day)、最大5日降水量 (RX5day)、R95 极端降水量 (R95)、湿天降水量 (PRCPTOT)、日降水强度 (SDII); 第二类是降水日数指数, 即持续干旱日数 (CDD)。研究中选用的这些指数能够反映出极端降水不同方面的变化, 被国内外广泛运用^[15-17]。

1.2.2 分析方法

线性趋势的斜率由 Sen^[18]提出的一种非参数方法估算得到, 此方法被广泛应用于降水等相关研究^[19-20]。在计算过程中, 对 N 个数据首先分别进行以下计算:

$$s_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

式中: x_j 和 x_k 分别是时间 j 和 $k(k > j)$ 时的数据值。 N 个数据 s_i 的中值即为斜率的 Sen 估计值。如果每一个时段内只有一个数据值, 那么 $N = n(n-1)/2$, n 为时间周期的数值。如果 N 为奇数, Sen 估计值为:

$$s_{\text{中值}} = s_{\frac{n+1}{2}} \quad (2)$$

如果 N 为偶数, Sen 估计值为:

$$s_{\text{中值}} = \frac{s_{\frac{n}{2}} + s_{\frac{n+2}{2}}}{2} \quad (3)$$

Mann-Kendall 非参数检验方法^[21]的优势在于不需要样本遵循一定的分布, 也不受少数异常值的干扰, 已被广泛用于水文气象时间序列的趋势变化研究^[22-23]。本文采用 Mann-Kendall 方法检验极端降水的年际变化趋势, 如果它通过 0.05 水平的显著性检验, 则认为变化趋势显著。

利用地理信息系统软件 ArcGIS 9.2 生成西北干旱区各极端降水指数倾向率空间分布图, 分析要素的空间变化分布规律。运用相关分析法分析各极端降水指数与各个季节的北极涛动指数的相关性, 关于北极涛动指数的算法参照李建平等^[24]的文献。

2 结果分析

2.1 时间变化分析

近 51 a 西北干旱区各极端降水指数的时间变化特征如图 2 所示: RX1day、RX5day、R95、PRCPTOT 和 SDII 分别以 0.029 mm/a、0.039 mm/a、0.150 mm/a、0.268 mm/a 和 0.005 mm/(d · a) 的速率呈增加趋势, 而 CDD 则以 -0.516 d/a 的速率显著下降, 并且通过了 0.01 的显著性检验。其他指数均未通过 0.05 的显著性检验, 呈现比较微弱的上升趋势。RX1day、RX5day、R95、PRCPTOT 和 SDII 的 10 a 滑动曲线的趋势大体相似, 总体

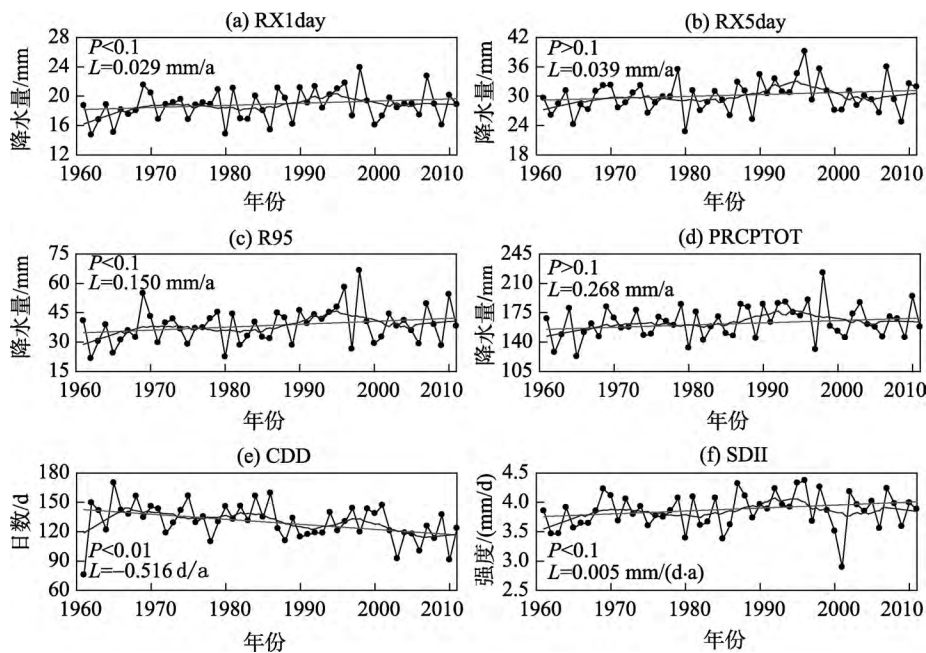


图2 1961—2011年西北干旱区极端降水指数年际变化趋势

Fig. 2 Inter-annual variation of extreme precipitation indices in arid areas in Northwest China during 1961–2011

