文章编号:1000-7601(2019)03-0275-08 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2019.03.36

近 55 年来青海省海东市气候变化特征及影响因子分析

裴玉芳[1,3],祁栋林[2],张启发[1],赵全宁[2]

(1.青海省民和县气象局,青海 川口镇 810801; 2.青海省气象科学研究所,青海 西宁 810001;
3.青海省防灾减灾重点实验室,青海 西宁 810001)

摘　要:利用青海省海东市 5 个气象台站 1961-2015 年气候资料,采用线性回归和 Mann-Kendall 突变检测等方法,对海东市近 55 年的年和季平均气温、降水量、日照时数、风速、沙尘日数、云量和相对湿度等气候要素以及降水日数、潜在蒸散量和湿润指数的变化趋势和变化特征进行了研究,结果表明:(1)近 55 年海东市随着气候变暖降水减少(减少速率-4.9 mm·$(10a)^{-1}$),总体呈现不明显的"暖干化"趋势。年平均气温和潜在蒸散量呈现显著的上升趋势(上升速率 0.33℃·$(10a)^{-1}$和 7.9 mm·$(10a)^{-1}$),年降水日数、平均风速、沙尘暴日数、日照时数、云量和相对湿度表现为显著减少趋势(减少速率分别为-2.3 d·$(10a)^{-1}$、-0.13 m·s^{-1}·$(10a)^{-1}$、-6.3 d·$(10a)^{-1}$、-36.6 h·$(10a)^{-1}$、-0.12 成·$(10a)^{-1}$和-0.7%·$(10a)^{-1}$),湿润指数和降水量表现为不显著的减少趋势。(2)海东市年平均气温和潜在蒸散量分别在 1995-1996 年和 2001 年发生了显著的突变性升高,年平均风速、降水日数、日照时数、总云量和相对湿度分别于 1982 年、1993-1994 年、2002-2003 年、1984 年、2009-2010 年呈显著突变性减小,降水量和湿润指数的变化未达到突变标准。(3)海东市冬季气温变化与青藏高原指数、北极涛动指数和西风环流指数有明显的正相关关系,青藏高原的动力和热力作用对高原东北侧的海东市气温变化有很重要的影响,而该地区温度还受由北极涛动引起的冬季风和西风环流的影响。海东市夏季降水量与南亚夏季风指数和北极涛动指数有较好的负相关,南亚夏季风的进退以及所携带的水汽是影响该区域降水量变化的主要因素之一。

关键词:气候变化;潜在蒸散量;湿润指数;影响因子;海东市

中图分类号:S162　　**文献标志码**:A

Analysis of climate change characteristics and influence factors in Haidong of Qinghai Province in recent 55 years

PEI Yu-fang[1,3], QI Dong-lin[2], ZHANG Qi-fa[1], ZHAO Quan-ning[2]

(1. *The Meteorological Administration of Minhe County*, *Chuankou*, *Qinghai* 817200, *China*;
2. *Institute of Qinghai Meteorological Science Research*, *Xining*, *Qinhai* 810001, *China*;
3. *Qinghai Key Laboratory of Disaster Preventing and Reducing*, *Xining*, *Qinhai* 810001, *China*)

Abstract: Using climatic data of 1961-2015 from 5 meteorological stations in Haidong, Qinghai Province, and the method of linear regression and Mann-Kendall mutation detection, the climatic factors such as average annual and seasonal temperatures, precipitation, sunlight hours, wind speed, dust day, cloud, and relative humidity, as well as the change trend and change characteristic of the raining days, potential evapotranspiration, and humidity index were studied. The result showed: (1) In recent 55 years, Haidong had been warmer with the decrease of precipitation (-4.9 mm·$(10a)^{-1}$), showing an obvious 'warmer and dryer' trend. The annual average temperature and potential evapotranspiration showed a significant increase trend (0.33 ℃·$(10a)^{-1}$ and 7.9 mm·$(10a)^{-1}$), the number of annual precipitation days, the average wind speed, the number of sandstorm days, sunshine hours, cloud and relative humidity showed a significant decrease trend(-2.3 d·$(10a)^{-1}$, -0.13

收稿日期:2018-05-30　　**修回日期**:2019-05-14

基金项目:青海省科技厅项目(2017-SF-131);公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506001);青海省防灾减灾重点实验室"青海省冬小麦发育期及产量精准化预报"

