

李红军,李淑娟,陈静,等.20世纪上半叶塔里木河流域夏季干湿的演变特征[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(4):40–48.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.04.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



20 世纪上半叶塔里木河流域夏季 干湿的演变特征

李红军^{1,2},李淑娟^{1,2},陈 静^{1,2},迪丽努尔·托列吾别克^{1,2}

(1.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;

2.中亚大气科学研究中心,新疆 乌鲁木齐 830002)

摘 要:利用 CRU(Climatic Research Unit)的月 *Palmer* 干湿指数资料,研究了 1901—1950 年塔里木河流域夏季干湿的时空演变特征,结果表明:塔里木河流域干湿的空间分布为正常或轻微干旱,从西南至东北呈“+”分布;流域干湿变化的线性趋势从西至东呈“+—”分布,整个流域 50 a 变干旱趋势显著,但大部分地区的趋势不显著;变率空间分布为东部正变率和西部负变率;干湿指数在 20 世纪 10 年代之前为正,年际变化较为小,之后,则相反;年代干湿指数值呈年代周期性变化,但干湿等级都为正常。在 20 世纪 00 年代后期、10 年代中期、30 年代初期和 40 年代初期,流域干湿的年代值与 50 a 均值差异显著。年代线性趋势在 20 世纪 10 年代中期—30 年代初期正趋势较多,其余两个时期都为负趋势,年代线性趋势在 20 世纪 10 年代末期正趋势显著,00 年代后期—10 年代中期、30 年代末期和 40 年代初负趋势显著。流域变率值在 20 世纪 00 年代后期—20 年代中期,30 年代初期和后期与 40 年代初期达到显著水平。流域干湿的突变点分别出现在 1910、1919、1927 和 1938 年。3.5 和 7 a 是此序列显著周期。本文与之前研究得出的流域干湿总体变化特征相似,而由于数据来源、研究区和研究方法存在不同,两者在具体结果方面存在差异;流域干湿变化与海温变化和大气涛动在不同时期存在显著相关。

关键词:干湿;时空演变;塔里木河流域

中图分类号:P426

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2022)04-0040-09

全球气候变暖导致了不同区域的干湿产生不同的变化^[1-2]。塔里木河流域地处昆仑山、天山、阿尔金山和帕米尔高原之间,流域总面积为 $1.02 \times 10^6 \text{ km}^2$,是一个封闭的内陆水循环和水平衡相对独立的水文区域,自 1987 年以来,气候出现由“暖干”向“暖湿”转型现象^[3],吸引了众多学者对塔里木河流域干湿变化的关注。最初,多是利用降水量来研究塔里木河流域干湿,得到塔里木河流域自 20 世纪 60 年代以

来降水量呈增多趋势,在 80 年代出现转折性或突变性增多^[4-7],在汛期,流域上游变湿显著,源流区和中游变湿不显著,下游有微弱变湿趋势^[8]。树木年轮重建的流域西部近 300 a 降水序列显示,20 世纪初和 1991—2014 年是湿润期,20 世纪其他时期是干期^[9]。之后的研究把蒸发量或温度也考虑进来^[10-13],得到在 20 世纪 40 年代以前,塔里木河流域北部的湿润指数有一个明显的减小趋势,到 40 年代初达到 20 世纪最干,之后呈现波动变化的特征^[10]。在 1960—2003 年,包括塔里木河流域的西风带气候区的年干湿特征呈现比较显著的变湿趋势,大约在 20 世纪 70 年代中期均发生了由干向湿的突变^[11]。塔里木河流域的西北部由于降水量增加和蒸散减少,气候变

收稿日期:2021-07-26;修回日期:2022-01-30

基金项目:中央级科研院所科研业务费(IDM202202);国家基金项目(41605067、U1503181)

作者简介:李红军(1971—),男,研究员,主要从事干旱区气候与变化研究。E-mail:lihj@idm.cn

湿,这与中国西部其他地区的干湿变化不同,西北其他地区和西南大部分地区由于年降水量减少和蒸散增加,气候呈显著变干的趋势^[12]。对新疆各测站 1961—2008 年的降水和温度的均一化指标变化趋势的研究表明,新疆整体上呈干旱化趋势,其趋势由东南向西北方向逐渐减弱^[13]。使用蒸散与降水差值研究表明,塔里木河流域近 100 a 来呈变干的趋势^[14],树木年轮重建的干湿序列表明塔里木盆地 20 世纪初较为湿润,之后变干旱,20 世纪 80 年代中期以来增湿趋势明显,且仍在持续^[9,15]。

后来的研究使用 *Palmer* 干湿指数,相继把土壤水分和径流也考虑进来^[1,16-18],*Palmer* 干湿指数综合考虑了水分蒸散、降水和土壤水分交换等因素以及前期降水量和水分供求对后期的影响,物理意义清晰明确^[19-20],因而得到广泛应用^[21-22]。研究得到,塔里木河流域干湿与中国北方其他地区干湿的变化趋势相反,西北西部当前正处在一个相对湿的时段,但温度的升高削弱了这种变湿趋势^[23]。新疆气候就平均态而言,整体上属于正常的气候条件,研究时段内年平均和季节平均气候以湿润化趋势为主要变化特征^[24],用 Dai 等估算的全球 PDSI 栅格 1953—2003 年各季节数据得到,西北西部主要受西风带影响,20 世纪 80 年代开始有逐渐变湿的趋势^[1]。*Palmer* 干湿指数 EOF 分析揭示在典型的 ENSO 暖状态,中国西北容易偏湿,西北自 20 世纪 80 年代中期的变湿,与 ENSO 朝更暖的状态变化及全球变暖有着紧密的联系^[17],塔里木河流域的干湿变化与其相邻的中亚干湿变化存在差异,在中亚的哈萨克斯坦,除南部外,夏季降水在 20 世纪下半叶呈减少趋势^[25];在 1948—2018 年,塔吉克斯坦中北部、吉尔吉斯斯坦东部以及里海、咸海之间年降水量呈增加趋势,中亚其余各地降水以负增长为主^[26]。