上在20世纪60年代处于较明显的上升趋势，70至80年代变化趋势不明显，90年代普遍出现较高值，2000年之后变化又趋于平缓。总体来看，随着时间的变化，西北干旱区各降水量指数增大，持续干旱天数显著减小。

2.2 空间变化分析

RX1day、RX5day 和 RRCPTOT 的倾向率分别在-0.40~0.52、-0.41~0.69 和-1.82~4.75 mm/a之间变化，呈上升趋势的格点分别占总数的67.6%、69.8%和68.7%，其中分别有12.1%、12.0%和27.1%的格点通过显著性检验（表2）。RX1day[图3(a)]、RX5day[图3(c)]和RRCPTOT[图3(g)]的空间变化分布格局较为相似，整体表现为西部呈增加、东部呈减小趋势，即新疆、河西走廊、内蒙古高原西部的绝大多数格点都呈现增加的趋势，内蒙古高原的中东部部分格点倾向率呈现减小的趋势。显著增加的区域大片集中在新疆的

表2 1961—2011年西北干旱区极端降水指数的变化幅度及展现不同变化幅度的格点的百分率

Table 2 Trends and percentage of grid boxes with positive or negative trends for extreme precipitation indices in arid areas in Northwest China during 1961–2011

指数	均值/mm 或d	倾向率/(mm/a) 或 (d/a)		格点的百分率/%			
		幅度	区间	正趋势	显著正趋势	负趋势	显著负趋势
RX1day	18.73	0.02	-0.40~0.52	67.6	12.1	28.0	
RX5day	29.95	0.04	-0.41~0.69	69.8	12.0	27.8	
R95	38.32	0.10	-1.55~3.90	36.4	10.6	16.3	
PRCPTOT	163.54	0.28	-1.82~4.75	68.7	27.1	31.7	
CDD	130.07	-0.42	-2.38~1.16			81.7	25.0
SDII	3.84	0.004	-0.02~0.04	57.9	16.5	17.0	

