

1959~2018 年淮河流域水热格局差异研究

孙朋 渠玮娟 朱玺 吴雨纯 汪静 张本发 许梅越 戴洪宝¹

(宿州学院 环境与测绘工程学院, 安徽 宿州 234000)

【摘要】: 基于淮河流域 27 个气象站点 1959~2018 年气象观测数据, 通过 FAO-PM56 计算出蒸散量的基础上, 构建以气温、降水、蒸散等 9 种要素在内的水热指标体系, 运用气候倾向斜率、Mann-Kendall (M-K) 检验和地理空间插值等方法, 揭示淮河流域近 60 年水热格局特征。结果表明: 60 年来, 淮河流域总体呈湿热趋势, 表现为气温、最低气温、年降水量呈波动上升, 最高气温、日照时数、相对湿度和蒸散量下降趋势; 年内分布表现为水热变化同期, 高值集中分布在 6~7 月, 呈单峰型分布; 年代际分析表明近 60 年来研究区暖湿趋势显著, 呈现出年均气温, 最高温、最低温均先下降后上升, 而日照时数变化趋势与之相反, 降水要素均是先上升后下降, 之后再次上升的趋势; 从突变特征来看, 热量要素突变稳定性高于水分要素; 淮河流域热量因子空间分布呈现较为明显的对角(西南-东北)变化趋势, 是南北交错带带来的经纬度地带性以及地形作用的综合结果, 水分要素空间分布格局体现出较强的纬度地带性与垂直地带性。

【关键词】: 水热格局 淮河流域 蒸散 Mann Kendall

【中图分类号】: S162 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)06-1366-12

联合国政府间气候变化专门委员会第五次评估报告认为, 全球气候变化已是不争的事实, 全球平均温度在 1880~2012 年期间升高了约 0.85℃ (0.65℃~1.06℃)^[1]。气候变化将改变地表水、热以及气候和资源的时空分布^[2], 进而对植被覆盖^[3]和人类生存和生物多样性产生重要影响^[4]。已有学者对全国各区域水热格局变化进行大量研究, 并取得了重要成果: 在全球变暖环境下, 中国近几十年来气温持续增长, 预测未来几年气温也会有所上升^[5], 且降水量总体呈下降的趋势^[6]; 区域差异研究结果显示: 西藏地区、西北地区表现为气温上升、降水下降的异相位特征^[7,8]; 东北地区、华南地区表现出气温降水同相位上升趋势^[9,10]。变化区域下敏感区域地域系统响应差异研究成为当下全球变化议题下的研究热点。

淮河流域是我国的 0℃等温线、暖温带与亚热带分界线、湿润区与半湿润区分界线、旱地农业与水田农业分界线等二十多种重要地理要素过渡带, 是我国气候敏感区, 人口密度也是全国各流域之首, 但存在水资源时空分布不均, 经济发展与水资源利用之间的不协调现象^[11]。已有研究表明淮河流域多年气温总体呈升高趋势^[12,13]; 赵国永等^[14]对淮河流 1951~2014 年降水量进行时空分析得出降水呈下降趋势; 叶金印等^[15]通过研究该地区 1961~2010 年降水的空间分布得出南部增多, 北部减少的特征, 呈现出南多北少的空间分布格局^[16]; 方国华等^[17]认为 1961~2015 年淮河流域北部受干旱影响最为严重, 年降水量相对较少; 杨秀芹等^[18]研究得出淮河流域平均的地表蒸散量存在显著的上升趋势; 姜敏等^[19]对蚌埠市展开研究得出潜在蒸散量的主要因素是气温和日照时数, 降雨量也间接产生影响。

虽然前人已经对淮河流域水热变化特征进行研究, 但是研究时间尺度较短、研究要素多以气温降水为主, 多要素水热体系响应特征分析相对欠缺。基于此, 本研究以过渡带淮河流域地表水热要素为切入点, 构建水热要素体系, 分析淮河流域水热要

¹**作者简介:** 孙朋(1989~), 男, 讲师, 主要研究方向为气象水文学、景观生态学. E-mail: sunpeng@ahszu.edu.cn

基金项目: 安徽省教育厅高校自然科学重点项目(KJ2019A0670); 宿州学院博士科研启动基金项目(2017jb04); 宿州学院自然科学重点科研项目(2019yzd01); 宿州学院地理科学一流专业(szxy2020ylzy02); 宿州学院第四批优秀学术技术骨干项目(2020XJGG07); 国家级大学生创新创业训练项目(202010379056)

素的空间和时间格局分布特征。探讨气候变化影响下，淮河流域以水热为主的气候的时空演变过程与响应机理，为淮河流域水资源管理与规划、强化流域应对气候变化策略提供理论依据与科技支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

淮河流域作为南北气候过渡区的典型区域，地处中国东部，我国南北气候亚热带季风湿润气候与暖温带半湿润起风气候交错地带^[20]，位于长江和黄河两流域之间，位于 111° 55′ E~121° 25′ E, 30° 55′ N~36° 36′ N 之间(图 1), 流域面积 $2.7\times10^5\text{km}^2$ 。淮河流域包括湖北、河南、安徽、江苏、山东 5 省 40 个市。流域西部、西南部及东北部为山区、丘陵区，其余为广阔的平原^[21, 22]。研究区多年平均降水量约为 920mm, 由南向北递减，山区大于平原，沿海大于内陆，降水量的年内分配也极不均匀。淮河流域年平均气温 11~16℃, 由北向南，由沿海向内陆递增，最高月平均气温 31℃左右，出现在 7 月份；最低月平均气温在-3℃左右，出现在 1 月；年均气温与年均低温的最大、小值出现位置相同，与年均高温的出现位置有一定的偏差^[23]，进一步说明均温与低温分布更为由于该地区会受季风降水影响，冬春季降水较少，夏秋季降水较丰富，冷暖和旱涝的有明显转变急剧的现象^[24]。流域降水的年内分配具有明显的不均匀性，且存在明显的年际变化和区域差异^[20]。