以上关于塔里木河流域干湿的大多数成果揭示了近 40~60 a 流域干湿的变化特征,对 20 世纪上半叶干湿研究,使用代用资料研究流域的干湿具有一定的不确定性,少量的研究使用观测站数据形成的格点资料给出了塔里木河流域部分区域或整个中亚区域百年干湿变化^[10,14,23],但未单独给出塔里木河流域 20 世纪前半叶干湿的具体演变特征。以上研究也表明塔里木河流域干湿变化与相邻的中国西北东部、中亚大多区域以及华北有着不同的演变特征,需要进一步具体研究。本文使用 Climatic Research Unit(CRU)提供的 1901—1950 年 *Palmer* 干湿指数研究给出了 20 世纪上半叶塔里木河流域夏季干湿

演变特征,初步讨论了流域干湿变化成因,为认识流域干湿长期演变规律提供了科学基础。

1 研究区、数据和方法

塔里木河流域地处亚欧大陆的腹地(37°~41°N, 75°~91°E),东西长约 1 500 km,南北宽约 600 km,面积达 1.05×10^6 km²,是中国面积最大的内陆河流域,属于典型的暖温带大陆性干旱气候。天山、昆仑山和阿尔金山环绕在其周边,地势西高东低,海拔在 800~8 611 m,中部是著名的塔克拉玛干沙漠,边缘为戈壁、绿洲和山麓。塔里木河流域大气年相对湿度为 30%,降水<100 mm,极为干旱,对全球气候变化特别敏感,20 世纪 80 年代中期以来,气候变化与周边大多地区不同,出现了变湿的趋势,是研究干旱区气候变化的典型区。

文中所用的气候干湿资料为英国 East Anglia 大学环境科学学院 Climatic Research Unit(CRU)提供的最新数据集中的夏季 6—8 月的 *Palmer* 干湿指数,空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,时间为 1901—2019 年。该资料在气象站观测数据基础上,扩充了新的数据源,使用数学方法对数据源进行整合,在人工和半自动质量控制之后,在时间与空间上采用相关性衰减范围内插值,在资料的重建过程中包含了严格的时间均一性检验,时间尺度更长,空间分辨率更高^[27-29],与其他数据集比较^[29],在 1901—2008 年,塔里木河流域所在区域($5^\circ \sim 50^\circ \text{N}$, $64^\circ \sim 100^\circ \text{E}$)年平均气温和年总降水分别与 UDEL(the University of Delaware)数据集气温^[30]和 GPCC (Global Precipitation Climatology Centre)数据集降水^[31]的相关显著,通过了 $\alpha=0.001$ 的显著检验,这套数据集除了在极低、海洋、高原或极区等地区外,偏差比较小^[29]。

CRU 数据集被大量运用于气候变化研究中(包括 20 世纪上半叶塔里木河流域干湿数据),是目前全球使用最为广泛的近地面气候数据集之一^[2,10,14,23,32-34]。与中国已有的气候数据相比具有如下优点:(1)中国西部 20 世纪上半叶非常缺少观测,CRU 资料尽管包含插值带来的误差,经比较仍可作为有一定信度的参考,在新疆的百年尺度上,CRU 资料的年平均温度与代用资料重建的序列的相关系数显著,通过了 $\alpha=0.001$ 的显著检验^[33];全球百年长度降水数据被广泛接受的是英国的 Hulme 资料^[33],该降水格点资料与我国观测资料(包括塔里木河流域)的检验结论是:虽然分辨率不高,但基本保持了近百年中国降水的大尺度特征^[36],该降水格点资料

是 CRU 这套数据集降水变量最主要的数据源之一。^[28-29] 研究表明,CRU 资料所揭示的中国 20 世纪降水和温度的气候变化与 160 个观测站(包括塔里木河流域)的相关性较高,比较完整地描述了中国降水和温度的气候变化的基本特征,而 CRU 资料又经过了严格的时间均一性检验,可以认为 1901 年以来的 CRU 资料有较高的可信度^[33]。(2)中国现有的百年温度序列只是年或季分辨率,而 CRU 资料达到月分辨率。(3)建立这个序列仅使用观测结果做统计内插,不包括代用资料所带来的不确定性,有比较大的可靠性^[33]。Palmer 干湿指数由气温与降水资料等计算得出,根据研究^[19-20],Palmer 干湿指数划分为 9 个干旱等级(表 1)。

