

韩雪云,姚俊强,赵丽,等.1901—2017年中亚五国气候特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(6):1-8.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.06.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



1901—2017年中亚五国气候特征分析

韩雪云^{1,3},姚俊强^{2,3},赵丽^{4*},张倩⁴,曹孟磊⁵,张同文²,张连成¹

(1.新疆气候中心,新疆 乌鲁木齐 830002;2.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;

3.中亚大气科学研究中心,新疆 乌鲁木齐 830002;4.新疆信息工程学校,新疆 乌鲁木齐 830013;

5.乌鲁木齐气象卫星地面站,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:在全球变暖背景下,区域气候变化存在较大差异。本文基于CRU发布的中亚干旱区逐月气候数据序列,分析1901—2017年中亚五国气候变化的特征及区域差异,得出以下结论:中亚地区平均气温升温显著,自1988年突变升温以来升温幅度达0.37℃/10a,21世纪为最暖时期。四季平均气温差异明显,春、冬季平均气温升温幅度最大。平原区升温幅度较山区高0.05℃/10a。最高气温增幅最小,最低气温增幅最大,夏季最低气温增幅为最高气温的近2倍。高山区最高气温增速较平原区缓。中亚地区年降水量总体呈增加趋势,突变后增幅较之前增加了2倍多。受西风带、地中海气候影响,高大山体阻挡,降水量自北向南递减。1901—2017年四季降水量均呈增加趋势,春、冬季为降水量高值期,增速也相对较大。降水日数总体呈微弱增加趋势,各国变化差异明显。

关键词:中亚地区;气候变化;气温;降水;特征分析

中图分类号:P468

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2021)06-0001-08

全球气候正呈现以变暖为主要特征的显著变化,但区域气候变化对全球变暖的响应存在较大差异^[1-2],亚洲中部干旱区是全球最大的非地带性干旱区,气候系统异常敏感^[3]。研究认为,1998年以来这一地区的气温一直处于高位态波动状态,较其之前的30a平均温度升高了1.0℃,中亚干旱区百年来气温变化幅度均大于我国东部和全球平均^[4];年降水呈增加趋势,水汽源地分别是地中海、大西洋和北冰洋^[5-6],亚洲中部西风带控制区在现代间冰期从数千年到年代际的各个时间尺度上均存在不同于季风区的湿度(降水)变化模式^[7]。中亚地区山盆交错与

绿洲荒漠镶嵌的地表因素影响造成了气候变化强烈的空间异质性^[8],且气象站点稀疏,分布不均^[9]。研究中亚干旱区的气候变化无疑具有重要的现实意义和科学价值,能加深对全球气候变化地区性差异的了解。本文利用CRU完整长序列格点数据,按月、季、年尺度对相关气候要素进行分析,进一步揭示在全球气候变暖的大背景下,中亚地区气候变化规律。

1 研究区概况

中亚地区涵盖了哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、土库曼斯坦和乌兹别克斯坦5个国家,总面积近4.0×10⁶ km²,研究区中沙漠面积超过1.06×10⁶ km²,占该地区总面积的1/4以上。研究区地势总体上东南高、西北低,从土库曼斯坦和哈萨克斯坦西部的里海地区向东部山区逐渐升高^[9]。哈萨克斯坦境内多为平原和低地,里海沿岸低地向南朝里海方向逐渐下降,最低点卡拉基耶盆地,向南又逐渐升高,东部和东南部是有着崇山峻岭和山间盆地的山

收稿日期:2020-09-30;修回日期:2021-06-30

基金项目:国家自然科学基金(41975095);新疆气象局中亚大气科学研究基金(CAAS202008);自治区自然科学基金(2021D01B83)

作者简介:韩雪云(1987—),女,高级工程师,主要从事气候变化研究。E-mail: hanxueyun@126.com

通信作者:赵丽(1987—),女,工程师,主要从事气候变化及教学。E-mail: zhaol8782@163.com

地;吉尔吉斯斯坦 94%的地区海拔都高于 1 000 m, 40%的地区海拔高于 3 000 m,低地仅占国土面积的 15%^[10];塔吉克斯坦是中亚最小的国家,境内山地和高原占 90%,一半以上的国土面积海拔都在 3 000 m 以上,有“高山国”之称,只有不足 7%的可耕地;土库曼斯坦全境大部是低地,平原多在海拔 200 m 以下,其国土面积的 80%为卡拉库姆大沙漠所覆盖,绿洲面积仅占 7%,水资源也较为短缺,是世界上最早干旱的地区之一^[11];乌兹别克斯坦平原低地占全境面积的 80%,大部分位于西北部的克孜勒库姆沙漠,境内有自然资源极其丰富的肥沃谷地。

中亚地区内陆平原大部为西风带气候区和中亚地中海气候区所覆盖,二者气候特征存在明显的差异。在中亚北部的西风带控制区,降水少,季节分布比较均匀。中亚中南部属于准地中海气候区,水—热季节配置反位向,降水集中在冷季,低温多雨,暖季高温少雨^[12]。且山地区受山地效应的作用,降水有明显的垂直地带性^[9]。