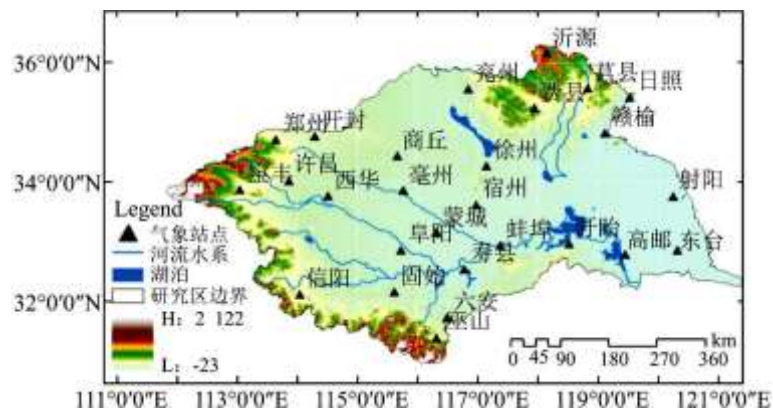


图 1 研究区概况

1.2 数据来源

研究数据来源于中国气象数据共享服务中心(<http://data.cma.cn/>), 选取淮河流域 1959~2018 年间 27 个经过质量控制检验的气象站点地面逐日观测资料，参考前人在气温、降水、蒸散、日照时数、相对湿度、降水格局等参数的研究成果，建立如下水热要素体系(表 1)。

表 1 淮河流域水热要素体系

要素体系	水热要素	缩写	单位	数据年限	数据尺度	站点数目	备注说明
热量要素	平均气温 ^[5, 6, 13]	T_a	℃	1959~2018	日、月、年	27	一年中每天平均气温的平均值
	最高气温 ^[5, 13]	T_{max}	℃	1959~2018	日、月、年	27	每天的最高气温在计算各月平均、各年平均
	最低气温 ^[5, 13]	T_{min}	℃	1959~2018	日、月、年	27	每天的最低气温在计算各月平均、各年平均

	日照时数	SD	h	1959~2018	月、年	27	年累积
水分要素	降水量 ^[6, 8, 14, 16]	P	mm	1959~2018	日、月、年	27	年累积
	降水天数	Pd	d	1959~2018	月、年	27	日降水量>0.1mm的天数
	最大降水量	P _{max}	mm	1959~2018	日、月、年	27	日最大降水量
	相对湿度	RH	%	1959~2018	日、月、年	27	年均值
	蒸散量 ^[18, 19, 25]	ET ₀	mm	1959~2018	月、年	27	潜在蒸散量

1.3 研究方法

1.3.1 潜在蒸散量(ET₀)

潜在蒸散发采用世界粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)1998 年修正的 P-M 模型计算潜在蒸散量^[25], 计算公式如下:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

式中:ET₀为潜在蒸散发量 mm;R_n为净辐射 MJ/(m²·d);T为日平均温度℃;G为土壤热通量 MJ/(m²·d);U₂为2m 高处风速 m/s;e_s为饱和空气水汽压 kPa;e_a为空气水汽压 kPa;Δ 为饱和水汽压-温度曲线的梯度 kPa/℃;γ 为湿度计常数 kPa/℃。

1.3.2MK 突变检验

利用 MK 突变检验方法对淮河流域 27 个站点自 1959~2018 年的气象数据进行突变检测。Mann-Kendall 检验法, 是一种气候诊断与预测技术, 应用 Mann-Kendall 检验法可以判断气候序列中是否存在气候突变, 如果存在, 可确定出突变发生的时间, 该检验方法具体计算参考文献[26]。

1.3.3 气候倾向率

用 x_i表示样本量为 n 的某一气象变量, 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:

$x_i=a+bt_i,i=1,2,3,\cdots,n$

b>0 时, 表示气候要素随时间增加呈上升趋势, b<0 时, 气象要素随时间增加呈下降趋势。式中, a 为回归常数, b 为年际倾向率, a 和 b 可以用最小二乘法或者经验正交多项式来确定。

2 结果与分析

2.1 淮河流域时间序列水热格局差异

2.1.1 1959~2018 年水热要素趋势分析

淮河流域近 60 年气温呈波动中上升态势(图 2a), 均值为 14.62°C , 上升速率为 $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($p<0.01$), 气温变幅为 $13.33^{\circ}\text{C}\sim 15.82^{\circ}\text{C}$ 。同期研究区最高气温(图 2b)呈波动中下降态势, 均值为 19.22°C , 下降速率为 $-0.04^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($p>0.05$), 最低气温(图 2c)呈波动中上升态势, 均值为 9.69°C , 上升速率为 $0.02^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($p<0.05$), 最低气温的变幅为 $7.85^{\circ}\text{C}\sim 11.89^{\circ}\text{C}$, 这说明最低气温与最高气温之间的差值逐渐缩小的趋势。流域日照时数呈波动中下降态势(图 2d), 均值为 2155.34h , 下降速率为 $-7.67\text{h}/10\text{a}$ ($p<0.01$)。