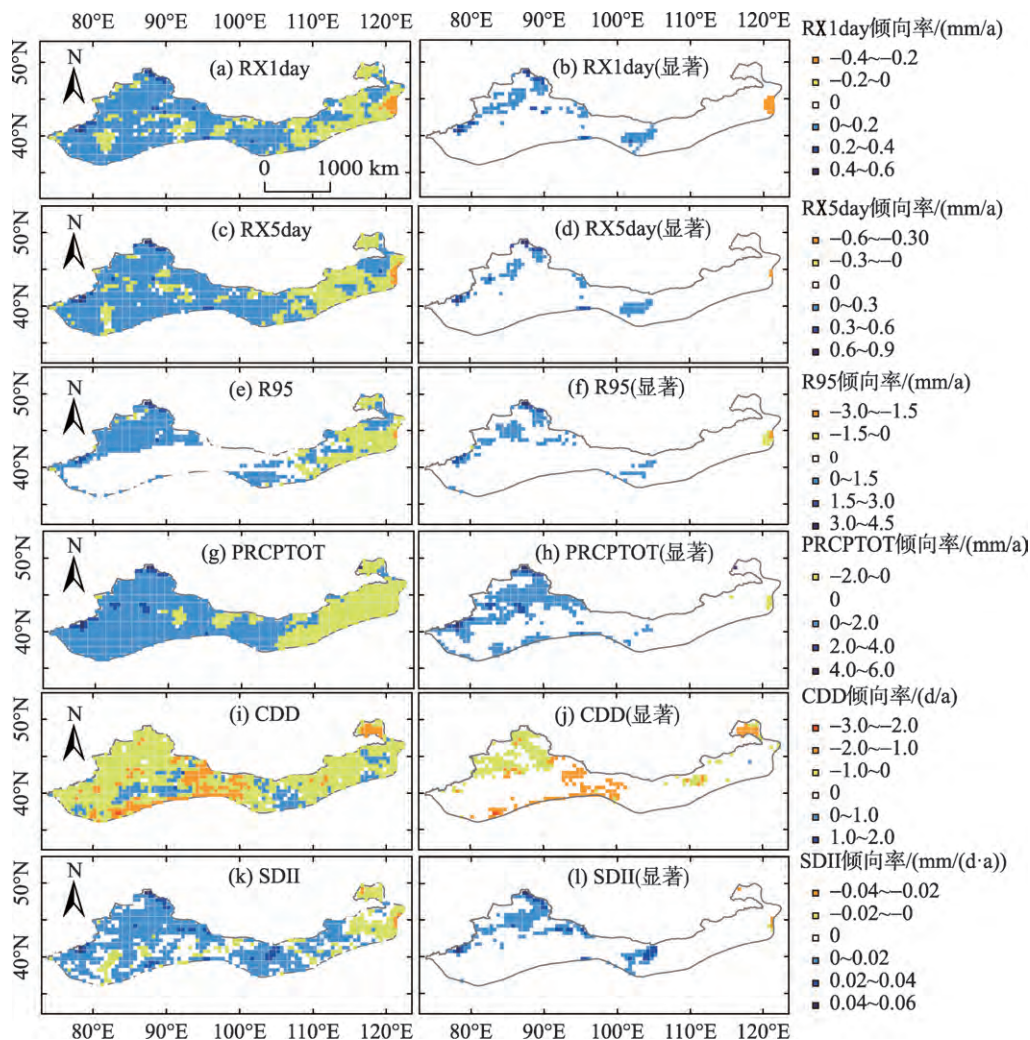


图3 1961—2011年西北干旱区极端降水指数年际变化的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of annual change of extreme precipitation indices in arid areas in Northwest China during 1961–2011

北部、内蒙古西部, 显著减小的区域很少[图3(b)、图3(d)、图3(h)]。

R95的倾向率在 $-1.55 \sim 3.90$ mm/a之间变化, 有36.4%的格点倾向率呈增加趋势(表2)。在河西走廊、内蒙古高原的西南部等地区的格点大多展现增加趋势[图3(e)], 新疆的北部以及内蒙古高原的西部的大多数格点呈显著增加趋势[图3(f)], 西南部在研究时段内无明显变化趋势, 倾向率大多为0, 而在东部地区的格点呈缓慢的减小趋势。

CDD有81.7%的格点倾向率小于0, 其中有25.0%的格点通过了显著性检验(表2)。CDD的显著格点[图3(j)]与PRCPTOT[图3(h)]显著格点的分布格局基本一致, 集中在新疆的北部、内蒙古西部, PRCPTOT以增加趋势为主, 而CDD以减少趋势为主。

SDII的倾向值在 $-0.02 \sim 0.04$ mm/(d·a)之间变化, 有57.9%的格点倾向率大于0, 其中16.5%的格点通过显著性检验(表2), 显著增加的区域大片集中在新疆的北部以及内蒙古高原的西部[图3(l)]。

3 北极涛动与极端降水的关系

有研究已表明，北极涛动与北半球降水变化之间存在一定的关系^[25-27]，当北极涛动指数偏强时，我国大部分地区冬季气温偏高，同时降水偏多^[28]。北极涛动的变化和位置异常会引起空间环流场的改变，可能会对位于欧亚大陆腹地的中国西北干旱区气候变化产生重要影响^[29]。因而这里对西北干旱区极端降水与北极涛动的关系进行分析。

考虑到不同数据源计算得到的北极涛动指数存在一定的差异，因而本文分别比较了基于哈德利中心、NCEP和NCAR的北极涛动指数。表3是基于三个数据源（哈德利中心、NCEP和NCAR）得到的北极涛动指数与各极端降水指数之间的相关系数，可以看出研究区各极端降水指数与北半球夏季涛动指数的相关系数比与其他季节相关系数大，也就是说，相较于其他季节，夏季的北极涛动与本研究区极端降水更为相关。此外，来源于NCAR的北极涛动指数与极端降水指数的相关系数大都比来自哈德利中心和NCEP的大。在相关系数中，RX1day、R95、CDD表现出较高的相关性，说明RX1day、R95、CDD比其他极端降水指数更加敏感。

