

# 海河流域不同地貌气候变化时空分析

郝振纯<sup>1</sup>, 闫龙增<sup>1</sup>, 鞠 琴<sup>1</sup>, 顿珠加措<sup>2</sup>

(1. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 2. 西藏自治区水文水资源勘测局日喀则水文水资源分局, 西藏 日喀则 857000)

**摘 要:**近百年以来,全球气候变暖显著,潜在改变了区域水循环。过去 50 a,海河流域气温增温明显,水分亏缺严重,影响了社会、经济的发展。为了探究海河流域气候时空变化特征,考虑了流域地貌差异性,将海河流域划分为山区、丘陵、平原 3 个区域进行研究。选用 1958—2011 年 34 个站点的 8 种气象要素资料,采用线性趋势法分析要素年际趋势;用 M-K 进行趋势显著性检验;用 P-M 公式计算流域潜在蒸散发并用 Spearman 法分析气象要素与潜在蒸散发之间的相关性,以探求海河流域子区域的时空变化规律和改变区域水循环的主要驱动力。分析结果显示,海河流域气候变化明显,气象要素时空变化具有显著的地带性、季节性和年际性特征。气温先下降后上升,山区升温速度较丘陵、平原快;流域降水呈整体下降,平原地区降水量降幅较山区、丘陵大;平均风速、日照时数、相对湿度均呈明显下降趋势;海河流域潜在蒸散发与相对湿度呈负相关,与日较差呈正相关。

**关键词:**海河流域;地貌;气候变化;M-K 检验;潜在蒸散发

中图分类号:P461.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)01-0056-05

## Spatiotemporal Characteristics of Climate Variation in Different Kinds of Landforms of Haihe River Basin

HAO Zhen-chun<sup>1</sup>, YAN Long-zeng<sup>1</sup>, JU Qin<sup>1</sup>, Dunzhu Jiacao<sup>2</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Xigaze Branch of the Tibet Autonomous Region Hydrology Bureau, Xigaze, Tibet 857000, China)

**Abstract:** Over the past century, global climate has become warming significantly, which changed the regional hydrologic cycle potentially. In recent 50 years, temperatures keep increasing; water deficit is serious in Haihe River Basin, which has affected the development of society and economy. In order to explore the spatiotemporal characteristics of climate change, the Haihe river basin is divided into three areas as Plateau, Hills, Plain according to the landforms' spatial heterogeneity. The spatial and temporal patterns of 8 meteorological elements at 34 meteorological stations from 1958 to 2011 were analyzed by using linear trend for inter-annual trend; using the Mann-Kendall test for significance test; using Spearman method for correlation between meteorological elements and  $ET_0$  calculated by Penman-Monteith formula. This work is to reveal the regularity of temporal and spatial variation of meteorological elements and the possible driving forces of regional water cycle. The results show that there existed obvious climate change in Haihe River Basin, the temporal and spatial variation of meteorological elements presented obvious zonal, seasonal and interannual characteristics. The temperature went through dropping first and then rising up. Plateau rising speed was faster than Hills and Plain. Precipitation was generally falling. And precipitation of Plain region fell more than Plateau and Hills. Average wind speed, sunshine hours, relative humidity were obvious downward. The potential evaporation was negatively related to the relative humidity, positively related to daily temperature range in Haihe River Basin.

**Key words:** Haihe River Basin; landforms; climate change; M-K test; potential evaporation

在全球气候变暖背景下,近百年以来,中国大部分地区亦呈显著的增温趋势。我国学者对近百年来的中

国气温变化做了不少研究,对区域的气温变化趋势和跃变分析更是给予了密切关注<sup>[1]</sup>。王绍武<sup>[2]</sup>分析了

收稿日期:2013-09-20

修回日期:2013-10-29

资助项目:全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2010CB951103);国家自然科学基金(41101015,41371047);水文水资源与水利工程科学国家重点实验室专项经费资助(1069-50985512)