表 1 Palmer 干湿等级划分标准

Palmer 指数	干湿等级	Palmer 指数	干湿等级
$PDSI \geq 4$	极端湿润	$-1 \geq PDSI > -2$	轻微干旱
$4 > PDSI \geq 3$	严重湿润	$-2 \geq PDSI > -3$	中等干旱
$3 > PDSI \geq 2$	中等湿润	$-3 \geq PDSI > -4$	严重干旱
$2 > PDSI \geq 1$	轻微湿润	$-4 \geq PDSI$	极端干旱
$1 > PDSI > -1$	正常		

文中使用滑动平均分析了年代际变化,趋势值和趋势显著性检验使用线性趋势统计检验方法。振幅变化分析使用变率,干湿指数的周期分析使用最大熵谱和小波变换,干湿序列突变检验使用滑动 t 检验法,干湿指数和变率偏离均值是否显著分别使用 t 检验和 F 检验方法,各方法见文献^[37]。

2 结果分析

2.1 塔里木河流域干湿的空间变化特征

图 1 为 1901—1950 年塔里木河流域夏季干湿指数的多年平均值、线性趋势和变率的空间分布。塔里木河流域夏季干湿指数的多年平均值的空间分布具有明显的区域差异(图 1a),塔里木河流域西南—东北呈“+”分布,大约以库车县—且末县为干湿指数正负的过渡区。塔里木河流域的西南,即克孜勒苏柯尔克孜自治州、喀什地区的南部和田地区的中部及西部,干湿指数多年平均值的等级为轻微干旱,其中于田县和乌恰县是塔里木河流域干旱最严重的地方。塔里木河流域的北部、东部和南部的东部区域,干湿指数的多年平均值的等级为正常,尉犁县—若羌县是塔里木河流域干湿指数多年平均值的最大区域。塔里木河流域各地的多年平均干湿等级为正常或轻微干旱,没有轻微湿润及以上和中等干旱及以下等级的区域。

塔里木河流域 1901—1950 年夏季干湿指数的线性趋势的分布从西至东主要分为“+--+”4 个区域(图 1b)。塔里木河流域西部偏西的区域,即在克孜勒苏柯尔克孜自治州中部和南部区域,干湿变化的线性趋势为变湿润,线性趋势由东南至西北逐渐增大,趋势值在 $0/10 \text{ a} \sim 0.3/10 \text{ a}$ 。塔里木河流域西部的大部分区域和中部的偏西区域,线性趋势为变干旱,在此区域的西北部 and 南部是变干中心,变干最大趋势为 $-0.3/10 \text{ a}$,中心区域变干旱趋势显著($\alpha=0.05$)。塔里木河流域的中部大部分区域,线性趋势为变湿润,但趋势微弱。塔里木河流域的东部偏东区域的线性趋势为变干旱,趋势微弱。塔里木河从流域干湿的线性趋势整体上看,空间分布具有明显差异,但大部分区域的趋势都不显著。

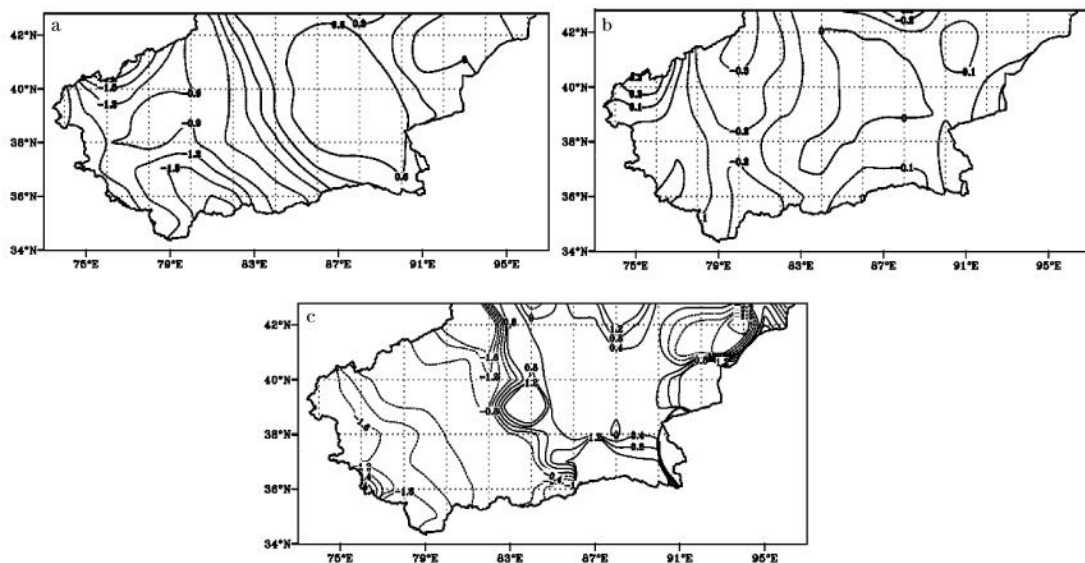


图 1 1901—1950 年夏季塔里木河流域 Palmer 指数平均值(a)、趋势(b,单位:/10 a)和变率(c)空间分布

塔里木河流域 1901—1950 年夏季干湿指数的变率分布主要分为东部和西部(图 1c)。东部包括了巴音郭楞蒙古自治州和阿克苏地区的东部,西部为塔里木河流域其余区域。除了东部的东北角区域外,在东部大部分区域,干湿指数的变率为正值,变率值为 0.0~1.2,4 个正值中心分布在东部区域的东部、南部、西部和北部,中心最大变率值为 1.2;西部区域的变率为负值,区域内西北和西南部变率较小,东南和东北部的变率较大,西部大部分区域的变率值在 -0.4~-1.6,在西部区域西北部的负值中心,干湿指数的变率最小,达到 -2 以下。

