

达鹏奎, 白文娟, 陈晶, 等. 环青海湖地区夏半年极端降水时空特征及其对大气环流因子的响应 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2022, 16(3): 75–83.
doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2022.03.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



环青海湖地区夏半年极端降水时空特征及其对大气环流因子的响应

达鹏奎^{1,2}, 白文娟^{1,3}, 陈晶^{1,4}, 李晓东^{1,5*}

(1. 青海省防灾减灾重点实验室, 青海 西宁 810001; 2. 玉树藏族自治州气象局, 青海 玉树 815099; 3. 海东市气象局, 青海 海东 810699; 4. 黄南藏族自治州气象局, 青海 同仁 811300; 5. 青海省气象科学研究所, 青海 西宁 810001)

摘 要: 利用环青海湖地区 8 个气象站点 1961—2018 年逐日降水数据, 分析了该地区夏半年降水量和极端降水指标的时空变化和大气环流特征。结果表明: 近 60 a 环青海湖地区夏半年降水量呈显著增加趋势; 极端降水事件各项指标(夏半年的极端降水量、极端降水日数、极端降水强度、1 日最大极端降水量、极端降水事件频率)呈上升趋势, 尤其是 2005 年以来各项极端降水指标上升趋势特别明显。21 世纪初期是环青海湖地区的降水突变期, 夏半年降水量和极端降水事件多项指标均在这一时期发生了突变。通过对极端降水指标与环流变化的关系研究发现, 南极涛动指数(AAO)、西太平洋副高强度指数(WPSH)与极端降水指标显著正相关。在 2006 年前后南极涛动指数(AAO)和西太平洋副高指数(WPSH)发生比较明显的转折性变化, 最终导致环青海湖地区夏半年极端降水各项指标在 2006 年前后出现比较明显的突变。环青海湖地区夏半年降水量和极端降水量均存在 6 a 的短周期和 16 a 左右的长周期。环青海湖地区夏半年极端降水量和极端降水日数均表现为西部较东部显著的空间变化特征。

关键词: 夏半年极端降水; 突变; 周期; 时空变化; 环青海湖地区

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-0799(2022)03-0075-09

气候变化导致的温度增加和极端天气气候事件的频发, 是近年来气候研究的重点。其中, 随着极端降水天气事件的增多, 降水量也呈现不同程度的增加态势^[1-5]。青藏高原作为全球气候变化的敏感区和脆弱区, 在全球气候变化的影响下, 极端降水天气事件频发, 降水量在不同区域呈现出不同程度的增加^[6-10]。青藏高原降水在年代际变化趋势上表现为高原北部变化基本稳定, 高原东南、青海东部及川西北

明显增减更替的变化特征^[11], 而极端降水的各项指标表现出一定的增加趋势^[12-13]。青海省地处青藏高原东北部, 气候表现出暖湿化的态势^[14-15]。极端降水天数, 极端降水强度和极端降水频率呈上升趋势^[16-17], 汛期极端强降水发生的频次增加、强度加重^[18]。作为全球变暖敏感区的青海湖地区, 降水量显著增多^[19], 夏季和冬季降水增加速率最为明显, 气温、降水变化特征表明青海湖流域目前正处于增温增湿阶段^[20-21]。青海湖流域降水主要集中在夏季, 强降水量的增加是环青海湖地区夏半年降水量增加的主要来源^[22-25]。气候变化研究表明了气候变化趋势的同步性与区域气候变化的异质性, 但是针对环青海湖地区夏季极端降水量各项指标的研究报道相对较少, 对青海湖流域夏季极端降水量的变化成因分析也不足。因此, 准确分析环青海湖地区极端降水事件的变化特征,

收稿日期: 2020-12-10; 修回日期: 2021-11-30

基金项目: 青海省科技厅科技计划项目(2019-ZJ-7036); 国家自然科学基金项目(41961012); 青海省气象局重点项目(QXZ2020-08)

作者简介: 达鹏奎(1991—), 男, 工程师, 主要从事生态环境研究和气候变化研究工作。E-mail: dapengkui@163.com

通信作者: 李晓东(1985—), 男, 高级工程师, 主要从事生态环境和气候变化研究工作。E-mail: lixid16@lzu.edu.cn

可以提升对高原地区极端降水时间变化特征的认识,也可为区域气候变化和流域水资源变化归因分析提供支持。本文利用环青海湖地区8个国家气象站1961—2018年的日降水数据(20—20时),统计分析了近60 a极端降水事件各项指标的时空分布特征及极端降水变化成因,以便准确科学地认识环青海湖地区夏半年极端降水事件变化的影响因素和重要意义。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

“环青海湖地区”地处青藏高原东北部,位于 $96^{\circ}56' \sim 101^{\circ}36' \text{E}$, $35^{\circ}19' \sim 39^{\circ}11' \text{N}$,包括青海湖流域及祁连山东部的海北藏族自治州的海晏县、刚察县、门源县、祁连县和海南藏族自治州的共和县,贵南县及海西蒙古族藏族自治州的天峻县,区域面积达 $8.45 \times 10^4 \text{ km}^2$,占青海省国土总面积的11.72%。该区域平均海拔3 000~4 000 m,处于蒙新荒漠、青藏高原和黄土高原交汇地带。该区域中青海湖长105 km,宽63 km,既是中国最大的内陆湖泊,也是中国最大的咸水湖,处于青藏高原东北缘,由祁连山的大通山、日月山与青海南山之间的断层陷落形成^[26]。