作者简介:郝振纯(1958—),男,山西翼城人,博士,教授,主要从事水文水资源和气候变化影响研究。E-mail:hzchun@hhu.edu.cn

近百年我国气温变化特征,发现我国气温变化趋势基本与北半球一致,但短期的几十年的变化,表现在最冷、最暖出现的时期却不完全相同。丁一汇<sup>[3]</sup>的研究也得出类似结论,认为在具体的变化过程和幅度上与全球变化存在明显差异。任国玉<sup>[1]</sup>对中国气温变化的研究发现,华北地区是中国现代增暖最明显的地区之一,最显著的季节在冬季和春季。赵少华等<sup>[4]</sup>利用 Hargreaves 模型模拟分析了河北平原 34 a 的蒸散发、降水和气温变化。夏军<sup>[5]</sup>结合信息熵理论提出一种基于差异信息测度与 GIS 技术的时空变异分析方法,直观地表达海河流域降水、蒸发和气温等水文要素的时空变异规律。袁再健等<sup>[6]</sup>对海河流域 40 a 降水与气温长期的变化趋势和空间差异进行了分析探讨。为探究海河流域内部气候变化时空特征,对气候变化对海河区域水循环过程的影响做出可靠评估,本文考虑海河流域复杂多样的地貌类型,结合气候特征,将海河流域划分为山区、丘陵、平原 3 个区域,分析 8 种气象要素的趋势及其显著性,采用 Penman-Monteith 法计算流域潜在蒸散发,并分析影响潜在蒸散的敏感气象因子。

## 1 研究区域和方法

海河流域位于  $112^{\circ}\text{--}120^{\circ}\text{E}$ 、 $35^{\circ}\text{--}43^{\circ}\text{N}$ ，流域总面积  $31.8\text{ 万 km}^2$ ，流域内地貌类型复杂多样，流域北部是东西走向的燕山山脉，西部是南北走向的太行山脉，燕山以南、太行山以东是广阔的华北平原区，总的地势是西北高东南低，大致分山区、丘陵、平原三种地貌。其中山区面积约占  $22\%$ ，丘陵面积约占  $38\%$ ，平原面积约占  $40\%$ 。海河由北向南依次分为海河、滦河、徒骇马颊河 3 大水系，7 大河系，10 条骨干河流，河道呈扇形分布，其水系分散、河系复杂、支流众多且过渡带短、源短流急<sup>[7]</sup>。海河流域处于中国干旱和湿润气候的过渡地带，多年平均降水量  $520\text{ mm}$ ，时空分布呈明显的地带性、季节性和年际差异。

海河流域地貌类型复杂多样,为了更具代表性地分析海河流域的气候变化,根据各站点的海拔和气候特点,将海河流域划分成山区、丘陵、平原 3 个区域,划分标准如下:山区(海拔 $>900\text{ m}$ ),丘陵(海拔 $100\sim 900\text{ m}$ ),平原(海拔 $<100\text{ m}$ )<sup>[8-9]</sup>。其中山区有 7 个气象站,丘陵地区有 8 个气象站,平原地区有 19 个气象站(图 1)。本文采用的国家气象局 34 个气象站 1958—2011 年共 54 a 的逐月气象资料包括:平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均相对湿度、降雨量、平均风速、日照时数和实测小型蒸发皿蒸发量。时段分析时降水、日照时数和蒸发为累加值,其它为平均值。