2.2 塔里木河流域干湿的时间变化特征

2.2.1 年际变化

1901—1950 年夏季塔里木河流域 *Palmer* 干湿指数的平均值为 -0.28, 干湿等级为正常, 50 a 呈显著减小趋势($\alpha=0.05$), 年际变化明显, 呈阶段性变化(图 2)。干湿指数在 20 世纪初期的 10 a, 干湿指数较大, 变化振幅较小, 在 0~0.3 变动, 其后 10 a, 干湿指数转变为负值, 变化振幅增大, 1917 年达到最小值, 为 -1.15, 1934 年之后, 干湿指数呈波动性减小, 到 1944 年波动性减小到极小值, 1949 年干湿指数又增大到极大值。流域的干湿基本以 20 世纪 10 年代初为分界点, 在分界点之前, 各年的干湿指数为正, 年际变化较小, 较为稳定, 干湿等级为正常; 在分界点之后, 干湿指数年际变化大, 年际变化不稳定性增大, 50 a 的最小值出现在分界点之后, 最小值的干旱等级达到轻微干旱, 出现在 1917 年。分界点之后, 流域干湿指数在 1910 年由正值转为负值, 振荡变化的正负振幅明显增大, 在 -1.15~0.26, 负值明显增多。1901—1910 年干湿指数正负年份比例分别是 90% 和 10%, 而 1911—1950 年干湿指数正负年份比例分别是 20% 和 80%, 说明 1910 年后塔里木河流域 *Palmer* 干湿指数的变化比之前剧烈, 干湿指数为负值的年份也明显增多。

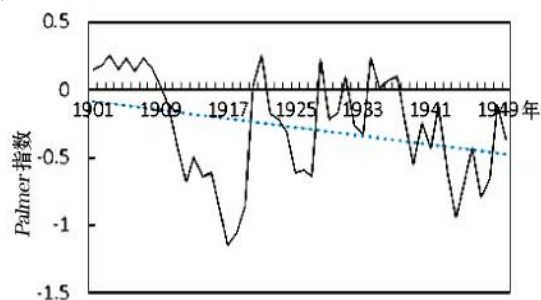


图 2 1901—1950 年夏季塔里木河流域 *Palmer* 指数变化
(虚线表示线性趋势)

2.2.2 年代际均值、趋势与变率

1901—1950 年夏季塔里木河流域 *Palmer* 干湿指数的 11 a 滑动平均值序列见图 3。20 世纪 00 年代中期—10 年代中期 *Palmer* 干湿指数呈逐渐减小趋势, 10 年代中期减小到最小值后, 又逐渐增大, 30 年代中期达到极大值, 之后逐渐减小。20 世纪 00 年代中期和 10 年代中期, 干湿指数分别达到 50 a 的最大和最小值, 分别为 0.09 和 -0.62, 都为干湿正常等级。该序列具有明显的年代际变化特征, 其中滑动平均值较大, 高于 50 a 平均值的年代主要有两个时段, 分别是 20 世纪 00 年代中期—10 年代初期和 20 年代中期—30 年代后期, 前一时期的滑动平均值较大, 50 a 的最大值出现在这一时期的 00 年代初期, 干湿等级为正常, 前一时期之后, 滑动平均值的趋势是向干旱发展, 后一个滑动平均值较大时期的持续时间较长。除两段滑动平均值较大的时期外, 其余两段时期的干湿指数滑动平均值低于 50 a 平均值, 干湿等级都为正常, 滑动平均值最小值出现在 20 世纪 10 年代中期, 等级为正常。

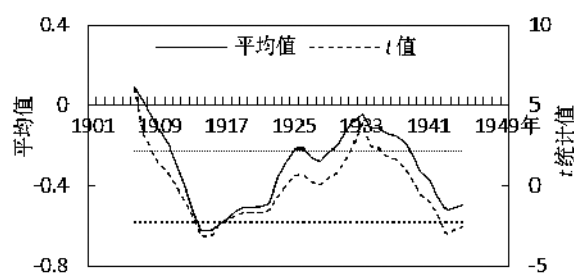


图 3 1901—1950 年夏季塔里木河流域干湿指数滑动平均和 t 统计值
(水平虚线表示 $\alpha=0.05$ 的显著性水平)

11 a 滑动平均值的较大和较小时期的交替出现, 最大值和最小值的干湿等级都为正常, 说明 20 世纪 00 年代以来, 流域的年代干湿值呈周期性变化且干湿等级变化不大。运用 t 统计检验了各 11 a 滑动平均值与 50 a 值差异是否显著, 得出在 20 世纪 00 年代后期、10 年代中期、30 年代初期和 40 年代初期, 11 a 滑动平均值偏离 50 a 平均值显著, 说明这些时期流域夏季干湿年代值的变化很大。

1901—1950 年夏季塔里木河流域干湿指数的 11 a 滑动平均线性趋势序列见图 4。20 世纪 00 年代中期—10 年代中期, 滑动平均线性趋势为负值并逐渐减小到最小, 为 -0.12 a^{-1} , 10 年代末期达到最大值, 为 0.08 a^{-1} , 20 年代中期出现一个极小值、30 年代初期出现一个极大值, 线性趋势波动性到 30 年代末期又出现一个极小值, 之后, 略有增大。20 世纪 10