60 年来流域降水量呈波动中上升态势(图 2e), 均值为 869.57mm , 降水变幅为 $573.5\sim 1252.72\text{mm}$, 上升速率为 $0.30\text{mm}/10\text{a}$, 上升趋势不显著($p>0.05$)。降水日数呈波动中下降态势(图 2f), 均值为 96.41d , 下降速率为 $-0.03\text{d}/10\text{a}$ ($p<0.05$)。淮河流域降水分布极不平衡从而导致了该地区旱涝灾害转变成较为急剧的现象。1959~2018 年研究区最大日降水量呈波动中上升态势(图 2g), 均值为 29.06mm , 上升速率为 $0.03\text{mm}/10\text{a}$ (不显著 $p>0.05$)。流域蒸散量呈波动中下降态势, 均值为 1014.04mm , 下降速率为 $-0.92\text{mm}/10\text{a}$ ($p<0.05$), 蒸散变幅为 $887.0\sim 1166.5\text{mm}$ (图 2h)。相对湿度呈波动中下降态势(图 2i), 均值为 71.51% , 最高达 76% , 下降速率为 $-0.02\%/10\text{a}$ (不显著 $p>0.05$)。相对湿度对的降低削弱了对地表蒸散的需动力, 是带来蒸散降低的重要因素, 加之热量要素中日照时数的显著降低促使太阳辐射能对地表蒸散供给的削弱, 加剧了研究区的湿热状况。

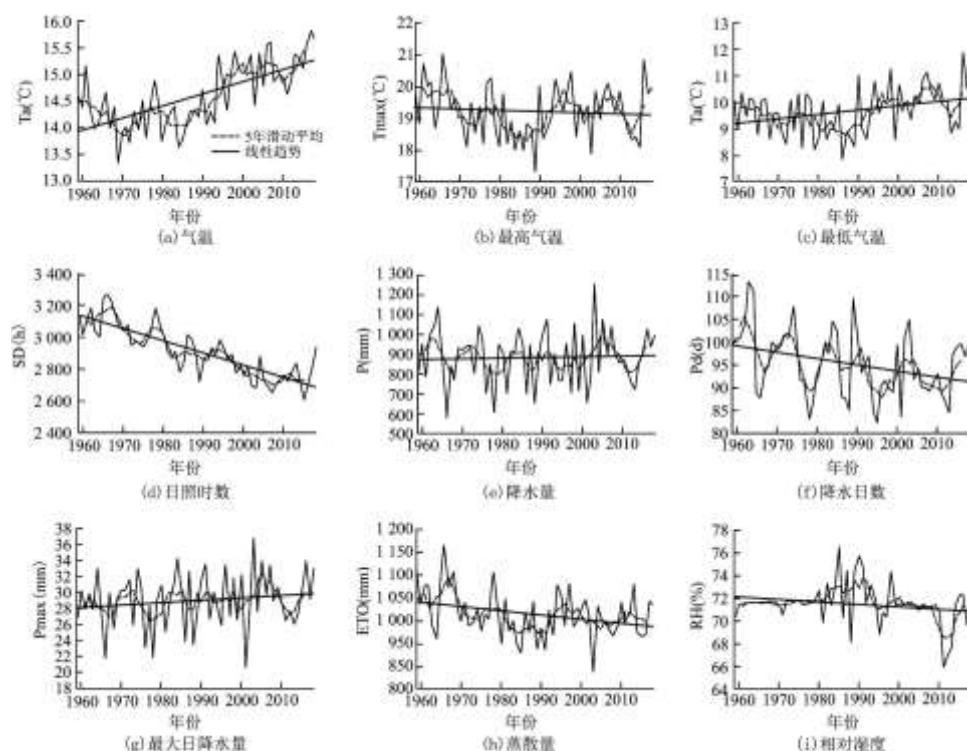


图 2 1959~2018 年淮河流域水热要素趋势变化

2.1.3 1959~2018 年水热要素年代际变化特征

淮河流域 1959~2018 年水热要素研究区年代际变化特征, 由表可看出 20 世纪 60 年代到 20 世纪 80 年代的 30 年里, 淮河流域各站点的年均气温、最高气温和最低气温都呈持续下降趋势, 到了 20 世纪 90 年代开始有所回升, 进入 21 世纪后, 年均气温、最高气温和最低气温不断上升, 温度年代际变化趋势具有较强的一致性。气温倾向率变化发现淮河流域年均气温逐渐上升

且倾向率较小；最高气温变化率不大；而最低气温逐渐升高；日照时数倾向率表现明显的逐年递减的趋势，同时表现出为大幅度量变与变化幅度不规律特性。

近 60 年，年降水量均值从 20 世纪 60 年代至 20 世纪 80 年代不断下降并达到最低值，20 世纪 90 年代到 2018 年呈弱增高趋势。降水量倾向率较不稳定，其中 20 世纪 90 年倾向率最低，2020~2018 年为最高。降水日数变化呈现先降低后上升的趋势，倾向率变化亦是如此。从最大日降水量数来看，近 60 年最大日降水量的总体变化性不大，有 2~3mm 弱增长幅度，倾向率在 2010~2018 年达到最大值。不同时期蒸散量和相对湿度的均值、倾向率可看出蒸散量和相对湿度变化极不规律，波动较为频繁。相较于热量因子因子变化而言，年代际水分要素波动起伏更为剧烈。

2.1. 41959~2018 年研究区水热要素年内变化特征

图 3 为淮河流域各水热要素年内变化分布箱体图。由图 3a 可知，年内气温分布呈现单峰分布，六月份气温最高，十二月份气温最低，五月份的四分位距离是最大，温度差值也是最大的，说明该地区的冷暖分布不平衡。最高气温、最低气温都出现三月份的四分位距离，以八月为峰值的单峰分布特征(图 3b 和图 3c)。年内日照时数呈现五月与八月为峰值的双峰分布特征(图 3d)，夏季普遍比其他季节日照时间长，二月份最低，日照时数从不同的程度上反映了太阳的辐射量从而影响了该地区的气温变化。年降水量是六七月较多，一二月较少，雨热同期(图 3e)，夏秋比春冬降水多，七月份的降水量分布差值最大。降水日数夏秋比春冬降水多(图 3f)，其中九月份的四分位距离最大即降水日数分布差值较大。最大日降水呈现与降水量变化相同的年内变化特征(图 3g)。年内蒸散量呈现以六七月为最多的单峰分布，一二月较少，夏秋比春冬蒸散量多(图 3h)，六月蒸散量最多达到了 170mm，最低在一月份。相对湿度九月最高，二月最低(图 3i)，相对湿度最高九月达到了 87%，最低为二月份仅有 53%，且临近秋季相对湿度较高。气温和降水量的变化多端影响了相对湿度的变化。