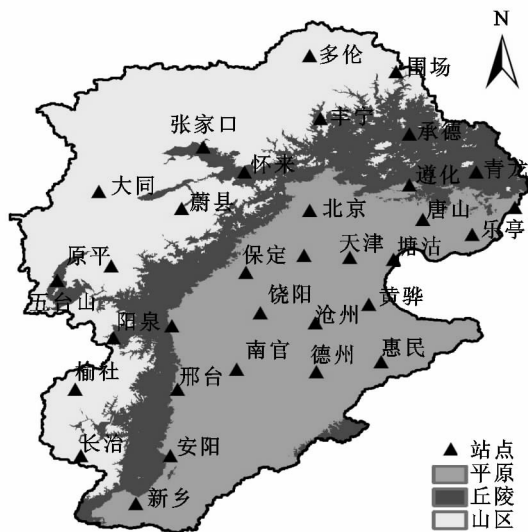


图 1 海河流域山区、丘陵、平原划分及站点分布

## 2 结果与分析

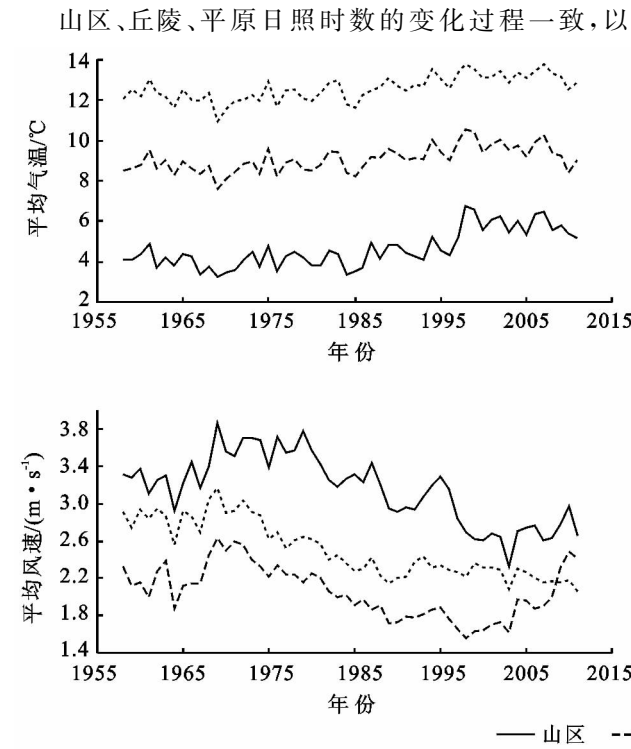
## 2.1 线性倾向

由图 2 及表 1 可以看出,海河流域气象要素在山区、丘陵、平原的变化趋势总体一致,但不同地区不同时间段的变化差异较明显。表现在以下几方面:54 a 间海河流域平均气温、最高、最低温度均呈上升趋势,且发生波动的时段基本同步。山区、丘陵、平原地区多年平均气温分别为  $4.6^{\circ}\text{C}$ 、 $9.1^{\circ}\text{C}$  和  $12.6^{\circ}\text{C}$ ,山区平均温度上升最快,丘陵区次之,平原区上升最慢。最低温度上升速度要大于最高温度,故日较差表现出下降趋势,其中平原地区表现得尤为明显。山区、丘陵地区日较差很相近,分别为  $12.8^{\circ}\text{C}$  和  $12.6^{\circ}\text{C}$ ,大于平原区的  $10.6^{\circ}\text{C}$ 。气温的四季变化与年平均变化趋势一致,山区、丘陵、平原区冬季气温上升比其它季节都快,夏季上升速度最慢且变幅也较小。

山区、丘陵、平原地区多年平均降水量分别为 475.10, 490.15, 565.91 mm, 平原区降水量明显大于另外两个区域, 3 个地区降水量均呈下降趋势, 其倾向率分别为山区  $-19.30 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 、丘陵  $-16.28 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 、平原  $-20.12 \text{ mm}/10 \text{ a}$ , 丘陵降水量下降速度低于山区平原。1958—1978 年间降水呈增加趋势, 但增幅并不剧烈, 1983 年后趋于平缓, 1993—1996 年有短时段的上升, 1996 年以后降水量又持续下降。夏季降水变化趋势与年降水变化在时域上的分布有很大的相似性, 即主汛期降水完全控制全年降水, 山区、丘陵、平原夏季降水倾向率分别为  $-14.96 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 、 $-19.79 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 、 $-23.54 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 。山区四季降水均呈减少趋势, 丘陵、平原春季降水均有增加, 丘陵冬季和平原秋季降水略有增加, 3 个地区

冬季降水基本没有变化。

山区、丘陵、平原地区平均风速、日照时数、相对湿度、气候倾向率都小于 0，呈波动下降趋势(图 2 仅列出平均风速变化过程线)。平均风速先升高后降低，丘陵、平原风速变化基本同步，山区平均风速大于平原，丘陵平均风速最小且下降速度最慢，三地区冬季和春季的平均风速减少速度较快，夏季最慢。