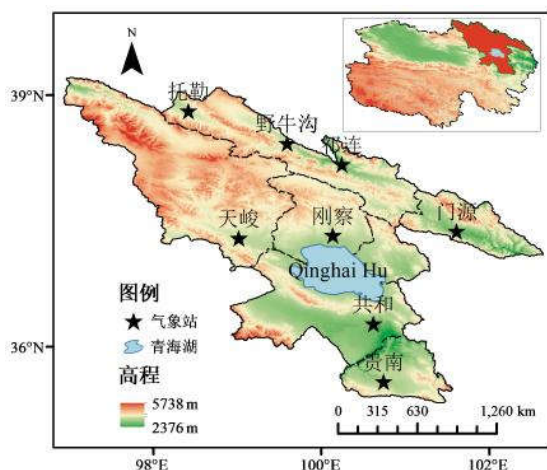


图1 环青海湖站点分布

1.2 研究数据

数据为青海省气象信息中心1961—2018年环青海湖地区夏半年(5—9月)8个国家站点逐日降水资料(20—20时),8个站点分别为托勒、野牛沟、祁连、贵南、共和、门源、天峻、刚察。

采用6个大气环流指数研究环青海湖地区夏半年极端降水指标的环流影响因素,选用指标包括北极涛动指数(Arctic Oscillation, AO)、南极涛动指数

(Atlantic Oscillation, AAO)、北大西洋涛动指数(North Atlantic Oscillation, NAO)、西太平洋副高强度指数(Western Pacific Subtropical High Intensity Index, WPSH)、南方涛动指数(Southern Oscillation Index, SOI)、中热带太平洋海温(Nino4)。环流指数的逐月数据来源于NOAA地球系统研究实验室(<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>)。

1.3 研究方法

研究中极端降水事件的定义采用了百分位值作为极端值的阈值,超过阈值的事件定为极端事件。将环青海湖地区8个国家气象站1961—2018年的日降水数据(20—20时),按照百分位法计算出各站1981—2010年序列长度下的第95个百分位值的多年平均值作为极端降水事件阈值,将每年中日降水量大于总阈值的日数定义为极端降水天数^[27],并结合国家气象行业标准^[28]拟定了本研究中的降水极端值和极端降水指标(表1)。

表1 降水极端值和极端降水指标

指数	定义(当年指1961—2018年间某年5—9月)
极端降水事件	当年日降水量大于1981—2010年间第95个百分位的数值
极端降水量/mm	当年极端降水事件的降水量之和
极端降水日数/d	当年日出现极端降水事件的总次数
极端降水强度/(mm/d)	当年极端降水量与极端降水日数之比
1日最大极端降水量/mm	当年极端降水事件降水量最大值
极端降水占比/%	当年极端降水量与总降水量之比
极端降水频率	当年极端降水日数与夏半年降水日数之比

研究采用线性倾向估计、曼—肯得尔(Mann-Kendall)法、滑动 T 检验、Pearson相关性分析、小波分析、功率谱分析等统计诊断方法对各项指标进行了统计分析^[29],以便准确把握和认识环青海湖地区夏半年极端降水各项指标的变化特征和规律,探究各指标突变特征、振荡周期特征等^[30-35];并用线性倾向估计分析1961—2018年环青海湖地区夏半年极端降水各项指标的变化趋势;利用Pearson相关性分析对夏半年极端降水各项指标和北极涛动指数(AO)、南极涛动指数(AAO)、北大西洋涛动指数(NAO)、西太平洋副高强度指数(WPSH)、南方涛动指数(SOI)、Nino4等作相关分析,以便阐述夏半年

极端降水各项指标变化的成因。

2 结果与分析

2.1 环青海湖地区夏半年降水量特征

近 60 a 环青海湖地区夏半年降水量呈显著增加趋势($P<0.01$),气候倾向率为 $12.4 \text{ mm}/10 \text{ a}$ (图 2a)。夏半年降水量在 20 世纪 80 年代以前呈下降趋势,80 年代为弱上升趋势,90 年代为下降趋势,21 世纪初期又转为显著上升趋势(表 2b)。由 UF 曲线可知,21 世纪初期以来,环青海湖地区夏半年降水量有一明显的增加趋势,这种增加趋势通过 0.05 的显著性检验,表明 21 世纪以来环青海湖地区夏半年降水增加趋势显著。M—K 突变检验结果显示,环青海湖地区夏半年降水量从 21 世纪初期的 2004 年发生了突变(图 2b)。

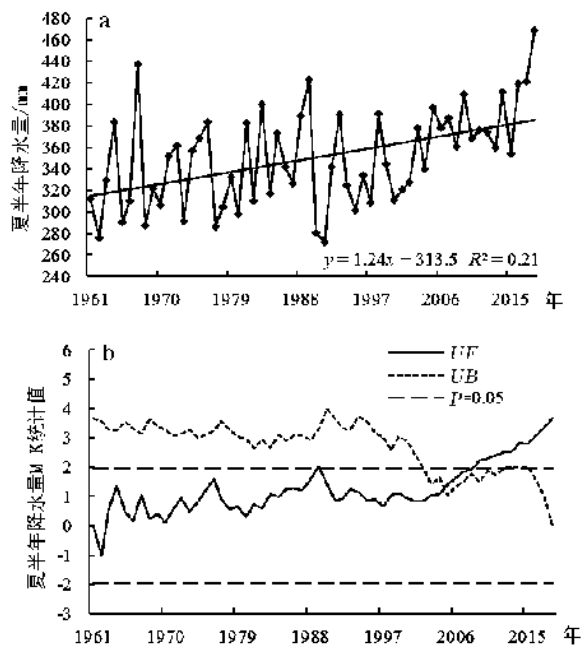


图 2 1961—2018 年夏半年降水量变化趋势(a)和突变检验(b)