年代中期—30年代初期,正趋势较多,其余两个时期都为负趋势,滑动平均线性趋势波动性大,年代际间差异大,正负之间转变多,分别在20世纪10年代中期、20年代中期、30年代初期滑动平均线性趋势在正负值之间转换,说明干湿指数在这些时期处于剧烈变化中。根据11 a滑动平均线性趋势的 t 统计值,能够看出,在20世纪10年代末期正线性趋势显著($\alpha=0.05$),00年代后期—10年代中期、30年代末期和40年代初负线性趋势显著($\alpha=0.05$)。

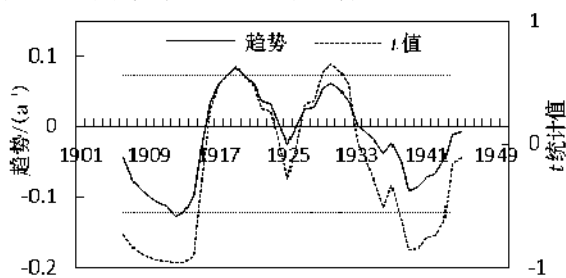


图4 1901—1950年夏季塔里木河流域干湿指数线性趋势与 t 统计
(水平虚线表示 $\alpha=0.05$ 的显著性水平)

图5为1901—1950年夏季塔里木河流域干湿指数的11 a滑动平均变率。20世纪10年代初期—20年代中期滑动平均变率较大, F 值最大值为5.23,在此之前滑动平均变率相对较小, F 值从1.03逐渐波动上升到4左右,20年代后期—40年代滑动平均变率处于一个相对较小时期, F 值在2上下波动。10年代初期—40年代后期,滑动平均变率呈减小趋势。根据11 a滑动平均变率的 F 统计检验可知,与50 a变率的均值相比较,多数年份的滑动平均变率都较大,除1906年左右、1927年左右、1928年左右、20世纪30年代的中期和后期与40年代中期外,其余时期的滑动平均变率较大,达到显著水平($\alpha=0.05$),说明在50 a内塔里木河流域年代际的干湿指数的变化较大。

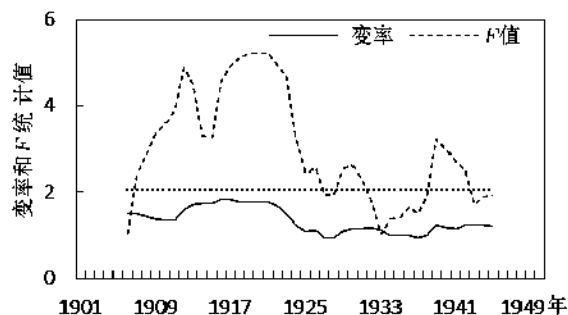


图5 1901—1950年夏季塔里木河流域干湿指数滑动变率与 F 检验
(水平虚线表示 $\alpha=0.05$ 的显著性水平)

2.2.3 突变与周期

1901—1950年夏季塔里木河流域干湿指数年际和年代际的均值差异和年代际变率较大,所以塔里木河流域干湿在50 a内存在突变的可能。采用滑动 t 检验法($\alpha=0.05$)对50 a塔里木河流域夏季的干湿序列进行突变检验(图6),突变点分别出现在1910、1919、1927和1938年,流域夏季干湿指数在突变点前后的均值分别为:0.14、-0.75、-0.28、-0.04、和-0.50,突变点前后干湿指数的均值差异显著。塔里木河流域夏季干湿指数 t 检验值呈现先减小形成突变,接着又波动性增大形成突变的形态。因塔里木河流域50 a夏季的干湿指数呈现波动变化,所以可能存在显著周期,最大熵谱检测表明25、7.14、3.57和2.78 a是显著周期。由Morlet小波变换系数分析可知,塔里木河流域夏季的干湿指数在1901—1950年存在3.5、6.9和16.5 a的周期振荡,3.5和6.9 a的周期振荡较强,在20世纪00年代—20年代中期16.5 a周期振荡也较强。

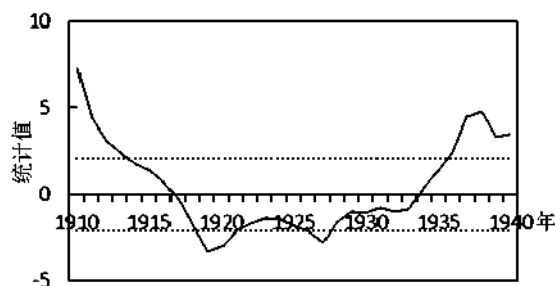


图6 1901—1950年夏季塔里木河流域干湿指数突变的10 a滑动 t 检验
(水平虚线表示 $\alpha=0.05$ 的显著性水平)

3 流域干湿变化的原因

新疆近40~60 a降水和湿度的变化均存在显著的年际和年代际尺度变化^[7,16-17,23-24]。从1901—1950年塔里木河流域的干湿变化可知,结果与以上研究结论类似,这些干湿变化的原因需进一步探讨。塔里木河流域的干湿状况与海温和大气环流的变化相联系^[38-40]。为此,本文分3个时段,即1901—1950年干湿全部时段的夏季,1911—1921年干湿指数较小时段,1929—1939年干湿指数较大时段,计算了塔里木河流域的干湿与ENSO、北大西洋涛动(NAO)、南方涛动(SO)、北极涛动(AO)7 a滑动平均的相关(表2)。在全时段的50 a夏季塔里木河流域干湿与NAO、SO和AO的7 a以上的滑动平均联系紧密,相关系数通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,特别是NAO和AO与塔里木河干湿的相关系数通过了 $\alpha=$