20 世纪 80 年代为界，先增多后减少，总体呈下降趋势，平原区变幅最大，山区最小。平原地区年平均日照时数明显少于山区、丘陵，且平原日照时数减少最快，为-8.62 h/10 a，其次是丘陵地区-6.45 h/10 a。3 个地区夏季日照时数下降最多，春季最少，秋冬季下降速度比较接近。流域呈现日照时数偏少的气候态，与华北地区空气中气溶胶颗粒的“阳伞效应”以及观测站周围障碍物高度角的增加有关。

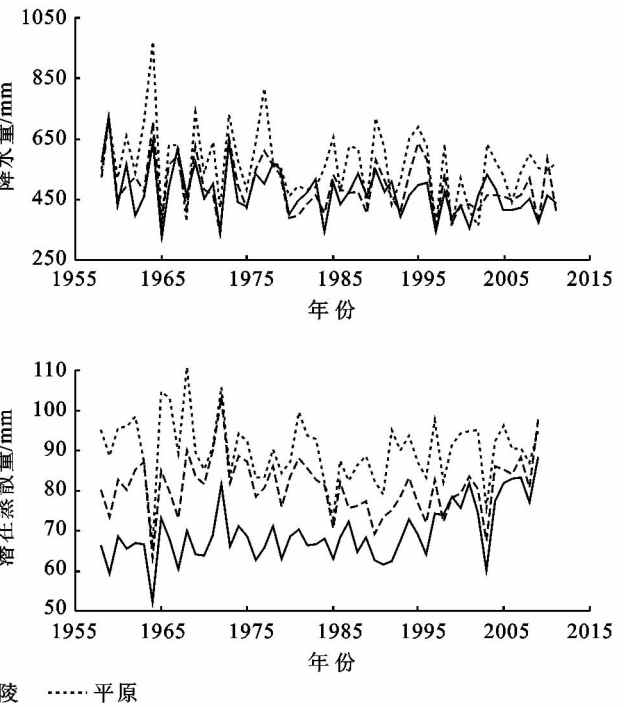


图 2 1958—2011 年山区、丘陵、平原年平均气象要素过程线

表 1 海河流域气象要素气候倾向率

时间	地区	平均温度 (℃/10 a)	最高温度 (℃/10 a)	最低温度 (℃/10 a)	日较差 (℃/10 a)	平均风速 (m/s · 10 a)	日照时数 (h/10 a)	相对湿度 (%/10 a)	降水量 (mm/10 a)	ET <sub>0</sub> (mm/10 a)
年平均	山区	0.43	0.44	0.45	-0.01	-0.17	-3.90	-0.60	-19.29	2.66
	丘陵	0.24	0.18	0.37	-0.18	-0.09	-6.45	-0.29	-16.28	-0.24
	平原	0.27	0.12	0.42	-0.30	-0.17	-8.62	-0.71	-20.12	-0.75
春季	山区	0.40	0.39	0.42	-0.03	-0.17	-3.15	-0.92	-0.51	0.68
	丘陵	0.22	0.16	0.36	-0.20	-0.12	-5.72	-0.36	3.69	-0.41
	平原	0.31	0.15	0.49	-0.34	-0.23	-4.72	-0.70	2.98	-0.56
夏季	山区	0.36	0.41	0.35	0.07	-0.07	-5.41	-0.88	-14.96	1.19
	丘陵	0.16	0.19	0.25	-0.06	-0.01	-8.30	-0.47	-19.79	0.25
	平原	0.14	0.03	0.26	-0.23	-0.11	-12.78	-0.55	-23.54	-0.23
秋季	山区	0.38	0.43	0.39	0.03	-0.15	-3.18	-0.37	-2.52	0.58
	丘陵	0.20	0.17	0.31	-0.14	-0.07	-5.68	-0.50	-0.17	0.11
	平原	0.24	0.13	0.35	-0.22	-0.14	-8.50	-1.08	0.61	0.11
冬季	山区	0.56	0.54	0.63	-0.10	-0.29	-3.93	-0.28	-1.13	0.20
	丘陵	0.37	0.21	0.53	-0.32	-0.17	-6.14	0.24	0.10	-0.19
	平原	0.41	0.19	0.59	-0.39	-0.21	-8.29	-0.63	-0.17	-0.15