2.2 环青海湖地区夏半年极端降水事件变化特征

2.2.1 夏半年极端降水量变化特征

近 60 a 环青海湖地区夏半年极端降水量呈显著增加趋势($P<0.001$),气候倾向率为 $8.5 \text{ mm}/10 \text{ a}$ (图 3a)。夏半年极端降水量在 20 世纪 80 年代以前呈下降趋势,80 年代表现出弱上升趋势,90 年代呈下降趋势,21 世纪开始转为显著上升趋势(表 2)。由 UF 曲线可知,90 年代呈增加趋势但不显著。M—K 突变检验曲线显示,夏半年极端降水量在 2004 年前后发生转折(图 3b),结合滑动 t 检验结果表明环青海

湖地区夏半年极端降水量在 2004 年发生突变。

2.2.2 极端降水日数变化特征

近 60 a 环青海湖地区夏半年极端降水日数呈显著上升趋势($P<0.001$),气候倾向率高达 $0.4 \text{ d}/10 \text{ a}$ (图 3c)。极端降水日数在 20 世纪 90 年代及以前呈下降趋势,21 世纪以来呈显著上升趋势(表 2)。由 UF 曲线可知,20 世纪 90 年代以来,环青海湖地区夏半年极端降水日数增加趋势明显,21 世纪以来这种增加趋势通过 0.05 的显著性检验,表明环青海湖地区夏半年极端降水日数增加趋势显著。M—K 突变检验曲线显示,环青海湖地区夏半年极端降水日数从 21 世纪初期 2004 年开始发生突变(图 3d)。

表 2 环青海湖地区夏半年的降水量和极端降水事件各项指标年代际距平

年代	降水量/mm	极端降水量/mm	极端降水日数/d	极端降水强度/(mm/d)	1 日最大极端降水量/mm	极端降水事件频率/%
1961—1970	-23.60	-19.53	-0.76	0.34	-1.46	-0.01
1971—1980	-16.80	-28.66	-0.45	0.27	-0.25	-0.01
1981—1990	5.10	8.05	-0.43	-0.72	-1.72	-0.01
1991—2000	-16.50	-16.50	-0.03	0.49	0.58	0.003
2001—2010	10.00	2.79	0.37	0.01	0.18	0.004
2011—2018	45.20	59.25	1.11	0.78	3.35	0.01

2.2.3 极端降水强度变化特征

近 60 a 环青海湖地区夏半年极端降水强度呈缓慢增强态势,气候倾向率为 $(0.1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1})/10 \text{ a}$ (图 3e)。极端降水强度一直呈增强趋势,仅在 20 世纪 80 年代表现为下降趋势(表 2)。由 UF 曲线可见,自 20 世纪 80 年代以来,环青海湖地区极端降水强度呈增强态势。M—K 突变检验结果显示,20 世纪初期极端降水强度的增强是一突变现象,具体突变时间是 2015 年,但未通过显著性检验(图 3f)。

2.2.4 日最大极端降水量变化特征

近 60 a 环青海湖地区夏半年的日最大极端降水量呈显著增加趋势($P<0.01$),气候倾向率高达 $0.9 \text{ mm}/10 \text{ a}$ (图 3g)。日最大极端降水量在 20 世纪 80 年代以前呈下降趋势,90 年代转为上升趋势,进入 21 世纪后上升趋势显著(表 2)。由 UF 曲线可见,自 20 世纪 80 年代以来,环青海湖地区夏半年的日最大极端降水量增加趋势明显,21 世纪初期以来增加趋势通过 0.05 的显著性检验,表明环青海湖地区夏半年的日最大极端降水量增加趋势显著。M—K 突变检验结果显示,环青海湖地区夏半年的日最大极端降水量在 21 世纪初期发生突变现象,具体突变年

是2006年(图3h)。

2.2.5 极端降水事件频率变化特征

近60 a环青海湖地区夏半年极端降水事件频率呈显著上升趋势($P < 0.001$),气候倾向率为0.01/10 a(图3i)。极端降水事件频率在20世纪80年代以前呈下降趋势,90年代转为上升趋势,21世纪以来上升趋势显著(表2)。由UF曲线可见,20世纪80年代以来,环青海湖地区夏半年极端降水事件频率呈上升趋势,20世纪末这种增加趋势通过0.05的显著性检验,表明环青海湖地区夏半年极端降水频率

增加趋势显著。M-K突变检验结果显示,环青海湖地区夏半年极端降水事件频率在20世纪90年代—21世纪初有多次突变现象,结合滑动 t 检验结果表明,21世纪初环青海湖地区夏半年极端降水事件频率发生了突变,具体突变的时间是2004年(图3j)。