作者简介:裴玉芳(1981-),女,青海乐都人,工程师,从事综合气象业务观测工作。E-mail:517844289@qq.com

通信作者:祁栋林(1967-),男,青海乐都人,高工,从事大气成分和气候变化分析研究,E-mail:qidl007@163.com

m · s^{-1} · $(10a)^{-1}$, −6.3 d · $(10a)^{-1}$, −36.6 h · $(10a)^{-1}$, −0.12 · $(10a)^{-1}$ and −0.7% · $(10a)^{-1}$), the humidity index and precipitation showed decreased trend but not significant. (2) The average annual temperature and potential evapotranspiration had a significant abrupt increase in 1995−1996 and 2001. The average annual wind speed, the number precipitation days, the sunshine hours, the total cloud and relative humidity significantly lower in 1982, 1993−1994, 2002−2003, 1984 and 2009−2010, while the change of the humidity index did not reach the mutation standard. (3) There was a significant positive correlation between the winter temperature change in Haidong and the Qinghai Tibet Plateau index, the Arctic Oscillation Index and the westerly circulation index. The dynamic and thermodynamic effects of the Qinghai Tibet Plateau had an important influence on the temperature changes in Haidong, which was located in the northeast side of plateau, and the temperature in this area was also affected by the winter wind and the westerly circulation caused by the Arctic Oscillation. The summer precipitation in Haidong had a greater negative correlation with the south Asian summer monsoon index and the Arctic Oscillation Index. The advance and retreat of the south Asian summer monsoon and its water vapor were one of the main factors affecting the precipitation in study area.

keyword: climate change; potential evapotranspiration; humidity index; influence factors; haidong city

近几十年来,全球气候变暖对人们生活和经济发展的影响已成为热点问题。有研究表明,近百年来全球气候变化的主要特征是变暖,IPCC 第五次气候评价报告指出,近 50 年中国的变暖更加明显,大约为 0.62~0.94℃,已引起了全社会的高度重视[1]。目前,国内学者在气候变化方面开展了许多的分析工作[2-10],不同区域气候变化特征既有相似之处亦有区域差异。任国玉等[2]和唐国利等[3]研究指出,中国地表年平均气温明显增暖,各地对气候变暖的响应并不相同,气温变化具有明显的季节性和区域性差异;唐红玉等[4]分析认为,中国年和季平均最低气温的增暖幅度明显大于平均最高气温的增暖幅度;虞海燕等[5]对全国 194 个气象站 1951-2009 年日照、温度、风速和降水资料进行分析研究得出,全国年日照时数、风速等均呈现显著减少趋势。李鹏飞等[6]指出,干旱区东部地区降水量呈减少趋势,西部地区降水量呈增多趋势。李栋梁等[7]阐述了西北地区气候正由暖干向暖湿转型的情况。汪青春等[8]研究显示,1961~2007 年青海气温变化趋势与同期全国气温变化趋势基本一致,变暖的季节主要是冬季,年降水量略呈增多趋势,降水日数在减少。

目前,部分学者曾对青海省东部农业区或河湟谷地近几十年气候变化特征进行研究[9-11]。陈晓光等[9]、赵燕宁等[10]和梅朵等[11]研究指出,青海省东部农业区或河湟谷地及西宁市年、季平均气温呈显著增暖趋势,年降水量则呈现减少趋势;以上研究的气候要素主要限于温度等单一气候因子,而对于地处东部农业区的海东市而言,对生态环境产生重要影响的能量供给因子(平均温度、日照时数、云量)、空气动力因子(风速、沙尘日数)和湿度因子(降水量、降水日数、相对湿度)等气候因子的变化特征的研究比较少,难以全面概括出青海省海东市气候变化特征。

近几十年来,有关海东市光、温、湿、风等多种气候要素变化趋势和变化规律,尤其是对潜在蒸散量和地表湿润指数的变化的研究,目前还较少见。因此,全面、客观地分析海东市近 55 年来的气候变化规律,对适应气候变化,采取趋利避害的生态环境保护和工农业生产管理技术措施具有重要参考价值。