平原地区相对湿度最大，年平均值为 62.53%，山区、丘陵年均值分别是 57.98%，53.50%。丘陵地区冬季相对湿度有较小的上升，但其它季节均下降。山区相对湿度春夏季减少较快，平原相对湿度秋冬季

节减少较快。相对湿度的变化分别在 1965 年、1979 年、1992—1993 年、2003 年出现峰值，短期变幅较大，总体呈先上升后降低的趋势，丘陵地区相对湿度变幅最小，而平原在 1974—1993 年间相对湿度变幅较大，

其余时段变幅很相近。

山区、丘陵、平原区潜在蒸散发( $ET_0$ )变化并不一致,山区  $ET_0$  增加,增幅 2.66 mm/10 a,丘陵和平原区  $ET_0$  减少,且平原区减少较快。山区  $ET_0$  在 1995 年前持续减少,之后增加剧烈;丘陵、平原区  $ET_0$  变化同步,1976 年前  $ET_0$  增加,1976—1983 年变化平缓,之后持续降低,2000 年后波动变化。3 个地区  $ET_0$  夏季变幅最大,其次是春季。山区年平均及四季的  $ET_0$  均增加,丘陵地区  $ET_0$  减少时段在冬春季节,夏秋季有所增加,平原区  $ET_0$  也在秋季增加,其它季节减少。

表 2 气象要素 Mann-Kendall 检验统计量 Z 值( $\alpha=0.05$ )<sup>[10]</sup>

时间	地区	平均温度	最高温度	最低温度	日较差	平均风速	日照时数	相对湿度	降水量	$ET_0$
年平均	山区	5.25	5.04	5.18	-0.38	-5.27	-4.69	-3.51	-2.49	3.78
	丘陵	4.32	3.25	6.00	-3.95	-4.09	-6.48	-1.68	-1.87	-0.54
	平原	5.33	2.28	6.61	-6.12	-7.42	-6.86	-3.10	-1.69	-0.87
春季	山区	3.74	3.35	3.59	-0.60	-4.82	-2.07	-2.00	0.10	2.55
	丘陵	2.93	2.12	4.53	-2.51	-4.01	-3.64	-1.10	1.88	-0.19
	平原	3.91	1.71	5.97	-4.93	-7.27	-2.65	-1.40	1.97	0.01

从表 2 中各气象要素 Mann-Kendall 检验统计量 Z 值可知,海河流域山区、丘陵、平原地区气象要素变化趋势与线性趋势方法的结果一致。山区、丘陵、平原的平均温度和最低温度年均值和四季均呈显著上升趋势,山区和平原区的最高温度年平均和四季均上升显著,丘陵地区秋冬季节最高温度上升并不显著。受最高、最低温度变化影响,日较差在平原下降显著,在山区变化不显著,丘陵地区日较差除夏季外其它季节下降显著。山区、丘陵、平原年均降水量均下降但仅在山区下降显著。山区、丘陵、平原地区降水量年内分布表现为:夏季都表现出显著的下降趋势,春季降水量均有增加,且平原区增幅显著,而秋季和冬季降水量在 3 个地区有升有降,但变化不明显。

除了丘陵地区夏季平均风速下降不明显外,山区、丘陵、平原地区其它季节及年平均风速均显著下降。全流域的日照时数年变化和季节变化均呈显著性下降。3 个地区的平均相对湿度都有下降趋势,但下降时段存在差异,山区春夏季下降显著,丘陵下降并不显著,平原区夏秋季下降显著。山区年平均及春夏秋季潜在蒸散发均显著增加,冬季增加不显著,丘陵和平原区潜在蒸散发总体减少,但变化不显著。

2.3 流域蒸散发分析

气候变化会对水文循环产生影响,蒸散发是水文循环的重要环节,既关系到水量平衡和水量转化,同时也关系到地表的能量平衡,是水循环中最直接受气候变化影响的一项。分析蒸散发变化的气候敏感性对于深入理解气候变化对水文循环的影响具有重要的理论和实践意义。1998 年联合国粮农组织(FAO)