2.2.6 环青海湖地区降水周期特征

1961—2018年,环青海湖地区夏半年极端降水量和降水量的周期基本同步,夏半年极端降水量存在17 a的主周期和6 a的第二周期(图4a),而降水量存在6 a的主周期、16 a的第二周期和24 a的

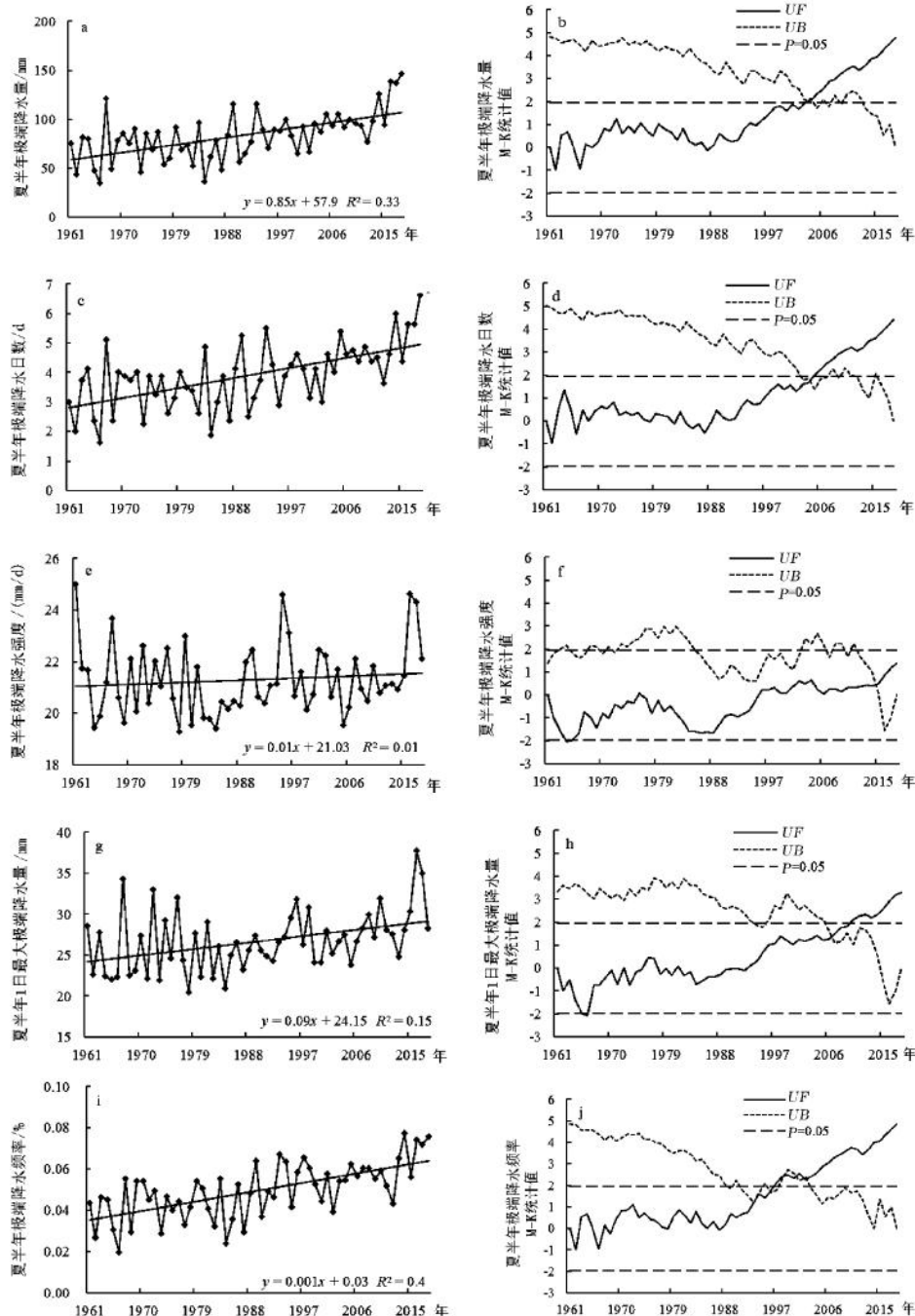


图3 夏半年极端降水指标的趋势变化和M—K突变检验

第三周期。20 世纪 90 年代—21 世纪初,6 a 的第一周期和 16 a 的第二周期显著性逐渐发生变化,具体表现为 6 a 的短周期显著性降低而 16 a 的长周期愈来愈显著(图 4b)。

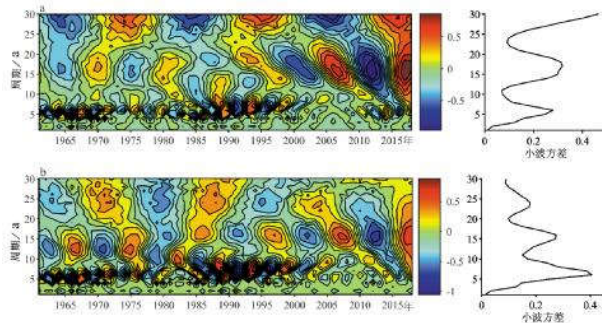


图 4 1961—2018 年环青海湖地区夏半年极端降水量(a)、夏半年降水量(b)的 Morlet 小波实部分布和小波方差

2.3 环青海湖地区夏半年极端降水事件空间分布

从环青海湖地区夏半年极端降水事件各项指标的年代际距平变化可知(表 3),各站极端降水事件指标在年代际整体变化趋势上呈“先下降后上升”的趋势,其中极端降水量、极端降水日数和日最大极端