2.2 淮河流域水热要素空间分布格局

2.2.1 淮河流域水热要素空间分布特征

图 4 为淮河流域水热要素空间分布图。由图 4a 可知气温的变化范围在 12.36℃~15.9℃之间，气温总体南部气温高于北部，呈现自西南部地区向东北部地区递减趋势；最高气温空间变化呈现一定的经度地带性，自西部到东部递减(图 4b)，区域年最高气温的多年平均值的变化范围在 16.97℃~21.07℃之间。最低气温的范围值 7.46℃~12.23℃(图 4c)，最低气温分布具有较强的温度地带性，由南向北递减；日照时数的变化范围为 1852.03~2461.1h(图 4d)，从东北到西南递减。研究区热量因子空间分布呈现较为明显的对角(西南-东北)变化趋势，是南北交错带带来的经纬度地带性以及地形作用的综合结果；淮河流域年降水量的变化范围 1810.7~4089mm(图 4e)，降水量南多北少，地形海拔高西南地区降水量大，最大日降水量表现出同样分布特征(图 4g)；淮河流域年降水天数的变化范围为 74~133d(图 4f)，降水天数南多北少；蒸散量的变化范围为 952.54~1077.73mm 之间(图 4h)，空间分布差异明显，西北部的蒸散量明显高于东部及西南部地区。相对湿度的变化呈现南高北低的纬度地带性特征，相对湿度空间变幅为 66.38%~74.801%(图 4i)，水分要素是空间分布格局体现出较强的纬度地带性与垂直地带性。

2.2.2 淮河流域水热要素倾向率空间分布特征分析

图 5 为淮河流域水热要素倾向率空间分布图。由图可知，年平均气温的倾向率高值区在北部(图 5a)，变幅为 0.25~0.48℃/10a，年平均气温低值区在西南部，呈自北向南递减的趋势，但总体呈上升趋势；年平均最高气温的倾向率从东南向西北递减(图 5b)，倾向率范围-0.066~1.79℃/10a，总体呈逐渐下降趋势；年平均最低气温的倾向率的高值区在北部(图 5c)，低值区在东南部，气候倾向率范围在 1.83~2.05℃/10a；日照时数的倾向率的低值区在西部(图 5d)，数值范围在-108.7~-78.5h/10a，日照时数的倾向率的高值区在东部，集中在东部中间地带，气候倾向率范围在 42.3~72.5h/10a，流域内呈中间上升两侧下降的趋势，流域内日照时数的倾向率的空间分布大致从中部区域向东西两侧递减。