2 数据与方法

2.1 数据说明

本文使用的观测资料为英国 East Anglia 大学提供的 Climate Research Unit(简称“CRU”)^[13],CRU 高分辨率格点化数据集是目前气候研究中使用最为广泛的近地面气候数据集之一,该数据集是经过将气象站点资料插值到经纬网格点上而获得的,通过整合已有的若干知名数据库,重建了一套覆盖完整、高分辨率、且无中断的地表气候要素数据集^[14],可信度较高。该数据集在全球气候变化的科学研究中被广泛采用^[15-18],中亚气候变化及相关领域研究中也得到了很好的应用^[19-26]。中亚地区站点稀少,长序列的站点资料有限,学术团队也对资料的时间尺度适用性做相应的检验^[2],肯定了中亚干旱区 1930 年之前的 CRU 资料可信度低。本文使用最新更新的月平均地表要素 CRU CY 4.02 数据集,该数据集时间序列为 1901 年 1 月—2017 年 12 月,其中涵盖了 10 种气候变量。选取了平均温度、最高气温、最低气温、温度日较差、降水、降水日数作为研究对象。春季为当年 3—5 月,夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月,冬季为当年 12 月—次年 2 月。

2.2 方法

2.2.1 趋势分析方法

采用线性趋势分析方法对 1901—2017 年气温、降水等要素的变化趋势进行分析,并对结果进行显

著水平 t 检验。

用 x_i 表示样本量为 n 的某一气候变量,用 t_i 表示 x_i 所对应的时间,建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归方程^[27-28]:

$$x_i = a + bt_i, \quad i = 1, 2, 5 \dots, n \quad (1)$$

方程可看作一种特殊的、最简单的线性回归形式。公式中 a 为回归常数; b 为回归系数,表示气候变量 x 的趋势倾向。当 $b > 0$ 时,说明随时间 t 的增减 x 呈上升趋势,反之亦然。 b 值的大小反映了上升或下降的速率,即表示上升或下降的倾向程度。

2.2.2 Mann-Kendall 法

采用 Mann-Kendal 法对中亚地区气温、降水等的趋势和突变特征进行分析。Mann-Kendal 检验法是世界气象组织推荐并已广泛使用的非参数检验方法,已被广泛应用于气候和水文序列的趋势分析和突变检验。该方法通过计算统计量 Z 值来检测时间序列的变化趋势, $Z > 0$ 反映增加趋势, $Z < 0$ 反映减小趋势,具体算法参见文献^[27]。该方法检测到的突变为“均值突变”,它反映的是序列特征平均值的变化^[29]。

3 结果分析

3.1 中亚地区年内气候特征

中亚五国年内各月平均气温变化大体一致(图 1),最热月均为 7 月,温度高值差异大,高值到低值国家分别是土库曼斯坦(29.1 °C)、乌兹别克斯坦(24.9 °C)、哈萨克斯坦(23.5 °C)、吉尔吉斯斯坦(14.9 °C)、塔吉克斯坦(14.4 °C);最低气温除乌兹别克斯坦(-3.5 °C)出现在 2 月,其他国家均出现在 1 月,最冷月吉尔吉斯斯坦气温最低,为 -14.1 °C,其次为哈萨克斯坦(-12.0 °C),塔吉克斯坦(-11.5 °C),土库曼斯坦最冷月最低气温仍在 0 °C 以上(1.1 °C)。五国年内降水量分布差异显著,乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、塔吉克斯坦分布型大致相同,但量的差别较大:降水量最大为 3 月(76.4、33.7、27.8 mm),8 月最少(1.7、1.8、1.6 mm);吉尔吉斯斯坦相对滞后,降水量最大在 5 月(58.7 mm),最少在 9 月(10.8 mm);哈萨克斯坦与其他国家不同,降水分布相对较均匀,降水量月最大、最小值差别不大,最大值出现在 5 月(25.3 mm),最小值在 9 月(14.4 mm)。

乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦、土库曼斯坦、塔吉克斯坦气温和降水量的最大、最小值并不是同时出现,降水量的最大值早于气温的最大值,降水集中度较高,当一年中气温最高时,降水量反而最小,典