0.01 的显著性检验。在塔里木河流域干湿指数较小时段,干湿与 NAO、SO 和 AO 的 7 a 以上的滑动平均相关显著,均通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,特别是 NAO 与流域干湿相关系数通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。在干湿指数较大时段,塔里木河流域干湿与 ENSO 的 7 a 以上的滑动平均相关显著,通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。相关统计说明在 7 a 以上时间尺度,塔里木河流域干湿变化与 ENSO、NAO、SO 和 AO 的变化密切相关。

表 2 塔里木河流域干湿变化与 AO、SO、NAO、ENSO 的 7 a 滑动平均相关

年	北极涛动 (AO)	南方涛动 (SO)	北大西洋涛动 (NAO)	ENSO
1901—1950	0.374 5***	-0.332 9**	0.554 6***	0.106 7
1911—1921	0.778 8***	-0.606 0**	0.632 7**	0.067 3
1929—1939	-0.437 6	0.401 0	0.453 3	-0.619 0**

注:*,** 和 *** 分别代表相关系数通过了 α 为 0.1、0.05 和 0.01 的显著性检验。

在全时段的夏季,NAO 对塔里木河流域的干湿影响最显著,在干湿指数较小和较大时段的夏季,AO 和 ENSO 分别对塔里木河流域的干湿影响最显著,这说明在不同时间尺度和不同时期,海温和大气环流变化对塔里木河流域干湿的影响不同。20 世纪 80 年代以来,印度洋水汽经南亚和中亚向塔里木河流域输送增多^[39],这是 SO 和 ENSO 年代际强弱周期变化的体现,可能在以往时期也周期性出现,这种变化导致 SO 和 ENSO 对塔里木河流域干湿的影响发生了变化。NAO 影响塔里木河流域干湿的机制是 NAO 的异常引起斯堪的纳维亚半岛 EP 通量的辐散中心位置东西向变动和强度大小的变化,扰动能量通过中高纬静止波传播,导致西亚和新疆上空西风急流的 Rossby 波活动异常,从而影响新疆降水以及干湿状况^[41]。AO 影响流域干湿的方式可能是在夏季 AO 指数偏强年代,700 hPa 风场上,贝加尔湖及其以南地区有较强的反气旋性距平环流,包括塔里木河流域、中国西北的西风带区出现西风距平。中国西北上空的 500 hPa 高度场为西低东高结构,使得中国西北的西风带区在夏季以西风气流为主,降水偏多,气候偏湿,而 AO 指数偏强年代中国西北的西风带区盛行偏北气流,降水偏少,气候偏干^[42]。

以上着重分析了 1901—1950 年夏季塔里木河流域干湿变化的特征及其与海温变化和大气涛动的

同期相关性,虽然给出了流域干湿与海温变化和大气涛动的相关关系,但对它们相关的形成机理未深入涉及,这种相关的机理有待于利用气候模式进行数值模拟研究,以期对它们相互作用的机理有一个深刻的认识。

4 讨论

有关 20 世纪上半叶塔里木河流域干湿特征的研究,本文与其他的研究在总体变化特征上相似,基本是在 20 世纪初期流域较为湿润,之后逐渐变干旱。马柱国等^[10]对中国北方百年(1902—2002 年)干湿变化研究得到,塔里木河流域北部在 20 世纪 40 年代以前年湿润指数有一个明显的减小趋势,40 年代是 20 世纪上半叶最干旱时期,突变出现在 20 世纪的初期和 20 年代的后半期^[10];这与本文得到的塔里木河流域干湿变化的整体趋势相同,其最干旱时期与本文得出的 20 世纪 10 年代中后期存在差异,干湿的突变方面,本文也多了 2 个突变点,即 1919 和 1938 年,这可能是两者研究区域、研究季节和干湿指数不同造成的。

全球百年(1902—2002 年)干湿的 EOF 主模态研究^[1]显示,在 20 世纪上半叶,中亚地区(包含塔里木河流域)的年干湿指数变化趋势不明显,最干旱年代出现在 20 世纪 30 年代中后期。差异的原因可能是两者历史数据来源略有不同,同时研究区域和研究季节不同也造成两者差异。另有中亚百年(1902—2002 年)干湿变化研究得到,在 20 世纪初期中亚第 3 分区湿润,之后逐渐变干旱,在 20 世纪 10 年代后期最干旱^[4],与本文的最干旱期略有差异,这与研究方法和研究区不同有关,该研究中使用 Mann-Kendall 趋势检验方法确定研究区各时期是否变干或变湿,该研究区包含了塔里木流域、中亚南部地区和塔里木流域以外部分东部地区。

树木年轮重建得出的塔里木盆地历史时期的相对湿度和降水^[9,15]与本文得出的干湿结果比较,两者在干湿期上都能较好地对应,都在 20 世纪 00 年代比较湿润,之后至 40 年代较之前时期干旱,两者都在 1910 年发生突变,都存在 6.9 a 的周期,而在干湿极值出现时间有前后几年差异,在突变点和周期个数方面也有差异,这与两者采用的数据来源和研究时间尺度不同有关。