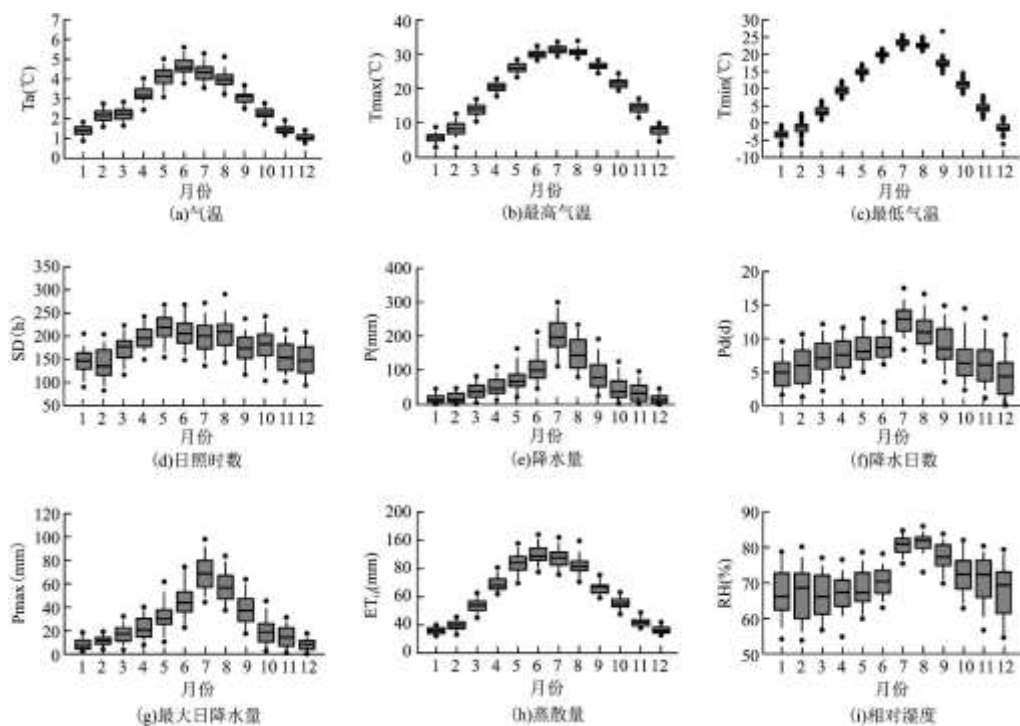


图 3 1959~2018 年研究区水热参量年内变化箱体图

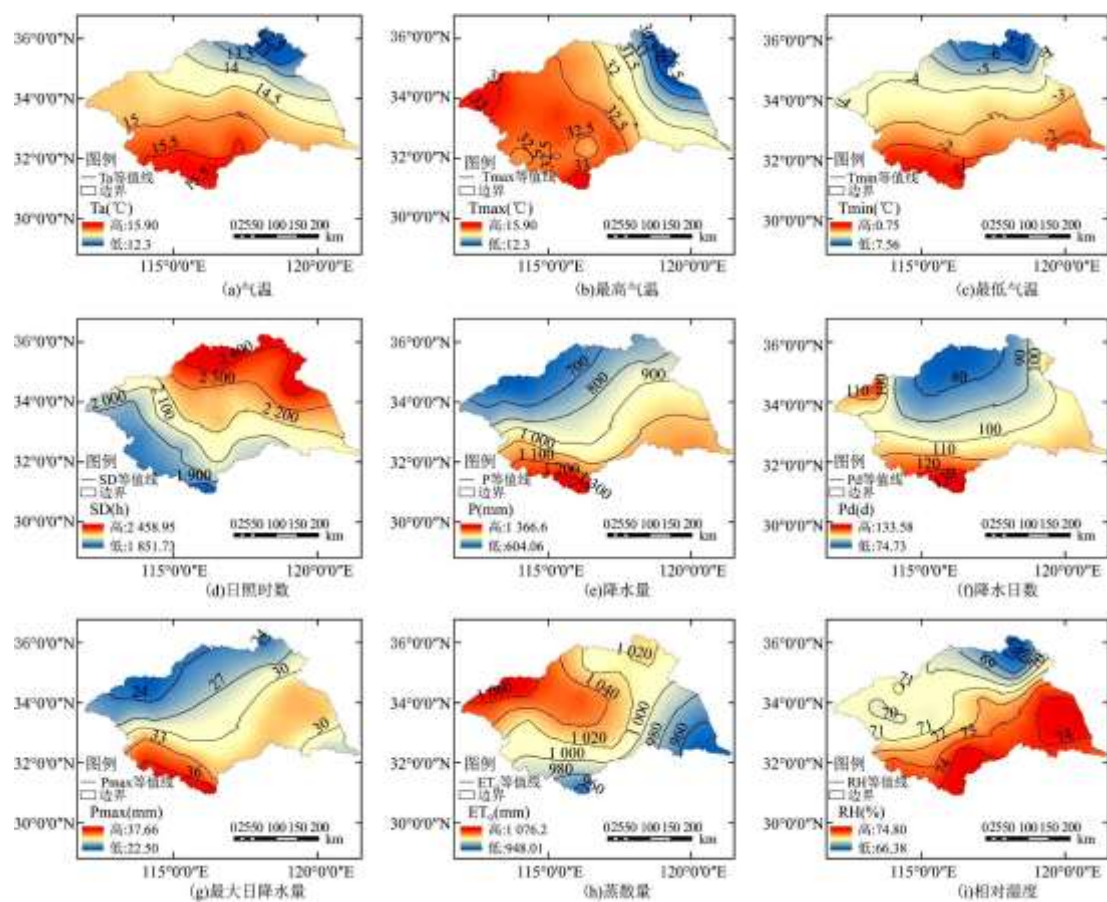


图 4 淮河流域水热要素空间分布图

根据降水量倾向率空间分布结果(图 5e)可以看出淮河流域内降水量倾向率的空间分布呈现淮河北侧波动较大,淮河流域降水增加较多的区域基本上集中在淮河中上游和淮河干流沿岸地区,其中又以流域中部蚌埠地区的降水增加最多,降水量是呈不断增加趋势。淮河流域最大日降水量是呈弱增趋势,降水天数倾向率总体来说变幅不大(图 5f),呈明显的南北差异,即由西南向东北逐渐降低的趋势;而最大日降水量倾向率(图 5g)与年降水量倾向率分布大致相同,主要以河南中东部与山东省西南部的变化为下降趋势,也就是河流上游山区,还有东部沿海地区,淮河流域中上游及沿岸地区增加最为显著,其余地区略有增加。蒸散量的倾向率范围(图 5h)在 $-244 \sim -5.5 \text{ mm}/10\text{a}$,总体呈下降趋势,且分布较为规律,以阜阳、固始、寿县、蚌埠、宿州五地为中心自西南向东北逐渐增加,中心点下降速率最快,而西北部,开封、菏泽两地则呈上升趋势;相对湿度的倾向率范围(图 5i)在 $-0.033 \sim 0.043/\text{a}$,倾向率并不大,总体呈中部变湿两边变干的格局。东部相对湿度多呈下降趋势,而西部则表现出北部上升南部下降的格局,而河流湖泊流域也呈杂乱无章的分布,且该流域下游地区呈大致南北走向由沿海向内陆气候倾向率不断升高的趋势。

2.3 研究区水热要素突变分析

利用 Mann-Kendall 检验方法对近 60a 淮河流域水热要素的变化进行突变分析。由图可知,气温近 60a 来 UF 曲线呈总体上升趋势(图 6a),UF 和 UB 曲线于 2001 年相交于置信线之间,则 2001 年就是南北过渡带气温明显降低的突变点。最高温、最低气温近 60a 来 UF 曲线呈明显下降趋势(图 6b)。最高气温 UF 和 UB 曲线于 1960~1965 年两次相交于置信线之间,则 1960~1965 年就是南北过渡带最高温明显降低的突变点。最低气温(图 6c)UF 和 UB 曲线于 2010 年相交置信线之间。从日照时数(图 6d)在 1983 年是日照时数突变的年份,同时也表明了日照时数开始出现降低的趋势,热量要素突变说明热量变化较为复杂,波动步调不一致。近 60a 来,多年降水 UF 曲线呈总体下降趋势(图 6e),UF 和 UB 波动起伏较大,不具有明显升降趋势,最大日降水量突变变化表现出同样特征。而降水日数近 60a 来 UF 曲线呈明显下降趋势(图 6f),UF 和 UB 曲线于 1977 年相交于置信线之间,1977 年淮河流域降水日数明显减少。蒸散量近 60a 来 UF 曲线呈总体下降趋势(图 6h),UF 和 UB 曲线于 1959~2018 年 1970 年间相交于置信线之间。相对湿度近 60a 来 UF 曲线呈总体上升的趋势(图 6i),UF 和 UB 曲线于 2003 年相交于信度为 0.05 的置信线 $U = \pm 1.95$ 之间,则 2003 年就是南北过渡带相对湿度明显减少的突变点。淮河流域水分要素突变起伏较为复杂,尤其是降水量变化与最大降水量变化趋势不显著,突出区域湿热变化的复杂性。