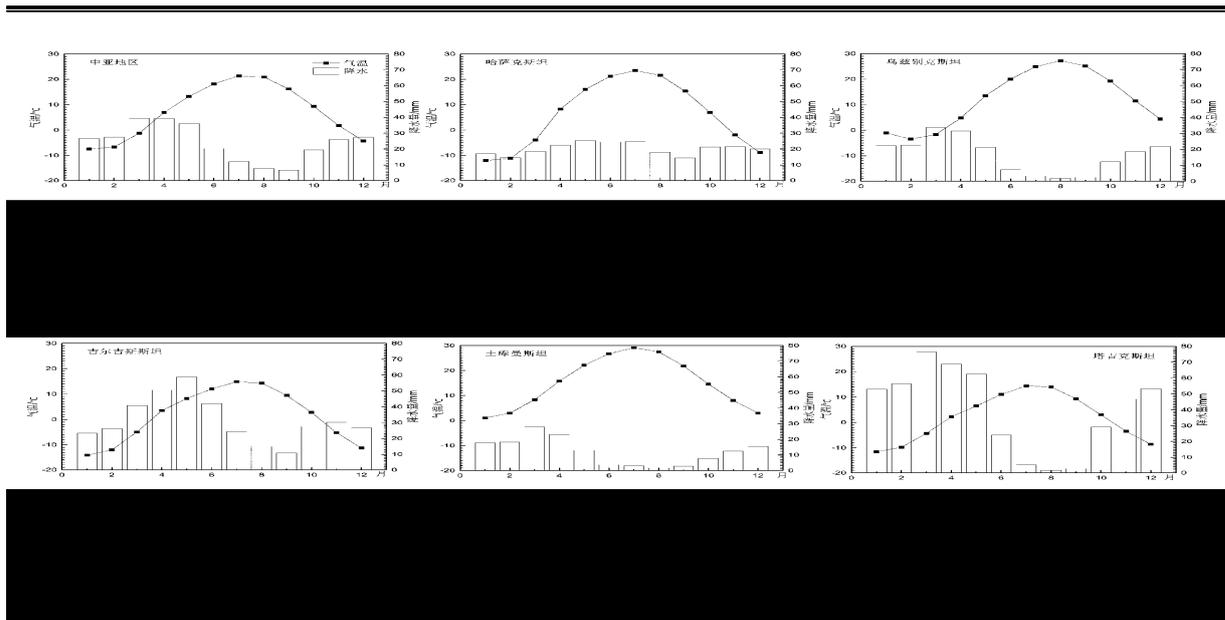


图1 中亚五国气温和降水的年内变化

型的夏季炎热干燥,春冬季低温少雨。吉尔吉斯斯坦时间稍有滞后,但整体相似。哈萨克斯坦季节分布相对较均匀,降水年内分配相对较均匀,气候特点符合夏热冬寒,全年干旱少雨。

3.2 中亚地区气温变化特征

3.2.1 中亚地区平均气温变化特征

1901—2017年,中亚地区年平均气温变化如图2所示。中亚地区年平均气温总体呈升温趋势,多年平均值为7.3℃,变化趋势为0.15℃/10a($P < 0.01$),其中1951—2017年为0.29℃/10a($P < 0.01$),较亚洲同期变化趋势(0.23℃/10a)大^[30],1988年突变升温,1988—2017年平均气温变化趋势为0.37℃/10a。平均气温最大值发生在2016年,为9.1℃,最小值发生在1934年,为5.8℃。1901—2017年平均气温排序前20位中有15a都发生在21世纪,为最暖时期。

中亚地区平均气温在20世纪前30年为下降期(图2c、表1),20世纪40年代开始上升,进入50年代气温下降,60—70年代为缓慢波动上升时期,20世纪80年代—21世纪初快速升温,至今呈高位波动升温,中亚地区经历了缓慢—快速—缓慢—快速的升温时期。2011—2017年平均气温较1901—1910年增加了约1.6℃,自20世纪60年代开始表现出明显持续升温,20世纪80年代以后这种升温趋势远远超过了显著性水平($P < 0.01$)。由表1可知,20世纪70年代开始中亚五国平均气温一致表现为升高趋势,20世纪90年代为升温的峰值时期,持续升

表1 中亚地区平均气温年代际变化趋势

年	乌兹别克斯坦 /(℃/a)	哈萨克斯 坦 /(℃/a)	吉尔吉 斯斯坦 /(℃/a)	塔吉克 斯坦 /(℃/a)	土库曼 斯坦 /(℃/a)	平均 /(℃/a)
1901—1910	0.00	-0.03	0.07	0.02	-0.03	0.01
1911—1920	-0.11	-0.06	-0.12	-0.12	-0.06	-0.09
1921—1930	-0.11	-0.14	-0.09	-0.08	-0.12	-0.11
1931—1940	0.18	0.12	0.16	0.13	0.21	0.16
1941—1950	-0.18	-0.05	-0.17	-0.17	-0.17	-0.15
1951—1960	0.01	-0.05	0.03	0.01	0.00	0.00
1961—1970	-0.09	-0.17	-0.07	-0.03	-0.07	-0.09
1971—1980	0.08	0.04	0.11	0.09	0.08	0.08
1981—1990	0.04	0.00	0.03	0.03	0.06	0.03
1991—2000	0.14	0.11	0.14	0.13	0.17	0.14
2001—2010	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
2011—2017	0.05	0.12	0.05	0.03	0.04	0.06

温使得21世纪为最暖时期。

中亚五国年平均气温由低到高依次为吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦。中亚五国年平均气温总体均呈上升趋势,变化趋势在0.12~0.17℃/10a($P < 0.01$),哈萨克斯坦变率最大,塔吉克斯坦变率最小,平原区升温幅度较山区高0.05℃/10a。哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦年平均气温在1986年左右突变升温,土库曼斯坦年平均气温在1981年开始显著升高,较其他区域提前5年显著

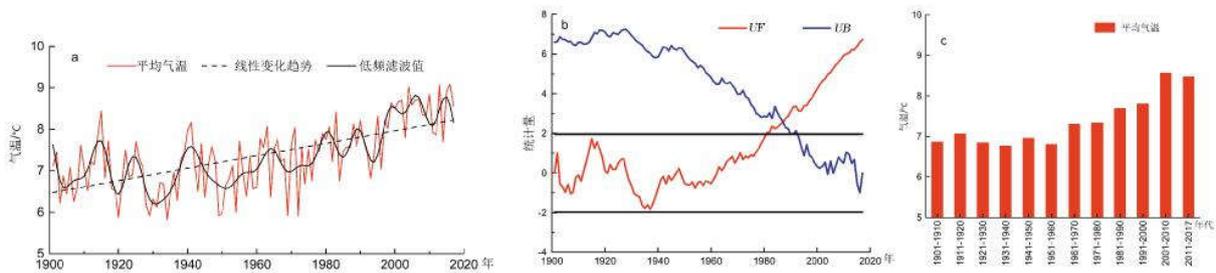


图2 CRU资料表征的中亚地区平均气温的演变(a)、突变(b)和年代际均值变化(c)