表3 不同季节的北极涛动指数和极端降水指数之间的相关系数															
指数	基于哈德利中心的北极涛动指数					基于NCEP的北极涛动指数					基于NCAR的北极涛动指数				
	冬季	春季	夏季	秋季	平均	冬季	春季	夏季	秋季	平均	冬季	春季	夏季	秋季	平均
RX1day	0.221	-0.002	0.084	-0.157	0.032	0.229	0.082	0.253	0.013	0.144	0.226	0.087	0.237	-0.021	0.146
RX5day	0.176	-0.073	0.096	-0.158	-0.006	0.170	-0.027	0.241	-0.017	0.086	0.182	-0.001	0.247	-0.011	0.112
R95	0.132	-0.002	0.153	0.158	-0.040	0.165	0.078	0.321*	0.027	0.097	0.159	0.101	0.333*	0.006	0.121
PRCPTOT	0.121	0.044	0.111	-0.104	0.057	0.169	0.129	0.270	0.070	0.191	0.153	0.123	0.225	0.028	0.179
CDD	-0.200	-1.010	-0.234	-0.120	-0.187	-0.184	-0.079	-0.212	-0.130	0.179	-0.159	-0.127	-0.312*	-0.150	-0.217
SDII	0.114	0.127	0.019	-0.137	0.006	0.126	-0.102	0.129	-0.042	0.069	0.109	-0.111	0.113	-0.090	0.052

注：*表示通过0.05置信度检验。

就来源于NCAR数据的夏季北极涛动指数与各极端降水指数显著相关的格点个数统计来说（表4），CDD与北极涛动指数显著相关的格点个数所占比例较高，说明北极涛动对CDD产生的影响可能更显著。如图4所示，这些格点大多分布在北疆与青藏高原北缘、河西走廊、内蒙古高原的中部、东部等的部分地区。而CDD和北极涛动指数的显著相关的格点与CDD的空间显著变化的格点的分布格局较为相似，其中有127个格点重合，占空间显著变化的格点的46.7%，占显著相关的格点的73.4%，这进一步表明CDD的变化与北极涛动存在一定联系。然而，大气环流对区域气候的影响十分复杂，还需要进一步详细地分析。

表4 北极涛动指数与极端降水指数显著相关格点个数及其百分比						
Table 4 Number and percentage of grid boxes showing significant correlation between extreme precipitation indices and Arctic Oscillation Index						
指数	RX1day	RX5day	R95	PRCPTOT	CDD	SDII
显著格点的个数	11	4	13	5	173	9
显著格点的百分比	1%	0.3%	1.2%	0.4%	16.0%	0.8%

4 讨论

本文基于格点化降水资料对西北干旱区的极端降水进行了分析,这里有必要将其与早期研究得到的认识进行对比。以RX1day为例,文章将基于格点数据研究的时间变化结果与早期汪宝龙等^[13]基于站点数据研究的结果进行对比(图5),发现两个研究中RX1day的滑动曲线较为相近,最高值均出现在20世纪90年代,且峰谷特征也有一定的对应性。当然,限于研究

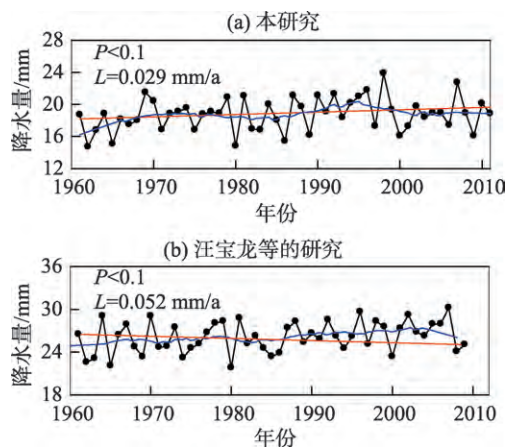


图5 西北干旱区RX1day的变化趋势与早期研究^[13]的对比

Fig. 5 Comparison between RX1day in arid areas in Northwest China in this study and previous research^[13]