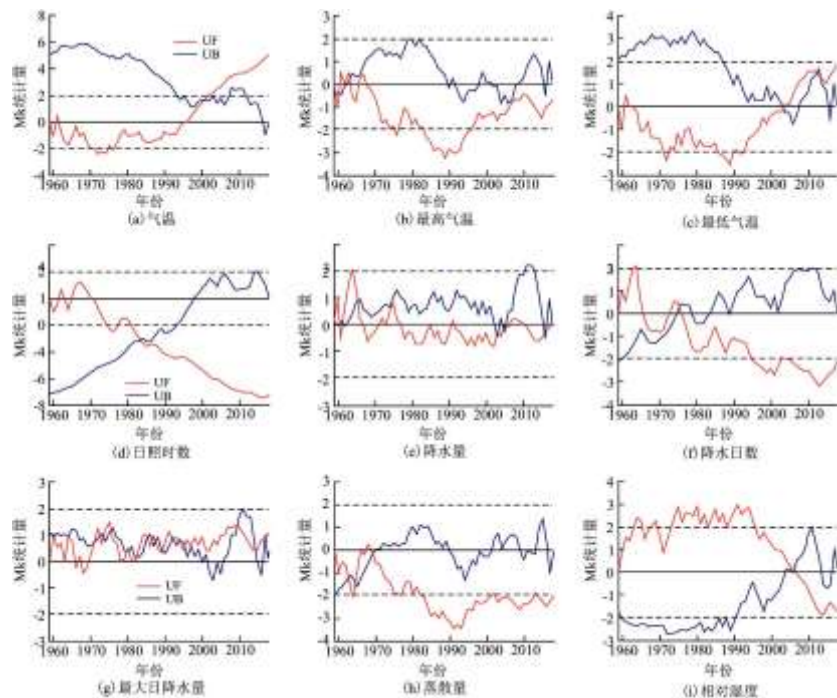


图 6 研究区 1959~2018 年的 MK 突变检验图

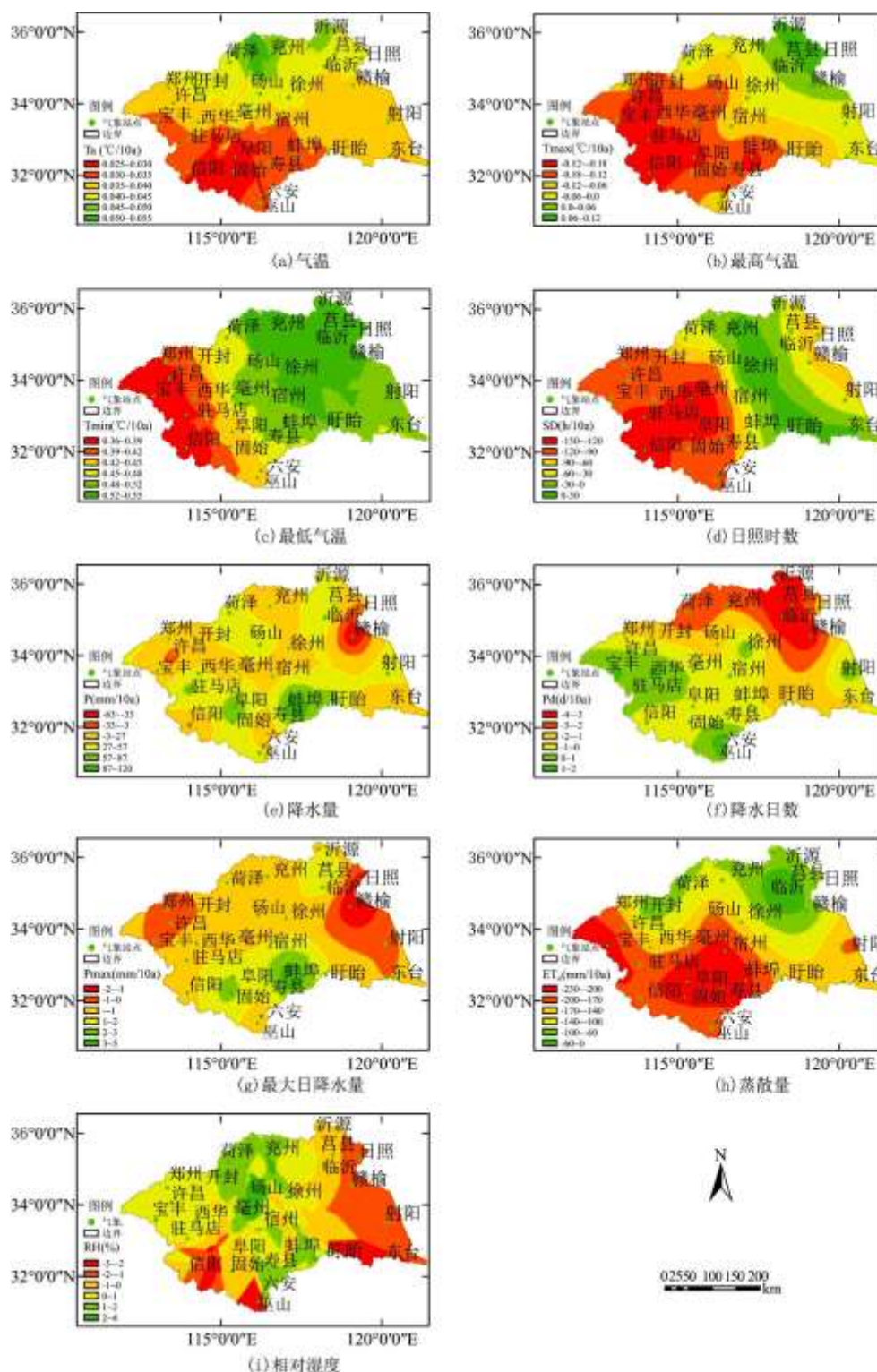


图 5 淮河流域水热要素倾向率空间分布图

3 讨论

淮河流域位于南北气候过渡带好的核心区域、典型区域,通过分析淮河流域水热要素发现,研究区气温总体呈上升趋势,响应了全球变暖大背景^[27],杜勤勤等^[5]认为年均气温、最高气温和最低气温三种要素均呈上升趋势,而本研究表明气温和最低气温呈上升趋势,而最高气温是呈缓慢下降的趋势,为本区域南北过渡性带来的高温变化波动起伏大的影响。日照时数总体呈下降的趋势,日照时数是夏季普遍比其他季节长,这与陆阳等^[28]结论相符。叶正伟等^[23]发现 1961~2015 年淮河流域气温增长速率为 0.113℃/10a,高弋斌等^[29]发现 1951~2016 年东部沿海地区气温年际趋势倾向率为 0.17℃/10a,而本研究表明淮河流域 1959~2018 年 0.22℃/10a 速率增长,增长速率相对于其他区域以及之前的对淮河流域研究结果较大,说明淮河流域气温上升趋势在近年来增温尤为显著。从空间分布来看,流域气温从西南向东北的递减趋势,这与田立鑫等^[13]研究结果一致,此外,空间分析研究表明从西南部气温增长率低于东北部,气温要素的突变不明显且突变年份较为集中。研究区东部靠海受海洋的调节作用^[30],因此气温虽有上升趋势但变化并不突出。

淮河流域降水量表现在时间序列上的突变性复杂的特点,突出其不稳定性,较符合季风气候下降降水变化的特性^[14]。研究区降水量以弱下降趋势为主,论证了全球变暖趋势下对降水带来的影响结论^[30];进而,通过年代际分析出降水要素均是先上升后下降,之后再次上升的趋势。从空间分析来看,呈现南部增多,北部减少的特征,这与叶金印等^[15]研究相符;陆阳等^[28]认为流域的中部呈现降水上升趋势,其它区域则呈现下降趋势,而数据分析表明了中南部降水呈显著上升,而中部和东部地区是下降的趋势;流域年和夏季极端降水发生时间在空间上均由西南向东北逐渐推迟^[31],这与此次研究结果一致。此次研究通过对降水日数空间分析,表明淮河流域北部和东北部是降水日数的低值区,流域南部为降水日数的高值区,这与朱继前等^[32]结论一致,另外,研究还表明了东北部降水日数呈现了大幅度下降。此外,研究还对最大日降水量进行分析,这可以表明极端降水时间和空间的差异性,研究区水热要素的复杂变化体现其南北气候过渡带的过渡性水热特征,复杂多变。