升温。中亚各国 1961—2017 年平均气温的升温速率较高，除哈萨克斯坦外均较 1901—2017 年的升温速率高出 1 倍(表 2)。

表 2 中亚地区气温相关要素变化

要素	年	哈萨克斯 坦	吉尔吉斯 斯坦	塔吉克 斯坦	土库曼 斯坦	乌兹别 克斯坦
平均 气温	平均值/℃	6.2	1.5	1.9	21.5	12
	速率/(℃/a) 1901—2017	0.017	0.016	0.012	0.014	0.015
	速率/(℃/a) 1961—2017	0.029	0.03	0.025	0.029	0.03
最高 气温	平均值/℃	12.1	7.7	7.9	15.1	18.3
	速率/(℃/a) 1901—2017	0.15	0.011	0.007	0.014	0.014
	速率/(℃/a) 1961—2017	0.027	0.023	0.019	0.027	0.029
最低 气温	平均值/℃	0.4	-4.8	-4.1	8.8	5.8
	速率/(℃/a) 1901—2017	0.19	0.022	0.017	0.015	0.016
	速率/(℃/a) 1961—2017	0.031	0.036	0.031	0.031	0.03
气温 日较 差	平均值/℃	11.7	12.5	12	12.7	12.6
	速率/(℃/a) 1901—2017	-0.043	-0.011	-0.01	-0.001	-0.002
	速率/(℃/a) 1961—2017	-0.004	-0.013	-0.012	-0.004	-0.001

中亚地区四季平均气温均呈上升趋势，春、冬季变化趋势较大，分别为 0.19 ℃/10 a ($P < 0.01$)、0.17 ℃/10 a ($P < 0.01$)，夏、秋季较小，在 0.12~0.13 ℃/10 a ($P < 0.01$)。春、秋季平均气温相近，大致在 7.7 ℃，夏季平均气温高达 20.5 ℃，冬季在 -6.6 ℃，四季气温差异明显。

5 个国家中哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦春季平均气温变化趋势最大，在 0.25~0.19 ℃/10 a ($P < 0.01$)，吉尔吉斯斯坦平均气温冬季升温趋势最大为 0.20 ℃/10 a ($P < 0.01$)，夏季最小；塔吉克斯坦夏、秋季变化趋势微弱，春、冬季较其他国家偏低，为 0.10~0.11 ℃/10 a ($P < 0.01$)。

3.2.2 中亚地区最高气温变化特征

中亚地区多年平均最高气温为 13.5 ℃，最高气

温以 0.12 ℃/10 a ($P < 0.01$) 增加(图 3a)，低于平均气温的变化趋势，与平均气温年代际变化一致。1931—2017 年升温速率为 0.20 ℃/10 a ($P < 0.01$)，近 30 a 为气温高值期，较 20 世纪初升温近 1.3 ℃。最高气温在 20 世纪前半叶为下降时期(-0.04 ℃/10 a)，20 世纪 60 年代至今持续升高，1961—2017 年升温速率为 0.25 ℃/10 a ($P < 0.01$)，除哈萨克斯坦外，其余各国最高气温为整个时期升温速率的 2 倍。

乌兹别克斯坦最高气温最大，吉尔吉斯斯坦最小；哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦最高气温变化趋势较大(0.14~0.15 ℃/10 a)，吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯相对较小，可见靠近大型山脉相对于平原区升温较为缓慢。

中亚地区四季最高气温均呈升高趋势，春、冬季变化趋势较大，分别为 0.17、0.15 ℃/10 a，而夏、秋季相对较缓(0.08、0.10 ℃/10 a)，最高气温四季变化趋势较平均气温四季变化趋势小。

5 个国家中春季最高气温升温较大的哈萨克斯坦增速可达 0.24 ℃/10 a，除吉尔吉斯斯坦外，其他国家增速均 > 0.16 ℃/10 a。夏季哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦最高气温增速最小为 0.07~0.08 ℃/10 a，其他国家在 0.11~0.13 ℃/10 a；秋季塔吉克斯坦最高气温增速最大，为 0.18 ℃/10 a，其他国家均在 0.1 ℃/10 a 左右；冬季哈萨克斯坦、塔吉克斯坦升温速率较高为 0.18~0.19 ℃/10 a，其他国家在 0.14~0.16 ℃/10 a。

3.2.3 中亚地区最低气温变化特征

中亚地区多年平均最低气温为 1.2 ℃，最低气温以 0.18 ℃/10 a ($P < 0.01$) 升温(图 3b)，高于平均气温的升温速率，与平均气温年代际变化一致。1931—2017 年最低气温升温速率为 0.26 ℃/10 a ($P < 0.01$)。最低气温在 20 世纪前半叶表现为波动下降，幅度较弱(-0.02 ℃/10 a)，20 世纪 60 年代至今持续升高，1961—2017 年升温速率为 0.32 ℃/10 a ($P < 0.01$)，升温显著。近 20 a 比 20 世纪初平均最低