1 研究区域概况与资料方法

1.1 研究区域概况

海东市位于青海高原东部(35°26′~37°05′N, 100 °41′~103 °04′E,海拔 1 650~4 754 m),是西北干旱区的重要组成部分。现辖乐都区、平安区、互助县、民和县、化隆县、循化县,总面积 1.32 万 km^2,是青海省主要的工农业区和人口积聚区,也是青海省粮食主产区。由于受海拔高度、西风环流系统和季风的影响,气候变暖,其水资源匮乏、水土流失和沙漠化严重,属于典型的干旱、半干旱大陆性气候和生态环境脆弱或恶劣地区。其地形地貌复杂,气候基本特点是:高寒、干旱,日照时间长,太阳辐射强,昼夜温差大,冬夏温差小,海拔 3 000 m 以上的北部山区较寒冷,海拔 1 700~2 500 m 的黄河、湟水河谷地带较温暖。年平均气温 3.2~8.6℃左右,年平均降水量在 319.2~531.9 mm 之间,集中在 5-9 月,冬末春初时期多大风天气。

1.2 气象资料

选取青海省海东市境内的互助、循化、化隆、乐

都、民和等 5 个资料序列完整且具有较好代表性的气象台站(平安气象站建站时间较晚未参加统计分析)1961-2015 年逐月平均气温、降水量、降水日数(≥0.1 mm)、日照时数、风速、沙尘日数、云量、相对湿度、潜在蒸散量和相对湿润度指数等气候要素,并以 5 站各要素序列的算术平均值代表海东市气候变化的时间序列,站点分布图见图 1。

气象季节划分:春季(3-5 月)、夏季(6-8 月)、秋季(9-11 月)和冬季(12 月-次年 2 月),以 1981-2010 年平均值代表 30 年气候平均值。

1.3　研究方法

1.3.1　气候倾向率　通常用一次直线方程来描述气候要素的变化趋势[12]:

$$y(t) = a + bt \tag{1}$$

式中,t 为时间序列,a 为经验系数,可通过回归分析方法中的最小二乘法求取,b 为趋势变化率,当 b 为正(负)表示气候要素有增加(减小)趋势,$b \times 10$ 为气候倾向率,表示气候要素 10a 的变化速率。

1.3.2　Mann-Kendall 方法　MK 法[12]通过构造正序列(UF)和逆序列(UB)进行计算,根据正、逆序列统计量的曲线判断气象要素的变化趋势及突变特征。该方法的优点是数据序列不需要遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰。

1.3.3　湿润指数计算　湿润指数是反映干湿程度的一个相对指标,它能客观地反映某一地区的水热平衡状况[13]。计算公式为:

$$K = P/ET \tag{2}$$

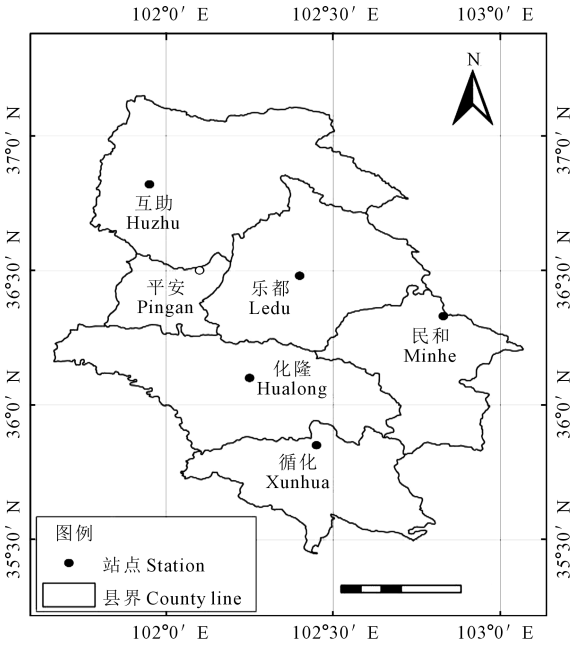

图 1　青海省海东市 5 个气象站点分布图

Fig.1　Five meteorological site map in Haidong City of Qinghai

式中,K 为湿润指数,P 为降水量(mm),ET 为潜在蒸散量(mm)。某一地区的湿润指数越大,则表明该区气候越湿润,而湿润指数越小,则气候越干燥。潜在蒸散量又称为最大可能蒸发或蒸发力,其计算方法很多,而由国家标准(GB/T20481-2006)《气象干旱等级》推荐的 Thornthwaite[14]方法计算相对简单,需要的气象要素少,因此本文采用此方法进行计算。具体的过程和公式可参考相关文献[15]。