降水量 3 个极端降水事件指标的年代际距平在整体变化趋势上转变明显,而极端降水强度没有明显的年代际变化特征。因此,以极端降水量、极端降水日数和日最大极端降水量 3 个指标的年代际距平变化,来反映环青海湖地区夏半年极端降水事件空间分布特征。从 3 个指标的年代际距平研究结果来看,20 世纪 90 年代—21 世纪初期是各站极端降水事件转变期,20 世纪 90 年代,野牛沟、祁连、贵南、天峻 4 个站点的极端降水量率先由减少转为增多,其余站点在 21 世纪初期才出现转变;祁连、贵南、天峻 3 站点的极端降水日数在 20 世纪 90 年代率先由减少转为增多,其余站点在 21 世纪初期才出现转变;野牛沟、祁连、贵南 3 站的日最大极端降水量在 20 世纪 90 年代率先由减少转为增多,而门源、天峻 2 站经历了“减少—增加—减少—增加”的变化过程,其余站点在 21 世纪初期向稳定增多转变。

从各站夏半年极端降水指标气候倾向率及变化可知(表 4),各站极端降水量倾向率呈增加趋势,其中贵南、门源增加趋势未通过显著性检验,共和通过 0.05 的显著性检验,其余各站通过 0.01 的显著性检验,表明在空间分布上西部增加趋势较东部显著;各

表 3 极端降水事件指标年代际距平

极端降水事件指标	年	托勒	野牛沟	祁连	贵南	共和	门源	天峻	刚察
极端降水量 /mm	1961—1970	-22.07	-25.40	-22.48	4.54	-4.00	-5.70	-24.13	-18.38
	1971—1980	-20.38	2.68	-21.17	-0.33	-4.44	8.48	-5.26	-24.26
	1981—1990	-7.16	-10.91	-25.11	-16.28	9.03	-12.39	-23.81	-2.48
	1991—2000	-4.45	0.54	17.75	7.98	-2.28	-1.64	3.76	-14.93
	2001—2010	7.50	12.39	8.64	7.31	-9.79	6.54	10.39	17.81
	2011—2018	27.15	26.13	14.34	61.74	13.51	14.57	28.58	36.94
极端降水日数/d	1961—1970	-0.99	-1.47	-1.13	0.00	-0.50	-0.14	-1.21	-0.67
	1971—1980	-1.23	-0.07	-1.03	-0.17	-0.10	0.53	-0.57	-1.00
	1981—1990	-0.33	-0.37	-1.13	-0.67	0.50	-0.37	-1.17	0.10
	1991—2000	-0.23	-0.17	0.77	0.23	-0.10	-0.17	0.13	-0.70
	2001—2010	0.47	0.63	0.47	0.33	-0.50	0.33	0.53	0.70
	2011—2018	1.07	1.13	0.77	2.23	0.70	0.23	1.53	1.20
日最大极端降水量 /mm	1961—1970	-4.56	-0.27	-0.08	1.04	-0.39	-2.28	-0.69	-4.41
	1971—1980	-0.84	0.93	-1.48	2.07	-1.92	-3.63	4.71	-1.84
	1981—1990	-1.13	-3.78	-4.01	-0.18	-0.60	-2.40	-0.54	-1.09
	1991—2000	-1.06	2.24	3.42	0.59	-1.03	0.28	1.24	-1.07
	2001—2010	-0.25	1.72	0.25	0.30	0.15	-1.07	-0.95	1.30
	2011—2018	1.51	2.13	2.19	8.85	0.51	6.30	0.46	4.88

站点极端降水日数倾向率同样呈增加趋势,其中门源、共和增加趋势未通过显著性检验,贵南通过0.05的显著性检验,其余各站通过0.01的显著性检验,表明西部极端降水日数增加趋势较东部显著;极端降水强度倾向率变化呈分化特征,东部地区呈降低态势,西部呈增加态势;日最大降水量倾向率,除天峻呈减少态势外,其余各站均呈增加趋势,刚察、门源、托勒增加趋势通过显著性检验。整体来看,极端降水日数、极端降水量、极端降水强度和日最大极端降水量均表现出环青海湖地区的西部区域增加趋势比东部显著的空间变化特征。

表4 夏半年极端降水指标气候倾向率空间变化及显著性统计

	极端降水日数倾向率/(d/10 a)	极端降水量倾向率/(mm/10 a)	极端降水强度倾向率/((mm·d ⁻¹)/10 a)	1日最大极端降水量倾向率/(mm/10 a)
托勒	0.48**	10.3**	2.38	0.96*
共和	0.11	18.2*	-0.03	0.36
天峻	0.52**	9.8**	-0.01	-0.12
祁连	0.53**	10.7**	0.11	0.77
刚察	0.45**	12.8**	0.6	1.88**
野牛沟	0.43**	8.4**	0.03	0.54
贵南	0.47*	11.3	-0.01	1.10
门源	0.02	25.3	0.31	1.34*

注:*指通过0.05的显著性检验(双尾),**指通过0.01的显著性水平检验(双尾)。

2.4 极端降水指标和大气环流指数的关系

近60 a环青海湖地区夏半年极端降水事件各项指标整体呈上升趋势,20世纪90年代—21世纪初极期极端降水事件各项指标发生了明显的突变,2005年以来各项指标上升趋势明显。为进一步研究大气环流指数对环青海湖地区夏半年极端降水指标变化的影响,采用Pearson相关性分析方法分析AAO和WPSH等大气环流指数与环青海湖地区夏半年极端降水指数相关性(表5)。