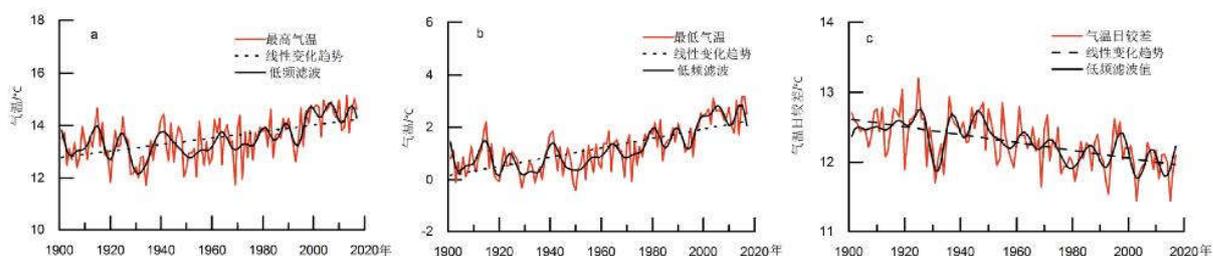


图3 中亚地区最高(a)、最低气温(b)和气温日较差(c)变化特征

气温高 1.9 °C。

塔吉克斯坦最低气温最低(-4.1°C),其他四国最低气温均在 0 °C以上;哈萨克斯坦和吉尔吉斯斯坦最低气温上升速率较大(0.19、0.22 °C/10 a),土库曼斯坦升温速率最小(0.14 °C/10 a)。

中亚地区四季最低气温均呈升温趋势,春、冬季升温速率较大,分别为 0.20、0.19 °C/10 a;夏、秋季升温相对较高(0.15、0.17 °C/10 a),接近最高气温夏、秋季升温幅度的 2 倍,最低气温四季升温速率较平均气温四季变化趋势大。

5 个国家中春季最低气温升温幅度较大的哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦,变化趋势可达 0.26、0.22 °C/10 a,塔吉克斯坦增速最小,为 0.14 °C/10 a。夏季塔吉克斯坦最低气温升温幅度最小,其他 4 个国家升幅均在 0.16~0.18 °C/10 a。秋季吉尔吉斯斯坦升幅最大,为 0.22 °C/10 a;冬季哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦最低气温升温幅度较大,达 0.23、0.25 °C/10 a。

3.2.4 中亚地区气温日较差变化特征

中亚地区最低气温的持续显著升温,且高于最高气温升温幅度,使得气温日较差逐渐变小。多年平均气温日较差为 12.3 °C,总体呈减少趋势,变化趋势为-0.06 °C/10 a(图 3c),自 20 世纪 80 年代以来持续减小,较 20 世纪初气温日较差减少了 0.6 °C。不同区域变化有所不同,年平均气温日较差在 11.7~12.7 °C,最低气温升幅较大的塔吉克斯坦气温日较差减幅相对明显,为-0.1 °C/10 a,吉尔吉斯斯坦最高气温升温较小,最低气温升幅较大,其日较差减幅也较明显;其他国家变率较小,减幅在 0.005~0.02 °C/10 a,最低气温增幅最小的土库曼斯坦气温日较差变率最小(-0.005 °C/10 a)。

中亚地区四季气温日较差变化呈弱的减少趋势,在-0.07~-0.04 °C/10 a,夏季气温日较差最大,达 14.7 °C,冬季最小,为 9.5 °C。8、9 月气温日较差最大,12 月最小。哈萨克斯坦冬季最低气温升温速率高于最低气温升温速率,其冬季气温日较差减幅最

大,春季最高气温和最低气温增幅相差较小,因此春季气温日较差减幅最小。吉尔吉斯斯坦春季减幅最小,塔吉克斯坦夏、秋季较大,冬、春季较小。土库曼斯坦春、冬季气温日较差略微增加,夏、秋季略微减少,总体变化不大。乌兹别克斯坦夏、秋季微弱减小趋势,冬、春季微弱增加趋势。

3.3 中亚地区降水变化特征

3.3.1 中亚地区降水量变化特征

五国年降水量差异较大,降水量最大的区域在塔吉克斯坦,其次为吉尔吉斯斯坦,2 个国家均有高大山系可拦截水汽,降水量自北向南递减。图 4 给出了中亚地区 1901 年以来年降水量变化。中亚地区年降水量总体呈增加趋势(图 4a),多年平均降水量为 288.6 mm,1901—2017 年增速为 3.8 mm/10 a ($P < 0.05$),1961—2017 年增速为 5.1 mm/10 a ($P < 0.05$)。1901—1950 年降水总体呈波动减少趋势,平均每 10 a 减少 3.4 mm,20 世纪 50—20 世纪 80 年代初为显著增加时期,降水量最大年份为 1969 年的 443 mm,降