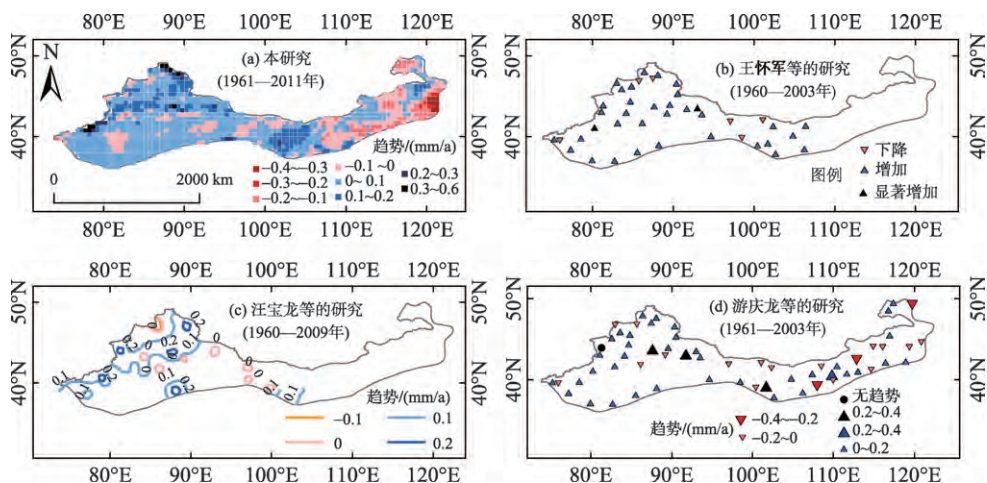


图6 西北干旱区RX1day的变化趋势与早期研究^[12-13,30]的对比

Fig. 6 Comparison of the linear trends of RX1day in arid areas in Northwest China in this study and other research^[12-13,30]

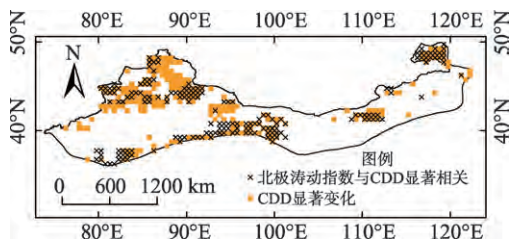


图4 夏季北极涛动指数(来源于NCAR)和CDD显著相关的格点以及CDD显著变化的格点分布

Fig. 4 Spatial distribution of grid boxes with significant correlation between CDD and NCAR-based Arctic Oscillation Index, and that with significant change of CDD

区分范围的差异(汪宝龙等^[13]并未涵盖内蒙古高原中东部),本文不再做过多的定量比较。

图6对比了早期研究^[12-13,30]与本研究中西北干旱区RX1day的空间变化分布特征。对比发现,整体而言,不同研究中RX1day都表现出了研究区内西部增高的趋势,但是格点资料覆盖度更高,因此在细节的刻画上表现出一定的优势。例如,天山山区的暖湿化已被广泛报道,特别是高海拔山区的增湿幅度要高于两侧的盆地^[20,31-32]。在图6(a)中,天山山区RX1day增幅(多为0.1~0.2 mm/a,西段甚至高达0.3~0.6 mm/a)普遍高于盆地地区(多为0~0.1 mm/a),相比之下,山区表现出的RX1day变化特征在其他几项研究(山区站点偏少)中难以得到反映。与天山的

情况类似, 在新疆北部阿尔泰山地区, 实测气象站点普遍海拔较低, 因而对于高海拔区的极端降水事件缺乏足够的认识。本研究中, 阿尔泰山区RX1day的倾向率呈现增加趋势, 这在其他几项研究中也并不能明显地表现出来。此外, 由于广大的沙漠地区缺少足够的气象台站, 对于这样的无人区极端降水变化情况研究很少, 但本研究发现塔克拉玛干沙漠RX1day大部呈微弱的上升趋势, 而中西部的部分地区微弱减小。尽管这种趋势还需要其他资料进一步验证, 但至少给我们提供了一种思路, 即塔克拉玛干沙漠的气候变化可能存在着一定的区域差异。

5 结论

本文运用 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的中国地面降水格点数据, 采用6个极端降水指标来研究近51 a西北干旱区极端降水事件的时空变化特征, 主要得出以下结论:

(1) 在时间尺度上, 降水量指数(RX1day、RX5day、R95、PRCPTOT)和降水强度指数(SDII)都呈现不明显的上升趋势, 持续干旱日数(CDD)以 -0.516 d/a 的速率呈现明显下降趋势($P < 0.01$)。在空间上, 降水量指数和降水强度指数总体上呈现西部明显增加、东部微弱减小的趋势, 持续干旱日数整体呈现减小趋势。

(2) 统计分析表明, 基于NCAR资料的夏季北极涛动指数与持续干旱天数有更高的相关性($P < 0.05$), 说明夏季北极涛动与研究区的干旱事件发生存在一定联系。