2.2 显著性检验

Mann-Kendall 检验是目前应用最为成熟的基于秩的非参数统计检验方法,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,更适用于类型变量和顺序变量<sup>[10]</sup>。该方法常用于温度、降水、径流量等水文时间序列变化趋势的显著性检验,主要通过计算标准化变量 Z 来判断序列趋势是否显著<sup>[11]</sup>。本文取  $\alpha=0.05$  的显著水平,如果一时间序列在此置信水平下存在显著变化趋势,则  $|Z|>Z_{\alpha/2}=1.96$ ,Z 值为正,表明具有上升趋势,Z 值为负,则为下降趋势。检验结果如表 2 所示(仅列出年平均和春季的 Z 值)。

推荐 FAO Penman-Monteith 公式作为计算参考作物蒸发量的唯一标准方法,是因为这一方法以能量平衡和水汽扩散理论为基础,既考虑了作物的生理特征,又考虑了空气动力学参数的变化,具有较充分的理论依据和较高的计算水平<sup>[12]</sup>。

$$ET_0=0.408\Delta(R_n-G)+\gamma[900/(T+273)]$$
$$u_2(e_s-e_a)[\Delta+\gamma(1+0.34u)] \tag{1}$$

34 个测站 20 cm 水面蒸发与  $ET_0$  平均折算系数是 0.45。不同测站的折算系数有所区别,与测站位置有关<sup>[13]</sup>。影响折算系数的因素很多,首先是蒸发皿系数,本文采用的实测蒸发资料是 20 cm 蒸发皿的数据,蒸发皿系数(转换到水面蒸发)约为 0.6 左右;其次是参照作物蒸发率与水面蒸发的比值;再次就是气温—蒸发计算模式在不同条件下的适应性<sup>[14-15]</sup>。山区、丘陵、平原地区计算潜在蒸发与实测蒸发的线性相关系数 r 分别是:0.81,0.86,0.91,相关系数都较高,表明 Penman-Monteith 方法蒸发计算结果符合要求。

不同气象要素的变化造成蒸发在时间和空间上的波动,在不同区域起着不同的作用。每个气象要素对潜在蒸发变化的影响程度取决于两个方面,一是气象要素对  $ET_0$  的敏感性;二是该气象要素的变化趋势和程度。因此,对不同的区域需具体分析蒸发规律变化的原因,定量评估每个气象要素对  $ET_0$  变化的贡献程度。M-K 显著性检验结果显示,海河流域山区潜在蒸散发呈显著增加趋势,在丘陵平原地区潜在蒸散发减少。由表 3—4 可知,总体来看,海河流域内影响潜在蒸散发的气象要素主要有气温日较差、相对湿度,其中  $ET_0$  与相对湿度和日较差有显著的相关

关系,且与相对湿度呈负相关,与日较差呈正相关。山区平均温度、最高温度增加显著,相对湿度显著减小,日较差减小不显著,因此山区潜在蒸散发显著增加主要是由平均温度、最高温度升高,相对湿度减小引起的;丘陵地区相对湿度减小并不显著,而日较差和平均风速显著减小,说明丘陵地区的 ET<sub>0</sub> 增加是由

于日较差和平均风速的减小导致的;平原区日较差、相对湿度均显著下降,是影响 ET<sub>0</sub> 增加的原因。3 个区域潜在蒸散发的敏感性因素并不相同,日较差在丘陵、平原地区对潜在蒸散发敏感,相对湿度在山区、平原地区对蒸散发敏感,而平均温度、最高温度仅在山区对蒸散发敏感,平均风速仅在丘陵对蒸散发敏感。

表 3 各气象要素与 ET<sub>0</sub> 的 Spearman 相关系数

区域	相对湿度	平均气压	日照时数	平均风速	平均温度	日较差	最高温度	最低温度
山区	-0.794**	0.347*	0.112	-0.308*	0.583**	0.583**	0.659**	0.407**
丘陵	-0.611**	-0.317*	0.443**	0.566**	0.029	0.659**	0.237	-0.230
平原	-0.514**	-0.366**	0.397**	0.355**	0.205	0.513**	0.499**	-0.098