5 结论

本文利用 1901—1950 年塔里木河流域夏季

Palmer 干湿指数资料,研究了流域夏季干湿的年和年代际时空变化特征,主要得到以下结论:

(1)20 世纪上半叶,塔里木河流域各地夏季多年平均干湿为正常或轻微干旱,呈西南略低、东北略高的分布。塔里木河流域各地干湿变化的趋势从西至东呈“+--+”分布,整个塔里木河流域 50 a 变干旱的趋势显著,但大部分地区的趋势不显著。塔里木河流域干湿的变率在东部为正,西部为负,东部有多个正值中心。塔里木河流域的干湿年际变化明显,年代干湿呈周期性变化,干湿等级变化不大,都在正常等级内,但 20 世纪 00 年代后期、10 年代中期和 30 年代初期与 1901—1950 年均值正差异显著,而 40 年代初期与 50 a 均值负差异显著。

(2)塔里木河流域干湿的年代趋势呈波动性减小,50 a 整体趋势不显著,20 世纪 10 年代末期正趋势显著,而 20 世纪 00 年代后期—10 年代中期、30 年代末期和 40 年代初负趋势显著。塔里木河流域变率的年代值较大,20 世纪 00 年代后期—20 年代中期、30 年代初期和后期与 40 年代初期达到显著水平。干湿的突变点分别出现在 1910、1919、1927 和 1938 年。3.5 和 7 a 左右是此序列显著周期。

(3)塔里木河流域干湿变化与海温变化、大气涛动在不同时期存在显著相关,未来应深入研究这些相关的形成机理。本文与其他的研究得出的 20 世纪上半叶流域干湿总体变化特征相似,而由于数据来源、研究区和研究方法存在不同,两者在具体结果方面存在差异。

参考文献:

- [1] DAI A G, TRENBERTH K E, KARL T R. Global variations in droughts and wet spells: 1900–1995 [J]. *Geophys Res Lett*, 1998, 25(17): 3367–3370.
- [2] 马柱国, 符淙斌. 20 世纪下半叶全球干旱化的事实及其与大尺度背景的联系[J]. *中国科学: 地球科学*, 2007, 37(2): 222–233.
- [3] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. *冰川冻土*, 2002, 24(3): 219–226.
- [4] 陈亚宁, 徐宗学. 全球气候变化对新疆塔里木河流域水资源的可能性影响 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 2004, 34(11): 1047–1053.
- [5] 柳媛普, 白虎志, 钱正安, 等. 近 20 年新疆中部明显增湿事实的进一步分析[J]. *高原气象*, 2011, 30(5): 1195–1203.
- [6] 宋连春, 张存杰. 20 世纪西北地区降水量变化特征[J]. *冰川冻土*, 2003, 25(2): 143–148.
- [7] 赵丽, 韩雪云, 杨青. 近 50 年西北干旱区极端降水的时空变化特征[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2016, 10(1): 19–26.
- [8] 李红军, 江志红, 魏文寿. 近 40 年塔里木河流域旱涝的气候变化[J]. *地理科学*, 2007, 27(6): 801–807.
- [9] 尚华明, 木太力普·托乎提, 张瑞波, 等. 塔里木盆地西缘 1715—2014 年降水量重建与分析[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2016, 10(2): 9–17.
- [10] 马柱国, 邵丽娟. 中国北方近百年干湿变化与太平洋年代际振荡的关系[J]. *大气科学*, 2006, 30(3): 464–475.
- [11] 王鹏祥, 何金海, 郑有飞, 等. 近 44a 来中国西北干湿特征分析[J]. *应用气象学报*, 2007, 18(6): 769–776.
- [12] 胡琦, 董蓓, 潘学标, 等. 1961—2014 年中国干湿气候时空变化特征及成因分析 [J]. *农业工程学报*, 2017, 33(6): 124–132.
- [13] 吴友均, 师庆东, 常顺利. 1961—2008 年新疆地区旱涝时空分布特征[J]. *高原气象*, 2011, 30(2): 391–396.
- [14] WANG J S, CHEN F H, JIN L Y, et al. Characteristics of the dry/wet trend over arid central Asia over the past 100 years[J]. *Clim Res*, 2010, 41(1): 51–59.
- [15] 尚华明, 尹仔锋, 魏文寿, 等. 基于树木年轮宽度重建塔里木盆地西北缘水汽压变化[J]. *中国沙漠*, 2015, 35(5): 1283–1290.
- [16] 张永, 陈发虎, 勾晓华, 等. 中国西北地区季节间干湿变化的时空分布—基于 PDSI 数据[J]. *地理学报*, 2007, 6(11): 1142–1152.
- [17] 苏明峰, 王会军. 中国气候干湿变率与 ENSO 的关系及其稳定性[J]. *中国科学: 地球科学*, 2006, 36(10): 951–958.
- [18] 李红军, 江志红, 白云岗. 塔里木河流域 Palmer 指数的改进与评估[J]. *高原气象*, 2015, 34(4): 1057–1064.
- [19] PALMER W C. *Meteorological Drought* [C]/US Weather Bureau. Research Paper No. 45. Washington: NOAA Library and Information Services Division, 1965: 1–58.
- [20] HAYES M. Drought indices. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska–Lincoln [EB/OL]. [2021–06–08]. <http://www.drought.unl.edu/whatis/Indices.pdf>.
- [21] LOHANI V K, LOGANATHAN G V. Early warning system for drought management using the Palmer drought index [J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 1997, 33(6): 1375–1386.
- [22] SKAGGS R H. Drought in the United States, 1931–1940 [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 1975, 65(3): 391–402.
- [23] 马柱国, 符淙斌. 中国干旱和半干旱带的 10 年际演变特征[J]. *地球物理学报*, 2005, 48(3): 519–525.
- [24] 姜大膀, 苏明峰, 魏荣庆, 等. 新疆气候的干湿变化及其趋势预估[J]. *大气科学*, 2009, 33(1): 90–98.
- [25] 黄秋霞, 何清, 玉努斯, 等. 哈萨克斯坦共和国不同区域降水的变化特征[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2014, 8(4): 61–