(3) 与站点数据的早期研究结果相比较, 格点数据具有较好的空间覆盖度, 能更为细致地描述空间变化特征, 特别是在天山、阿尔泰山等山区的细节刻画上表现出一定的优势。

参考文献(References):

- [1] Huan Z, Klaus F, Richard B, et al. Precipitation extremes in CMIP5 simulations on different time scales [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2013, 14(3): 923-928.
- [2] Clifford M, Adam S, Michael W. Extreme precipitation over the west coast of North America: Is there a trend? [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2011, 12(2): 310-318.
- [3] Charles J, Jon G, Leila M V C, et al. Wayne Higgins influence of the Madden-Julian Oscillation on forecasts of extreme precipitation in the contiguous United States [J]. *Monthly Weather Review*, 2011, 139(2): 332-350.
- [4] Marco G, Thomas F, Tong J, et al. Trends in precipitation extremes in the Zhujiang River Basin, South China [J]. *Journal of Climate*, 2011, 24(3): 750-761.
- [5] Kaniewski D, Van Campo E, Weiss H. Drought is a recurring challenge in the Middle East [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109: 3862-3867.
- [6] Almazroui M. Sensitivity of a regional climate model on the simulation of high intensity rainfall events over the Arabian Peninsula and around Jeddah (Saudi Arabia) [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2011, 104: 261-276.
- [7] Donat M G, Peterson T C, Brunet M. Changes in extreme temperature and precipitation in the Arab region: Long-term trends and variability related to ENSO and NAO [J]. *International Journal of Climatology*, 2014, 34(3): 581-592.
- [8] Shongwe M E, Van Oldenborgh G J, De Boer B, et al. Projected changes in mean and extreme precipitation in Africa under global warming. Part II: East Africa [J]. *Journal of Climate*, 2011, 24: 3718-3733.
- [9] Richard G T, Martin C T, Lister K, et al. Evidence of the dependence of groundwater resources on extreme rainfall in East Africa [J]. *Nature Climate Change*, 2012, 3(4): 374-378.
- [10] 杨金虎, 江志红, 王鹏祥, 等. 中国西北极端降水事件年内非均匀性特征分析 [J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 178-184. [YANG Jin-hu, JIANG Zhi-hong, WANG Peng-xiang, et al. Analysis on inner-annual inhomogeneity characteristic of extreme precipitation events over Northwest China. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(1): 178-184.]