注:\* 表示 95%置信度,\*\* 表示 99%置信度。

表 4 Spearman 相关程度分级表

相关系数的值	相关程度	相关系数的值	相关程度
$ r =0$	完全不相关	$0.5< r \leq 0.8$	显著相关
$0< r \leq 0.3$	微弱相关	$0.8< r <1$	高度相关
$0.3< r \leq 0.5$	低度相关	$ r =1$	完全相关

3 结论

(1) 线性趋势法和 M-K 显著性检验结果显示,海河流域山区、丘陵、平原地区平均气温、最高、最低温度均呈上升趋势,山区升温速度最快;季节变化与年平均变化趋势一致,春夏秋冬季节气温变幅略小于年平均,冬季气温变幅较大。最低温度上升速度大于最高温度,故日较差呈下降态势,平原地区表现得尤为显著。

(2) 降水量呈整体下降的同时,又有连丰或连枯的现象,且主汛期降水控制全年降水。平原地区降水量降幅较山区、丘陵大。

(3) 山区、丘陵、平原地区平均风速、日照时数、相对湿度均显著下降。山区平均风速大于平原,下降速度一样,丘陵地区下降最慢,年内变化冬春季平均风速减少较快。年平均日照时数平原减少最快,丘陵其次,年内变化夏季下降最快,这与夏季测站周围障碍物高度角增加有关。3 个地区平均相对湿度都下降,丘陵地区冬季小幅上升。

(4) 山区 ET<sub>0</sub> 增加,丘陵、平原区 ET<sub>0</sub> 同步减少,且平原区减少较快,ET<sub>0</sub> 夏季变幅最大。

(5) FAO Penman-Monteith 法计算的潜在蒸散发与实测小型蒸发平均折算系数为 0.449。Spearman 相关分析结果显示,海河流域潜在蒸散发与相对湿度和日较差有显著的相关关系,且与相对湿度负相关,与温度差呈正相关。山区潜在蒸散发还与平均温度、最高温度显著正相关,丘陵地区潜在蒸散发与平均风速有显著的正相关关系。

参考文献:

[1] 唐国利,任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):791-798.

[2] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势[J]. 气象,1990,16(2):11-15.

[3] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象,1994,20(12):19-26.

[4] 赵少华,杨永辉,邱国玉,等. 河北平原 34 年来气候变化趋势分析[J]. 资源科学,2007,29(4):109-113.

[5] 夏军,欧春平,王中根. 基于 GIS 和差异信息测度的海河流域水文气象要素时空变异性分析[J]. 自然资源学报,2007,22(3):409-414.

[6] 袁再健,沈彦俊,褚英敏,等. 海河流域近 40 年来降水和气温变化趋势及其空间分布特征[J]. 水土保持研究,2009,16(3):24-26.

[7] 褚健婷,夏军,许崇育,等. 海河流域气象和水文降水资料对比分析及时空变异[J]. 地理学报,2009,64(9):1083-1092.

[8] Wang W, Peng S, Yang T, et al. Spatial and temporal characteristics of reference evapotranspiration trends in the Haihe River basin, China[J]. Journal of Hydrologic Engineering,2010,16(3):239-252.

[9] 杨斌,顾秀梅,刘建,等. 基于 ArcGIS 的山地与非山地分类方法体系研究[J]. 国土资源遥感,2011,23(4):64-68.

[10] 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.

[11] 江微娟. 黄河源区气候变化特征分析[D]. 南京:河海大学,2009.

[12] 郝振纯,杨荣榕,陈新美,等. 1960—2011 年长江流域潜在蒸发量的时空变化特征[J]. 冰川冻土,2013,35(2):408-419.

[13] 陈吉琴. 近 50 a 来长江流域气象因素分析及蒸发变化原因初探[D]. 南京:河海大学,2007.

[14] 杨永胜,赵琪,闫斌,等. E-601 型蒸发器与  $\phi 20$  cm 蒸发皿观测资料的相关分析[J]. 水文,2003,23(5):42-44.

[15] 罗健,荣艳淑. 几种潜在蒸散量经验公式在华北地区的应用评价[OL]. 中国科技论文在线,2007.