本文对淮河流域气温的辅助要素最高温、最低温,降水的辅助要素降水天数、降水日数、最大日降水量和蒸散量、相对湿度进行水热格局分析。研究表明,在 1959~2018 年间,除最高气温、最大日降水量这两个要素外均呈下降趋势。不同年代蒸散量、最低气温变化极不规律突变年份较多,而相对湿度、最高气温、降水日数变化较为稳定;年代际 60a 表明蒸散量的变化极不规律、波动较为频繁。基于以上对其他要素的研究,突出论证了本文多要素多角度研究的特色,突出区域在全球变暖背景下水热格局极其复杂。淮河流域水热要素之间呈现较为复杂的相关性。同类要素之间互相影响,相关性较高,热量因素表现出以气温变化为主体,最高温度与最低温度和气温正相关,相关系数分别为 0.438 和 0.571 ($p<0.01$),日照时数变化呈现出温度负相关(-0.420),相关性显著($p<0.01$),热量要素的变化关系加剧了研究区暖化环境状况;水分要素同样表现出以同类要素相关性较高的特征,降水天数、最大降水量、相对湿度与降水量呈显著正相关,与蒸散量呈负相关(-0.624),相关性都较为显著($p<0.01$)。水热因子相互影响集中在降水天数与气温之间的显著负相关(-0.342)、最大温度与蒸散之间显著相关(0.516)和降水与日照时数之间的负相关(-0.27)。

4 结论

(1) 淮河流域 60a 总体呈湿热的趋势,主要表现为气温、最低气温、年降水量呈波动上升,最高气温、日照时数、相对湿度和蒸散量呈波动下降趋势;从年内分布看,水热变化同期,高值集中分布在 6~7 月,呈单峰型分布;从年际变化来看,受气候变化背景与南北气候过渡影响,研究区内年均气温逐渐上升且倾向率为 0.22℃/10a。热量要素突变步调较水分要素突变稳定。

(2) 研究区内水热要素变化的空间分布差异明显,总体呈中部变湿两边变干的格局,主要表现为西南部更加湿热,西北部更加干热,东南部更加湿冷,东北部更加干冷;年平均气温呈过渡性变化总体表现为纬度越高且经度越大的地区气温越低,反之亦然;研究区南部的降水量普遍高于北部,降水量最多的地区集中在淮河流域的西南部山区,显示了地形和水汽对降水的影响,研究结果可以为更好地开发利用该区域水资源、减少旱涝灾害提供依据。淮河流域水热要素的复杂变化体现其南北气候过渡带的重要影响,构建基于多种要素探究淮河流域水热变化格局,一定程度上丰富了区域水热变化证据,为认知区域水热变化提供