- 68.
- [26] 闫昕昞,张强,张文波,等.泛中亚干旱区气候变化特征分析[J].干旱区研究, 2021,38(1):1-11.
- [27] NEW M,HULME M,JONES P D.Representing twentieth century space-time climate variability.Part 2: development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate [J].Journal of Climate,2000,12 (13): 829-856.
- [28] MITCHELL T D,JONES P D.An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids [J].Int J Climatol, 2005,25(6):693-712.
- [29] HARRIS I,JONES P D,OSBORN T J,et al.Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—The CRU TS3.10 Dataset [J].Int J Climatol,2014,34(3):623-642.
- [30] PETERSON T C,VOSE R S,SCHMOYER R,et al.Global Historical Climatology Network (GHCN) quality control of monthly temperature data [J].International Journal of Climatology,2015,18(11):1169-1179.
- [31] BECKER A,FINGER P,MEYER-CHRISTOFFER A, et al.A description of the global landsurface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901-present [J].Earth System Science Data,2013 5(1):71-99.
- [32] NEUKOM R, PRIETO M R, MOYANO R, et al. An extended network of documentary data from south America and its potential for quantitative precipitation reconstructions back to the 16th century [J].Geophys Res Lett,2009(36):L12703.
- [33] 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, 2006,30(5):894-904.
- [34] VAN D S, BARICHIVICH J, BRIFFA KR, et al. A scPDSI-based global data set of dry and wet spells for 1901-2009 [J].J Geophys Res Atmos,2013,118(10), 4025-4048.
- [35] HULME M. A 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models[J].Climate Dynamics,1992,7(2):57-72.
- [36] 贾朋群.近百年中国降水的测站资料和格点化资料对比 [J].应用气象学报,1999,10(2):181-189.
- [37] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999:53-59,106-113.
- [38] 张梅心,樊磊,赵勇.塔里木盆地夏季降水和海温的关系 [J].沙漠与绿洲气象,2019,13(2):1-6.
- [39] 卢星,赵勇,王天竺.新疆夏季降水的环流差异分析[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(1):84-90.
- [40] 戴新刚,汪萍.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.
- [41] 杨莲梅,张庆云.北大西洋涛动对新疆夏季降水异常的影响[J].大气科学,2008,32(5):1187-1196.
- [42] 王鹏祥,何金海,郑有飞,张强.夏季北极涛动与西北夏季干湿特征的年代际关系[J].中国沙漠,2007(5):883-889.

Evolution Characteristics of Summer Dryness–wetness in the Tarim River Basin During the First Half of 20 Century

LI Hongjun^{1,2}, LI Shujuan^{1,2}, CHEN Jing^{1,2}, Dilinuer Tuoliewubieke^{1,2}

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

2. Center for Central Asian Atmosphere Science Research, Urumqi 830002, China)

Abstract The spatiotemporal characteristics of summer dry–wet index in the Tarim River Basin during 1901–1950 were studied by using the monthly *Palmer* dry–wet index of CRU (Climatic Research Unit). The results showed that the spatial distribution of the dry–wet index grades during the 50 years was characterized by normal and light drought, overall southwest–northeast “– +” distribution. The 50–year drought trend throughout the basin was significant, but not significant in most regions. The spatial distribution of the dry–wet index variability was positive in the east and negative in the west. The dry–wet index was positive and its inter–annual variation was small before the 1910s, while it was contrary after the 1910s. The decadal dry–wet index varied periodically, while its dry–wet grades were still normal. The difference between the decadal dry–wet index and the 50 years mean of dry–wet index was significant in the late 1990s, middle 1910s and early of 1930s and 1940s. The positive decadal trend of dry–wet index between middle 1910s and early 1930s was higher than that the other period, the trend in the other period was negative, and the decadal trend was positive and significant in the late 1910s, while it was negative and significant from the late 1900s to the early 1910s, the late 1930s and early 1940s. The dry–wet index varied significantly from the late 1900s to the middle 1920s, and the early and late 1930s and early 1940s; the abrupt change points of dry–wet index appeared in 1910, 1919, 1927 and 1938, respectively. Significant periods of dry–wet index were 3.5 and 7 years. The results of this study on the overall variation characteristics of wet and dry in the basin are similar to those of previous studies. However, due to differences in data sources, study area, and methods, there are differences in specific results. There was a significant correlation between dry–wet change and sea surface temperature change and atmospheric oscillation in different periods.

Key words dry and wet; spatiotemporal evolution characteristics; the Tarim River Basin