通过对环青海湖地区夏半年极端降水指标与AO、AAO、NAO、WPSH、SOI、Nino4相关性研究发现(表5),各环流指数与环青海湖地区极端降水指标呈现不同程度的相关性,其中AAO与WPSH相关性最显著($P<0.05$)。除夏半年极端降水强度外,其余指标均与AAO和WPSH呈显著正相关。因此,可以说明环青海湖地区夏半年极端降水量、日最大极端降水量和极端降水日数受AAO和WPSH的影响最

为明显。

表5 环青海湖地区夏半年极端降水指标与大气环流指数相关性分析

	极端降水量	1日最大极端降水量	极端降水频率	极端降水强度	极端降水日数
AO	0.15	0.02	0.10	0.12	0.12
AAO	0.44**	0.31*	0.44**	0.14	0.42**
NAO	-0.11	-0.17	-0.14	0.06	-0.13
WPSH	0.53**	0.43**	0.54**	0.20	0.51**
SOI	0.08	0.09	0.02	0.14	0.06
Nino4	0.19	0.13	0.26*	0.07	0.19

注:*通过0.05显著性检验(双尾),相关性显著;**通过0.01显著性检验(双尾),相关性显著。

基于环青海湖地区夏半年极端降水指标均与AAO和WPSH的强相关性,分析AAO和WPSH变化特征,并结合其累积距平变化曲线可知:AAO呈显著增长趋势,具体表现为,1961—1965年明显下降,1966—2008年波动变化,1996年开始由下降转为上升趋势,且2009年开始上升趋势明显(图5a,表6);WPSH呈显著增长趋势,具体表现为,1961—1977年明显下降,1978—2008年平稳变化,2002年开始由下降转为上升,且2009年开始明显上升(图5b,表6)。

表6 环青海湖地区夏半年极端降水量和AAO、WPSH变化趋势

	极端降水量		AAO		WPSH	
	气候倾向率/(mm/10 a)	平均值	气候倾向率/(10 a)	平均值	气候倾向率/(10 a)	平均值
1961—2006	5.3*	76.3	3.0**	-3.6	23.3**	-36.7
2006—2018	39.0**	107.2	9.3	6.3	146.6*	88.3

注:*通过0.05的显著性检验(双尾),相关性显著;**通过0.01的显著性检验(双尾),相关性显著。

1961—2006年,夏半年极端降水量气候倾向率为5.3 mm/10 a,平均值为76.3 mm;2006—2018年气候倾向率为39.0 mm/10 a,平均值为107.2 mm,表明2006年以来极端降水量增加明显。1961—2006年,AAO每10 a增加3.0,平均值为-3.6;2006—2018年,AAO每10 a增加9.3,平均值为6.3,表明2006年以来AAO增强尤为明显。1961—2006年,WPSH每10 a增加23.3,平均值为-36.7;2006—2018年每10 a增加146.6,平均值为88.3,表明2006年以来WPSH增强显著(图5,表6)。

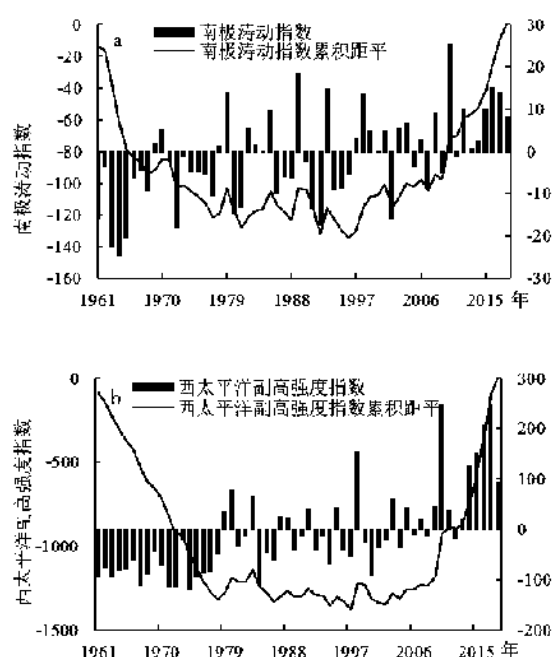


图5 南极涛动指数(a)和西太平洋副高强度指数(b)及其累积距平

3 讨论

研究表明,近 60 a 环青海湖地区夏半年降水量的显著增加,伴随着极端降水事件愈发显著,尤其 21 世纪以来,极端降水事件各项指标上升趋势明显,均在 21 世纪初发生了突变。从极端降水指标和大气环流指数的关系来看,南极涛动和西太平洋副高强度的增强,最终导致了环青海湖地区夏半年极端降水事件的增多。已有研究表明,区域气候的突变及趋势的变化与区域大气环流指数的变化具有密切关系^[36-37]。南半球中高纬度大气异常会通过南极涛动影响到中低纬度马斯克林高压、澳大利亚高压的异常,进一步通过越赤道气流的作用影响东亚夏季风,从而影响北半球副高。南极涛动和西太平洋副高对高原降水的具体影响为,南极涛动增强,在“跷跷板”效应下影响西太平洋副高增强,而西太平洋副高变化与青藏高压相互影响,进而引起高原地区降水模式的变化^[38-39]。自 1960 年以来,受全球气候变暖影响,青海湖周边年降水量上升趋势显著,2001—2010 年青海湖周边年降水量上升趋势显著^[40-41],上述与本研究结果一致。本研究中,2006—2018 年 AAO 和 WPSH 显著增强,相同时段环青海湖地区极端降水量显著增加,表明 AAO 和 WPSH 增强对青藏高原北部地区的环青海湖地区极端降水增加有着一定的影响和联系,但是 AAO 和 WPSH 对环青海湖地区极端降水增加的影响机制还需进一步研究。环青