科学依据。

参考文献:

- [1]IPCC.Climate Change 2013:The physical science basis.contribution of working group i to the fifth assessment report of the intergovern-mental panel on climate change[M].United Kingdom and New York,NY,USA:Cambridge University Press,Cambridge,2013.
- [2]杨晓光,李勇,代姝玮,等.气候变化背景下中国农业气候资源变化IX.中国农业气候资源时空变化特征[J].应用生态学报,2011,22(12):3177-3188.
- [3]高萌.基于 Holdridge 生命地带模型的我国南北过渡带潜在植被分布模拟[D].兰州大学,2019.
- [4]苟晓伟,常生华,程云湘,等.中国北方草原生物量年际动态[J].草业科学,2016,33(4):739-747.
- [5]杜勤勤,张明军,王圣杰,等.中国气温变化对全球变暖停滞的响应[J].地理学报,2018,73(9):1748-1764.
- [6]宋世凯.全球变暖背景下 1960-2014 年中国降水时空变化特征[D].新疆大学,2017.
- [7]曾昔.全球变暖背景下青藏高原湖泊变化特征及其对气候的响应[D].成都信息工程大学,2018.
- [8]商沙沙,廉丽姝,马婷,等.近 54a 中国西北地区气温和降水的时空变化特征[J].干旱区研究,2018,35(1):68-76.
- [9]闫丽阳,朱筱.中国东北地区植被 NDVI 对气温和降水的响应[J].科技经济导刊,2016(18):109.
- [10]王利盈.华南地区近 48 年气候变化特征及未来趋势分析[D].兰州大学,2014.
- [11]金君良,何健,贺瑞敏,等.气候变化对淮河流域水资源及极端洪水事件的影响[J].地理科学,2017,37(8):1226-1233.
- [12]Climate Change and its Impact on Water Resources in the Huai River Basin[J].Bulletin of the Chinese Academy of Sciences,2012,26(1):32-39.
- [13]田立鑫,韩美,徐泽华,等.近 50 年淮河流域气温时空变化及其与 PDO 的关系[J].水土保持研究,2019,26(6):240-248.
- [14]赵国永,韩艳,刘明华,等.1951-2014 年淮河流域降水量时空变化特征[J].信阳师范学院学报(自然科学版),2017,30(1):77-81.
- [15]叶金印,黄勇,张春莉,等.近 50 年淮河流域气候变化时空特征分析[J].生态环境学报,2016,25(1):84-91.
- [16]郑泳杰,张强,陈晓宏.1961-2005 年淮河流域降水时空演变特征分析[J].武汉大学学报(理学版),2015,61(3):247-254.
- [17]方国华,涂玉虹,闻昕,等.1961-2015 年淮河流域气象干旱发展过程和演变特征研究[J].水利学报,2019,50(5):598-611.

-
- [18] 杨秀芹, 王国杰, 叶金印, 等. 基于 GLEAM 模型的淮河流域地表蒸散量时空变化特征 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(9):133-139.
- [19] 姜敏, 高磊. 淮河流域潜在蒸散量的变化特征及其与气候因子的关系分析——以蚌埠市为例 [J]. 安徽农业科学, 2016, 44(29):186-188.
- [20] 张丽, 何晓旭, 魏鸣. 基于 NDVI 的淮河流域植被覆盖度动态变化 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(S1):51-56.
- [21] 常帅鹏, 江善虎, 任立良, 等. 淮河流域 1960~2011 年干湿时空变化特征 [J]. 水电能源科学, 2013, 31(4):9-13.
- [22] 王珂清. 近五十年淮河流域气候变化与未来情景预估 [D]. 南京信息工程大学, 2013.
- [23] 叶正伟, 纪旭, 刘育秀. 典型南北气候过渡带地区气温的时间变化特征——以淮河流域为例 [J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(3):122-131.
- [24] 顾万龙, 王纪军, 朱业玉, 等. 淮河流域降水量年内分配变化规律分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(4):426-431.
- [25] 曹永强, 高璐, 袁立婷, 等. 辽宁省潜在蒸散发量及其敏感性规律分析 [J]. 地理科学, 2017, 37(9):1422-1429.
- [26] 艾萍, 吴军澜, 王雪娇, 等. 基于 Mann-Kendall 法的水温时间序列检验 [J]. 水利水电技术, 2014, 45(2):10-12, 27.
- [27] 韩艳, 赵国永, 郭雪莲. 1951-2014 年淮河流域气温时空变化特征 [J]. 信阳师范学院学报 (自然科学版), 2017, 30(2):239-243.
- [28] 陆阳, 尹剑, 邹逸江, 等. 淮河流域近 50 年来气候变化及突变分析 [J]. 世界科技研究与发展, 2016, 38(4):814-820.
- [29] 高弋斌, 路春燕, 钟连秀, 等. 1951-2016 年中国沿海地区气温与降水量的时空特征 [J]. 森林与环境学报, 2019, 39(5):530-539.
- [30] 王欢, 李栋梁. 气候变暖背景下全球海温对中国东部夏季降水年代际转折的影响 [J]. 热带气象学报, 2019, 35(3):398-408.
- [31] 潘欣, 尹义星, 王小军. 1960-2014 年淮河流域极端降水发生时间的时空特征 [J]. 高原气象, 2019, 38(2):377-385.
- [32] 朱继前, 韩美, 徐泽华, 等. 淮河流域不同量级降雨时空分布特征及其影响因素 [J]. 水土保持研究, 2019, 26(4):87-95.