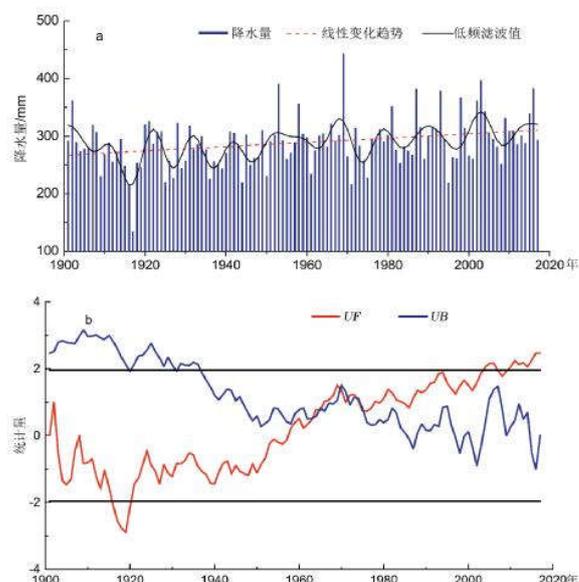


图4 CRU 资料表征的中亚地区年降水量的演变(a)、突变(b)

水量最小值大多发生在20世纪初。21世纪以来降水量年代际均值为历史最高时期,较上世纪初增加近20 mm。由M-K曲线可以得出,没有明确的突变点(图4b),自20世纪50年代起降水量开始不断增加,20世纪50—70年代降水量增幅较大,自此以后仍在增加,但增幅相对较缓。

降水量增率最大的是塔吉克斯坦,达8.0 mm/10 a,吉尔吉斯斯坦增加速率也较大,为4.6 mm/10 a,增速最小的是哈萨克斯坦和土库曼斯坦,降水量增加速率仅有1.5 mm/10 a左右(表3)。降水量在各时期变化不同,比较1901—2017年与1961—2017年降水量变化,除土库曼斯坦呈减小趋势外,其他各个国家降水量增加趋势显著,对整个时期的增率贡献较大。

表3 中亚地区降水相关要素变化特征

要素	年	哈萨克斯坦	吉尔吉斯斯坦	塔吉克斯坦	土库曼斯坦	乌兹别克斯坦	
降水量	平均值/mm	242.5	376.4	479.6	146.4	198.2	
	速率/(mm/a)	1901—2017	0.15	0.46	0.80	0.16	0.31
	速率/(mm/a)	1961—2017	0.34	0.95	1.01	-0.17	0.43
降水日数	平均值/mm	92.4	105.1	87.1	46.1	59.8	
	速率/(mm/a)	1901—2017	-0.04	0.04	0.03	-0.01	0.00
	速率/(mm/a)	1961—2017	-0.22	-0.05	-0.09	-0.17	-0.14

中亚地区降水量主要集中在春、冬季,夏、秋季降水量相对较小。四季降水量1901—2017年均呈增加趋势,春、冬季为降水量高值期,也是增速相对较大时期(1.2、1.5 mm/10 a),夏季降水量最少,仅有40.0 mm,增加趋势最小为0.07 mm/10 a。

5个国家中,哈萨克斯坦四季降水量分布较均匀,在51.6~67.3 mm,降水量无明显季节差异,春、夏季相对较多,春季降水量增加幅度较大(0.7 mm/10 a)。吉尔吉斯斯坦春季降水量最大,为149.92 mm,最少出现在秋季,为68.59 mm,但就增幅来说,冬季增幅最大,为1.79 mm/10 a,其次为秋季的1.15 mm/10 a,夏季增幅最小。乌兹别克斯坦冬、春季降水量最大分别为86.4、66.9 mm,最小值为夏季的12.2 mm,春、秋、冬季增幅约为1.0 mm/10 a。塔吉克斯坦、土库曼斯坦四季降水量变化基本一致,表现为:春、冬季降水量最大,夏季最小,但塔吉克斯坦季节降水量较土库曼斯坦多出3倍多,冬、春、秋

季降水均呈增加趋势,塔吉克斯坦最大增幅在冬季,为3.4 mm/10 a,是土库曼斯坦增幅(0.8 mm/10 a)的4倍多,而夏季降水量均呈现出略微减少趋势,塔吉克斯坦夏季降水量减少趋势较土库曼斯坦高出2倍,为-0.16 mm/10 a。

3.3.2 中亚地区降水日数变化特征

中亚地区降水日数总体呈微弱增加趋势,多年平均降水日数为78 d(图5a),1901—2017年增速仅有0.05 d/10 a。20世纪60年代前,降水日数呈减少趋势,20世纪60—90年代降水日数增加,20世纪90年代中后期至今持续减少。由M-K曲线可以看出,降水日数波动起伏,未发生明显突变(图5b),主要高值区在20世纪50—90年代,20世纪80年代降水日数最多,20世纪20年代降水日数最少。1961—2017年降水日数均呈减少趋势(表3),且幅度较大,与整个时期降水日数变化呈现出相反趋势、减速更大。