2　结果与分析

2.1　各要素年际和年代际变化

2.1.1　平均气温变化　1961-2015 年海东市各站年平均气温差异明显(2.7~8.9℃),近 55 年其变化趋势基本一致,在波动中逐渐上升,各站年平均气温分别以 0.25~0.42℃·(10a)$^{-1}$的倾向率上升,整体平均气温上升倾向率为 0.33℃·(10a)$^{-1}$(图 2(a));1990 年之前的年平均气温距平以负距平为主,之后则以正距平为主。四季平均气温均呈现极显著增高的趋势,其中冬季增幅最大,达 0.49℃·(10a)$^{-1}$,春秋季次之,为 0.28℃·(10a)$^{-1}$;夏季增温幅度最小,为0.27℃·(10a)$^{-1}$,年和四季均通过 0.01 的显著性检验。近 55 年海东市年平均气温的均值为6.2℃,最低值为4.9℃(1967 年),最高值为 7.7℃(2013 和 2015 年)。年和四季平均气温分别升高了 1.8、1.5、1.5、1.6℃和2.7℃。可见,海东市年和四季平均气温变化趋势与全国[3]和青海省[9,16]年均温和四季均温变化趋势相同。

从气温的年代际距平变化来看,海东市年平均气温年代际变化呈现明显的变暖趋势(表 1),20 世纪 60 年代、70 年代和 80 年代平均气温总体偏冷,但期间气温已呈现年代际上升趋势,90 年代开始变暖加速,其后气温逐年升高且上升幅度逐年增大。

2.1.2　降水变化　在全球变暖背景下,中国近百年来降水量表现出不断减少的趋势,但是西部地区降水量呈明显的增加趋势,而且以西北地区表现最为明显[16-17]。

海东市各站年降水量为 266.4~518.1 mm,年降水日数为 74.4~130.4 d,差异明显。但近 55 年年降水量除循化站表现为增加趋势外(3.1 mm·(10a)$^{-1}$)其他 4 站表现为减少趋势(-1.0~-16.9 mm·(10a)$^{-1}$),仅互助站通过 0.05 的显著性检验;年降水日数各站均表现为减少趋势(-0.04~-7.5 d·(10a)$^{-1}$),其中互助和化隆站减少趋势明显,气候倾向率分别为-7.5 d·(10a)$^{-1}$和-3.2 d·(10a)$^{-1}$,其他三站减少趋势不明显。海东市整体年降水量和