- [11] 席承藩. 中国自然区划概要 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1984. [XI Cheng-fan. The Outline of China's Natural Divisions. Beijing: Science Press, 1984.]
- [12] Wang H J, Chen Y N, Xun S, *et al.* Changes in daily climate extremes in the arid area of northwestern China [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2013, 112: 15-28.
- [13] 汪宝龙, 张明军, 魏军林, 等. 西北干旱区近 50 a 气温和降水极端事件的变化特征 [J]. 自然资源学报, 2012, 27 (10): 1720-1733. [WANG Bao-long, ZHANG Ming-jun, WEI Jun-lin, *et al.* The change in extreme events of temperature and precipitation over northwest China in recent 50 years. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(10): 1720-1733.]
- [14] 国家气象信息中心. 中国地面降水 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 格点数据集 (V2.0) 评估报告 [R]. 北京: 国家气象信息中心, 2012. [National Meteorological Information Center. Assessment report of China's ground precipitation 0.5×0.5 gridded dataset (V2.0). Beijing: National Meteorological Information Center, 2012.]
- [15] Caesar J, Alexander L V, Trewin B, *et al.* Changes in temperature and precipitation extremes over the Indo - Pacific region from 1971 to 2005 [J]. *International Journal of Climatology*, 2011, 31: 791-801.
- [16] Vincent L A, Aguilar E, Saindou M, *et al.* Observed trends in indices of daily and extreme temperature and precipitation for the countries of the western Indian Ocean, 1961-2008 [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2011, 116(D10), doi: 10.1029/2010JD015303.
- [17] Klein Tank A M G, Peterson T C, Quadir D A, *et al.* Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111(D16105), doi: 10.1029/2005JD006316.
- [18] Sen P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau [J]. *Journal of American Statistical Association*, 1968, 63: 1379-1389.
- [19] Su B D, Gemmer M, Jiang T. Spatial and temporal variation of extreme precipitation over the Yangtze River Basin [J]. *Quaternary International*, 2008, 186(1): 22-31.
- [20] Wang S J, Zhang M J, Sun M P, *et al.* Changes in precipitation extremes in alpine areas of the Chinese Tianshan Mountains, central Asia, 1961-2011 [J]. *Quaternary International*, 2013, 311: 97-107.
- [21] Mann H B. Non-parametric tests against trend [J]. *Econometric*, 1945, 13: 245-259.
- [22] Liu X M, Zheng H X, Zhang M H, *et al.* Identification of dominant climate factor for pan evaporation trend in the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Geographical Science*, 2011, 21(4): 594-608.
- [23] Liu X C, Xu Z X, Yu Y H. Trend of climate variability in China during the past decades [J]. *Climatic Change*, 2011, 109: 503-516.
- [24] Li J P, Wang J X L. A modified zonal index and its physical sense [J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(12), doi:10.1029/2003GL017441.
- [25] Scaife A A, Folland C K, Alexander L V, *et al.* European climate extremes and the North Atlantic Oscillation [J]. *Journal of Climate*, 2008, 21: 72-83.
- [26] Hu Q, Feng S. Influence of the Arctic oscillation on central United States summer rainfall [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2010, 115(D1), doi: 10.1029/2009JD011805.
- [27] Mao R, Gong D Y, Yang J, *et al.* Linkage between the Arctic oscillation and winter extreme precipitation over central southern China [J]. *Climate Research*, 2011, 50: 187-201.
- [28] 龚道溢, 王绍武. 近百年北极涛动对中国冬季气候的影响 [J]. 地理学报, 2003, 58(4): 559-568. [GONG Dao-yi. WANG Shao-wu. Influence of arctic oscillation on winter climate over China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58 (4): 559-568.]
- [29] 郭渠, 孙卫国, 程炳岩, 等. 我国西北地区气候变化与北极涛动的交叉小波分析 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31 (6): 811-818. [GUO Qu, SUN Wei-guo, CHENG Bing-yan, *et al.* Intersection using wavelet analysis of climate change and AO in Northwest China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2008, 31(6): 811-818.]
- [30] You Q L, Kang S C, Aguilar E, *et al.* Changes in daily climate extremes in China and its connection to the large scale atmospheric circulation during 1961-2003 [J]. *Climate Dynamics*, 2011, 36: 2399-2417.
- [31] 袁玉江, 何清, 喻树龙. 天山山区近 40 年降水变化特征与南、北疆的比较 [J]. 气象科学, 2004, 24(2): 220-226. [YUAN Yu-jiang, HE Qing, YU Shu-long. Features of annual precipitation change in Tianshan Mountainous area

for the recent 40 years and comparison with those in the southern and northern Xinjiang. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2004, 24(2): 220-226.]

- [32] Wang S J, Zhang M J, Li Z Q, *et al.* Glacier area variation and climate change in the Chinese Tianshan Mountains since 1960 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, 21(2): 263-273.

Extreme Precipitation Events in Arid Areas in Northwest China Based on Gridded Data

DONG Lei, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, ZHU Xiao-fan,
REN Zheng-guo, WANG Qiong

(College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: According to the gridded Chinese ground precipitation dataset with a resolution of $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ released by National Meteorological Information Center, extreme precipitation indices including maximum 1- day precipitation (RX1day), maximum 5- day precipitation (RX5day), very wet day precipitation (R95), wet day precipitation (PRCPTOT), consecutive dry days (CDD) and simple daily intensity index (SDII) in arid areas in Northwest China during 1961–2011 is analyzed using Sen's slope, correlation analysis and other methods. The connection between each extreme precipitation index and the Arctic oscillation is discussed, and the gridded indices in this study are compared with those in previous research using observation data. The result indicates that most indices show a slightly increasing trend, except CDD with statistically significant decrease ($P < 0.01$). Spatially, RX1day, RX5day, R95, PRCPTOT and SDII have significantly increased in the western part and slightly decreased in the east part, and CDD generally presents a decreasing trend. The higher correlation ($P < 0.05$) exists between NCAR-based summer Arctic oscillations index and CDD, which indicates a relation between Arctic oscillation in summer and drought events in the study area. Compared with the previous research using observation data, the gridded data have greater spatial coverage, which is good at describing detailed spatial variation, especially in the mountainous regions like the Tianshan Mountains and Altai Mountains.

Key words: climate change; extreme precipitation; gridded data; arid areas in Northwest China