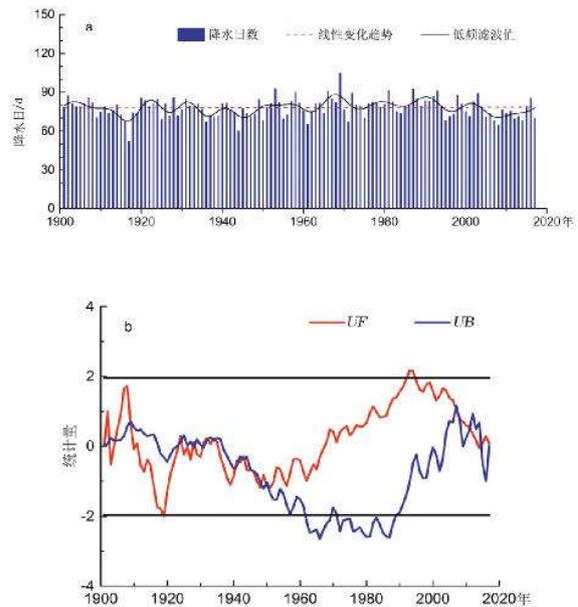


图5 CRU资料表征的中亚地区年降水日数的演变(a)和突变(b)

五国降水日数差异较大,降水日数最多的是吉尔吉斯斯坦(105 d),最少的土库曼斯坦仅有46 d。吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦降水日数呈增加趋势,增幅在0.3~0.4 d/10 a,哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦和土库曼斯坦降水日数呈减少趋势,哈萨克斯坦减少幅度为0.4 d/10 a,其他2个国家减幅微弱,不足0.1 d/10 a。

4 结论

本文通过 CRU 发布的中亚干旱区气候数据序列,分析了 1901—2017 年中亚五国气候变化的特征,得出以下结论:

(1)中亚地区气温升高显著。1901—2017 年中亚地区气温总体呈增加趋势,20 世纪 70 年代开始中亚五国平均气温一致表现为升高趋势,20 世纪 90 年代为升温的峰值时期,持续升温使得 21 世纪为最暖时期。除哈萨克斯坦外,其他 4 国均较整个时期的升温速率高出 1 倍。中亚地区四季分明,气温均呈增加趋势,春、冬季增幅较大,夏、秋季较小。5 个国家中处在偏北位置的哈萨克斯坦气温增幅最大,素有“山地之国”之称的塔吉克斯坦升温幅度最小。除吉尔吉斯斯坦冬季升温速率最大外,其他 4 个国家升温速率均在春季为最大。

(2)最低气温升温速率最大,气温日较差减小。中亚地区最高气温升温速率低于平均气温,与平均气温年代际变化一致,20 世纪 60 年代至今持续升高。最高气温四季升温速率均较平均气温四季增速小。5 个国家中靠近大型山脉的吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦最高气温增速较平原区国家平缓。最低气温升温速率高于平均气温,20 世纪 60 年代至今持续显著升高。哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦最低气温年升温速率最大,2 国在升温明显的春、冬季增速较大。

中亚地区气温日较差自 20 世纪 80 年代以来持续减小,吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦气温日较差减幅相对明显,其他国家变率较小。中亚地区四季气温日较差变化均呈弱的减小趋势。

(3)降水量增加,降水日数变化差异大。中亚地区年降水量总体呈增加趋势,突变后增幅较之前增加了 2 倍多。受西风带气候和地中海气候影响,加之高大山体阻挡,五国年降水量差异较大,降水量自北向南递减。四季降水量均呈增加趋势,春、冬季为降水量高值期,也是增速相对较大时期。5 个国家中,哈萨克斯坦四季降水量分布较均匀,其他国家春、冬季降水量最大,夏季降水量均呈略微减少趋势。

中亚地区降水日数总体呈微弱增加趋势。从年代际变化来看,降水日数波动起伏不大。五国降水日数差异较大,吉尔吉斯斯坦降水日数最多。吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦降水日数呈增加趋势,其他各国降水日数呈减少趋势。

参考文献:

[1] 张世轩,张璐,孙树鹏,等.全球变暖情况下中国季节的变化[J].高原气象,2011,30(3):659-667.