海湖地区作为全球气候变化的敏感区,后续将在此基础上对环青海湖地区大气环流变化做进一步研究,以期对大气环流变化对青藏高原降水增加的机理有明确的认识。

另外,研究结果表明环青海湖地区夏半年降水量、极端降水量及其各项指标整体呈显著增加趋势,这种近年来的增多趋势一定程度上代表了区域气候变化的特征且表现出短期和长期的周期性特征,但是研究结果具有一定的局限性。伴随着近年来青海湖流域出现河流流量增多、水位抬升、湖泊面积增加以及湖泊水量增多的趋势,在降水量、极端降水量、极端降水强度和极端降水日数均显著增加的变化背景下,后期需要进一步开展极端降水量各项指标的变化与河流径流量、湖泊水位等的关系研究,探索气候变化背景降水量各项指标对青海湖水位和面积的影响以及对流域水资源可能带来的影响。

4 结论

(1) 环青海湖地区夏半年降水量呈显著增加趋势,极端降水事件各项指标整体呈上升趋势。21 世纪初期是环青海湖地区的降水突变期,夏半年降水量(2004 年)、极端降水量(2004 年)、极端降水日数(2004 年)、日最大极端降水量(2006 年)和极端降水事件频率(2004 年)在这一时期均发生了突变。

(2) 环青海湖地区夏半年降水量和极端降水量的周期变化基本同步,均存在 6 a 的短周期和 16 a 左右的长周期,21 世纪以来 6 a 的短周期显著性降低而 16 a 的长周期日趋显著。

(3) 在空间分布上,环青海湖地区极端降水量、极端降水日数的增加趋势西部较东部显著;极端降水强度西部缓慢增强,东部缓慢降低;日最大降水量除天峻站减小外,其余各站均增加。

(4) 南极涛动和西太平洋副高强度增强有利于高原地区降水形成,最终导致高原乃至环青海湖地区夏半年极端降水现象显著增加。

参考文献:

- [1] 翟盘茂,刘静.气候变暖背景下的极端天气气候事件与防灾减灾[J].中国工程科学,2012,14(9):55-63,84.
- [2] 王志福,钱永甫.中国极端降水事件的频数和强度特征[J].水科学进展,2009,20(1):1-9.
- [3] 吴梦雯.中国极端降水的统计分析和个例研究[D].北京:中国气象科学研究院,2016.
- [4] 程诗悦,秦伟,郭乾坤,等.近 50 年我国极端降水时空变化特征综述[J].中国水土保持科学,2019,17(3):155-161.