- [2] 陈发虎,黄伟,靳立亚,等.全球变暖背景下中亚干旱区降水变化特征及其空间差异[J].中国科学:地球科学,2011,41(11):1647-1657.
- [3] CHEN F H, WANG J S, JIN L Y, et al. Rapid warming in mid-latitude central Asia for the past 100 years[J]. *Front Earth Sci China*, 2009, 3: 42-50.
- [4] 王劲松,陈发虎,张强,等.亚洲中部干旱半干旱区近 100 年来的气温变化研究[J].高原气象,2008(5):1035-1045.
- [5] 陈发虎,陈建徽,黄伟.中纬度亚洲现代间冰期气候变化的“西风模式”讨论[J].地学前缘,2009,16(6):23-32.
- [6] 李如琦,唐治,阿不力米提江·阿不力克木,等.中亚五国暴雨分布及其环流特征 [J]. 沙漠与绿洲气象,2019,13(1):1-7.
- [7] LIUBINTSEVA E, COLE R. Uncertainties of climate change in arid environments of Central Asia[J]. *Reviews in Fisheries Science*, 2006, 14(1-2):29-49.
- [8] LIUBINTSEVA E, COLE R, ADAMSB J M, et al. Impacts of climate and land-cover changes in arid lands of Central Asia [J]. *Journal of Arid Environments*, 2005, 62(2):285-308.
- [9] 胡汝骥,姜逢清,王亚俊,等.中亚(五国)干旱生态地理环境特征[J].干旱区研究,2014,31(1):1-12.
- [10] 吴森,张小云,王丽贤,等.吉尔吉斯斯坦水资源及其利用研究[J].干旱区研究,2011,28(3):455-462.
- [11] 张喆,丁建丽,鄯雪英,等.基于温度植被干旱指数的土库曼斯坦典型绿洲干旱遥感监测 [J]. 生态学杂志,2013,32(8):2172-2178.
- [12] 戴新刚,汪洋.亚洲中部干旱气候研究综述与机理分析 [J].沙漠与绿洲气象,2020,14(1):1-12.
- [13] HARRIS I, JONES P D, OSBORN T J, et al. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations the CRU TS3.10 Dataset [J]. *International Journal of Climatology*, 2014, 34(3):623-642.
- [14] 闻新宇,王绍武,朱锦红,等.英国 CRU 高分辨率格点资料揭示的 20 世纪中国气候变化[J].大气科学,2006(5):894-904.
- [15] 季飞,黄建平,管晓丹,等.北美和欧亚大陆冬季快速升温与地表干湿变化[J].气候变化研究进展,2012,8(6):440-447.
- [16] 蒋贤玲,马柱国,巩远发.全球典型干湿变化区域水汽收支与降水变化的对比分析[J].高原气象,2015(5):1279-1291.
- [17] 陈姣,张耀存.气候变化背景下陆地极端降水和温度变化区域差异[J].高原气象,2016,35(4):955-968.
- [18] 黄菱芳,陈海山,郑旭程,等.欧亚大陆夏季地表热力异常与同期中国东部夏季降水的可能联系[J].气候与环境研究,2015,20(6):620-634.
- [19] 徐婷,邵华,张弛.近 32a 中亚地区气温时空格局分析

- [J].干旱区地理, 2015, 38(1): 25-35.
- [20] 程志刚, 张渊萌, 徐影. 基于 CMIP5 模式集合预估 21 世纪中国气候带变迁趋势[J]. 气候变化研究进展, 2015, 11(2): 93-101.
- [21] 吴昊旻, 黄安宁, 何清, 等. 北京气候中心气候模式 1.1 版预估中亚地区未来 50 年地面气温时空变化特征[J]. 气象学报, 2013, 71(2): 261-274.
- [22] 吴燕锋, 赵海珍, 巴特尔·巴克, 等. 塔吉克斯坦瓦赫什河流域干湿演变特征[J]. 干旱区研究, 2015, 32(4): 644-650.
- [23] 许崇海, 沈新勇, 徐影. IPCC AR4 模式对东亚地区气候模拟能力的分析 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(5): 287-292.
- [24] 黄伟, 吴娴, 陈建徽, 等. 中亚干旱区降水准两年周期振荡及突变特征[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(6): 448-455.
- [25] 张瑞波, 袁玉江, 魏文寿, 等. 树轮记录的吉尔吉斯斯坦东部过去百年干湿变化 [J]. 干旱区地理, 2013, 36(4): 691-699.
- [26] 姚俊强, 刘志辉, 杨青, 等. 近 130 年来中亚干旱区典型流域气温变化及其影响因子[J]. 地理学报, 2014, 69(3): 291-302.
- [27] 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.
- [28] 黄嘉佑. 气象数据统计分析方法[M]. 北京: 气象出版社, 2014.
- [29] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.
- [30] 中国气象局气候变化中心. 2018 年中国气候变化蓝皮书[R]. 2018.

Climate Characteristics of Five Central Asian Countries During 1901-2017

HAN Xueyun^{1,3}, YAO Junqiang^{2,3}, ZHAO Li⁴, ZHANG Qian⁴, CAO Menglei⁵,
ZHANG Tongwen², ZHANG Liancheng¹

(1. Xinjiang Climate Centre, Urumqi 830002, China;

2. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China;

3. Central Asian Center for Atmospheric Science Research, Urumqi 830002, China;

4. Xinjiang School of Information Engineering, Urumqi 830013, China;

5. Urumqi Meteorological Satellite Ground Station, Urumqi 830011, China)

Abstract Under the global warming climate change, there are large differences in the regional climate change. This paper analyzes the characteristics and regional differences of climate change in five Central Asian countries during 1901-2017 based on the monthly climate data series of Central Asian arid zones published by CRU. The conclusions are as follows: the average temperature rose significantly in Central Asian, the warming rate reached 0.37 °C/10 a since the mutation warming in 1988, and the 21st century was the warmest period. The average temperature in four seasons had an obvious difference that showed a larger increase in spring and winter. The temperature rise in plain areas was 0.05 °C/10 a higher than that in mountainous areas. The maximum temperature increased the least, the minimum temperature the most, and the summer minimum temperature increased nearly twice as much as the maximum temperature. The increase rate of maximum temperature in high-mountain areas is slower than that in plains. The annual precipitation in Central Asia shows an increasing trend, which is more than 2 times after the abrupt change. Under the influence of westerly and Mediterranean climate, combined with the block of mountains, the precipitation decreases from north to south. Precipitation shows an increasing trend in all seasons from 1901 to 2017, there is higher precipitation in spring and winter, which also shows a relatively higher growth rate. The overall trend of precipitation days is slightly increasing, with significant variation among countries.

Key words Central Asia; climate change; temperature; precipitation; characteristics analysis