- [5] 郑小华,刘环,杜丽莉,等.陕西极端降水时空变化特征研究[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(4):9-16
- [6] 韩熠哲,马伟强,王炳赞,等.青藏高原近30年降水变化特征分析[J].高原气象,2017,36(6):48-57.
- [7] 赵金鹏.1961—2016年青藏高原极端气候事件变化特征研究[D].兰州:兰州大学,2019.
- [8] 靳铮,游庆龙,吴芳营,等.青藏高原三江源地区近60a气候与极端气候变化特征分析[J].大气科学学报,2020,43(6):1042-1055.
- [9] 张宇欣,李育,朱耿睿.青藏高原海拔要素对温度、降水和气候型分布格局的影响[J].冰川冻土,2019,41(3):505-515.
- [10] 冀钦,杨建平,陈虹举.1961—2015年青藏高原降水量变化综合分析[J].冰川冻土,2018,40(6):1090-1099.
- [11] 张文纲,李述训,庞强强.青藏高原40年来降水量时空变化趋势[J].水科学进展,2009,20(2):18-26.
- [12] 赵雪雁,王亚茹,张钦,等.近50a青藏高原东部夏半年强降水事件的气候特征[J].干旱区地理,2015,38(4):33-41.
- [13] 曹瑜.青藏高原中东部夏季极端降水特征及其与大尺度环流的关系[D].江苏:南京信息工程大学,2018.
- [14] 杨东,王慧,程军奇,等.近50年青海省气候变化特征及其与ENSO的关系[J].生态环境学报,2013,22(4):5-11.
- [15] 张国胜.青海省气候变化及其对生态环境影响研究[D].北京:中国农业大学,2004.
- [16] 张馨月,邵晓华,王明常,等.青海省近50年极端降水事件时空分布特征[J].世界地质,2017,36(3):363-371.
- [17] 汪宝龙,张明军,魏军林,等.1960—2009年青海省极端降水事件的变化特征[J].水土保持通报,2012,32(4):98-102,323.
- [18] 冯晓莉,刘彩红,祁栋林.青海省汛期极端强降水特征及影响[J].中国农学通报,2016,32(5):125-130.
- [19] 张宁瑾,肖天贵,假拉.1979—2016年青藏高原降水时空特征[J].干旱气象,2018,36(3):373-382.
- [20] 曹生奎,曹广超,陈克龙,等.青海湖流域近50年气温、降水变化特征研究[J].青海师范大学学报(自然科学版),2013,29(2):37-41,47.
- [21] 李晓东,赵慧芳,汪关信,等.流域水热条件和植被状况对青海湖水位的影响[J].干旱区地理,2019,42(3):499-508.
- [22] 丁之勇,鲁瑞洁,刘畅,等.环青海湖地区气候变化特征及其季风环流因素[J].地球科学进展,2018,33(3):281-292.
- [23] 朱宝文,谢启玉.环青海湖地区近50年降水变化特征[J].青海农林科技,2018,112(4):60-64.
- [24] 杨萍,王乃昂,张海峰,等.青海湖地区降水变化趋势和突变分析[J].青海大学学报(自然科学版),2013,31(5):69-73.
- [25] 达鹏奎,张欢,陈晶,等.近58年环青海湖地区不同等级降水量变化特征研究[J].青海科技,2019,26(6):74-79.
- [26] 付博,邓彩群.基于GIS技术的环青海湖地区三维景观模拟及分析[J].吉林建筑工程学院学报,2013,30(5):17-20.
- [27] 薛联青,刘晓群,宋佳佳,等.基于百分位法确定流域极端事件阈值[J].水力发电学报,2013,32(5):26-29.
- [28] 全国气候与气候变化标准化技术委员会.极端降水监测指标:GB/T33669-2017[S].北京:国家气候中心,2017.
- [29] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007.
- [30] 符淙斌,王强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992(4):482-493.
- [31] 符淙斌.气候突变现象的研究[J].大气科学,1994(3):373-384.
- [32] 张秀梅,杨萌,李春景.基于M-K、Morlet小波分析图们江下游降水量[J].延边大学农学报,2014,36(4):285-290,296.
- [33] 覃卫坚,廖雪萍,丘平球,等.Morlet小波分析在广西春季降水分析中的应用[J].贵州气象,2007,191(6):5-9.
- [34] 徐继红.乌鲁木齐河流域60余年降水量的Morlet小波分析[J].水资源开发与管理,2018,26(3):70-72.
- [35] 陈丹,袁华江,张永华,等.1960—2019年沙雅县极端天气的气候特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(4):94-99.
- [36] YOU Q L, KANG S C, ENRIC A, et al. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961—2003[J]. Climate Dynamics, 2011, 36: 2399-2417.
- [37] CHEN Y N, DENG H J, LI B F, et al. Abrupt change of temperature and precipitation extremes in the arid region of northwest China [J]. Quaternary International, 2014, 336: 35-43.
- [38] 卢震宇,苏涛,曾宇星,等.马斯克林高压和澳大利亚高压的变化特征[J].扬州大学学报(自然科学版),2014,17(2):37-43.
- [39] 宋洁,李崇银.南极涛动和北半球大气环流异常的联系[J].大气科学,2009,33(4):847-858.
- [40] 李晓东,肖建设,李凤霞,等.基于EOS/MODIS数据的近10a青海湖遥感监测[J].自然资源学报,2012,27(11):1962-1970.
- [41] 张明,曹学章.青海湖流域近50年气候变化与特征分析[J].新疆环境保护,2016,38(4):6-11.

Spatio-Temporal Characteristics of Extreme Precipitation in Summer Half Year and Its Response to Atmospheric Circulation Factors Around the Qinghai Lake Region

DA Pengkui^{1,2}, BAI Wenjuan^{1,3}, CHEN Jing^{1,4}, LI Xiaodong^{1,5}

(1.Qinghai Provincial Key Laboratory of Disaster Prevention and Reduction, Xining 810001, China;

2.Yushu Tibetan Autonomous Prefectural Meteorological Bureau, Yushu 815000, China;

3.Haidong Meteorological Bureau, Haidong 814000, China;

4.Huangnan Tibetan Autonomous Prefectural Meteorological Bureau, Tongren 811300, China;

5.Qinghai Institute of Meteorological Science, Xining 810001, China)

Abstract This study investigated characteristics of extreme precipitation, atmospheric circulation and its relationship around the Qinghai Lake region in recent 60 years in order to provide evidence to understand variation of water resource in Qinghai-Tibetan plateau. In this paper, spatial and temporal variation of extreme precipitation was analyzed in details based on daily precipitation data from meteorological stations using liner trend analysis method. Precipitation of summer half year, extreme precipitation index increased significantly in recent 60 years around the Qinghai Lake region, especially since 2005. Abrupt change has happened in precipitation in the early 21st century, and most extreme precipitation index in summer half year had abrupt changes in this period. The Antarctic Oscillation Index (*AAO*) and the Western Pacific Subtropical High Intensity Index (*WPSH*) led to an obvious abrupt changes on extreme precipitation and significantly positively correlated with extreme precipitation index. There was a short cycle of 6 years and a long cycle about 16 years in summer half year precipitation and extreme precipitation around the Qinghai Lake region. The increasing trends of extreme precipitation and extreme precipitation days in summer half year are more significant in the west than in the east around the Qinghai Lake region.

Key words extreme precipitation in summer half year; mutation; cycle; spatial and temporal variation; Qinghai Lake region