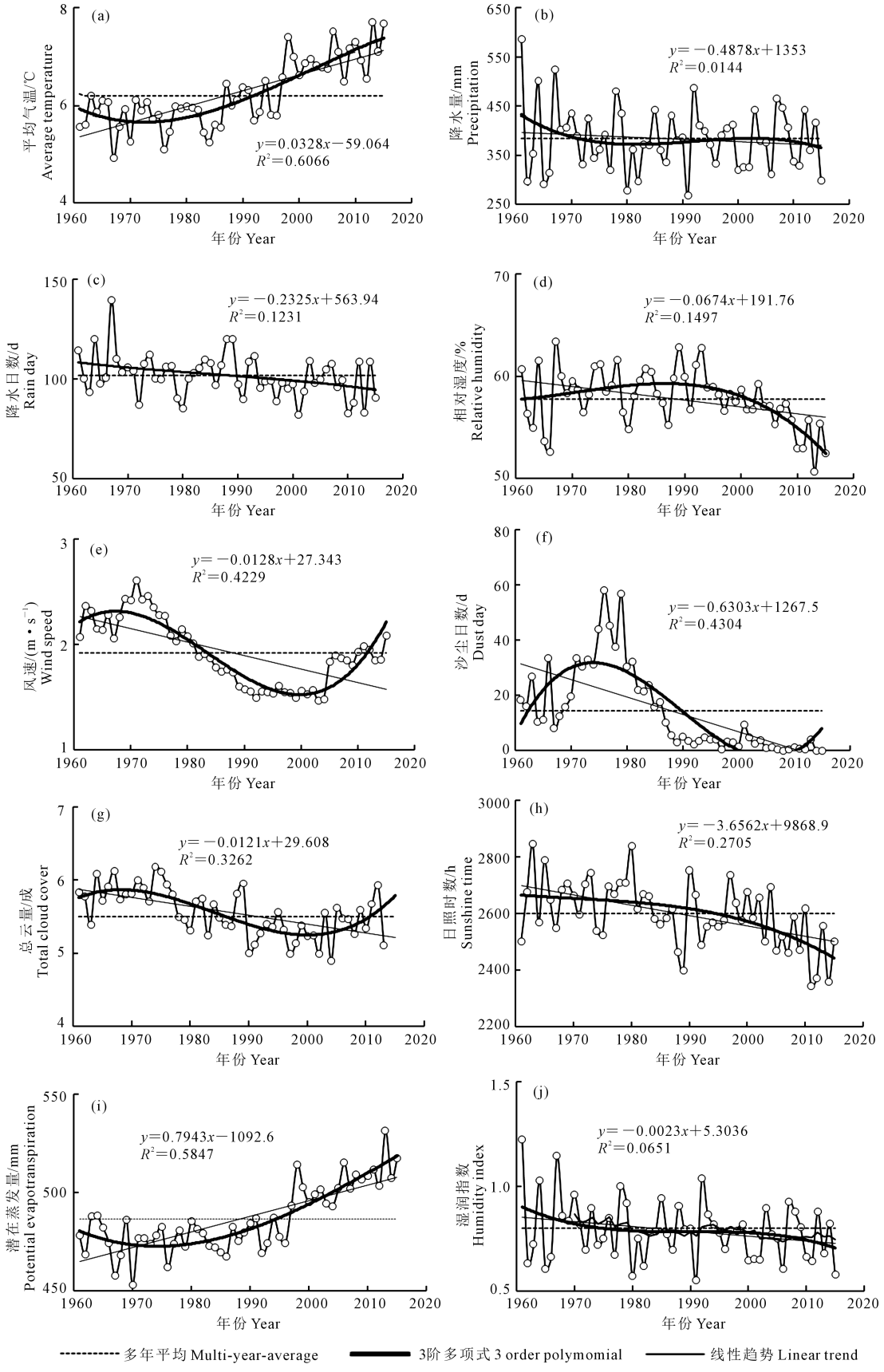

图 2 近 55 年青海省海东市各气候要素的变化趋势

Fig.2 Change trends of climate elements in Haidong City of Qinghai Province during 1961-2015

表 1　气象要素的年代际距平变化

Table 1　Decadal anomaly variation of meteorological elements

时　段 Period of time	平均气温 Average temperature /℃	降水量 Precipition /mm	降水日数 Rain day /d	相对湿度 Relative humidity/%	风速 Wind speed /(m·s^{-1})	沙尘日数 Dust day /d	云量 Cloud cover/成	日照时数 Sunshine time/h	潜在蒸散量 Potential evapotranspiration/mm	湿润指数 Humidity index
1961-1970	-0.7	32.6	7.8	-0.1	0.6	10.2	0.4	79.2	-14.6	0.09
1971-1980	-0.6	-2.6	-0.9	0.4	0.6	33.0	0.4	89.2	-12.8	0.01
1981-1990	-0.5	-4.6	6.0	1.0	0.1	8.6	0.1	7.2	-12.6	0.01
1990-2000	0.0	1.3	-2.5	0.6	-0.2	-4.0	-0.1	20.2	-1.6	0.0
2001-2010	0.6	3.3	-3.5	-1.7	0.0	-4.6	-0.1	-27.4	14.1	-0.02

降水日数均表现为减少趋势(图 2(b)和 2(c)),气候倾向率分别为-4.9 mm·(10a)$^{-1}$和-2.3 d·(10a)$^{-1}$,降水日数通过 0.05 的显著性检验,降水量在 1980 年以前基本上以正距平为主,1980 年以后以负距平为主,降水日数在 1990 年以前基本上以正距平为主,1990 年以后以负距平为主。四季降水量和降水日数均表现为减少趋势,降水量气候倾向率分别为-0.12、-3.8、-1.0 mm·(10a)$^{-1}$和-0.03 mm·(10a)$^{-1}$,降水日数气候倾向率分别为-0.8、-0.5、-0.9 d·(10a)$^{-1}$和-0.2 d·(10a)$^{-1}$,均未通过 0.05 显著水平检验。海东市年降水量和降水日数多年平均分别为 383.2 mm 和 101.7 d,最低值为 268.0 mm(1991 年)和 82.2 d(2001 年),最高值为 586.2 mm(1961 年)和 139.6 d(1967 年),最多降水量约为最少降水量的 2.2 倍,最多降水日数约为最少降水日数的 1.2 倍,这说明海东市年际降水差异较大,存在明显的丰水年和枯水年。

从近 55 年海东市降水量和降水日数的年代际距平变化来看,20 世纪 60 年代降水量和降水日数明显偏多,70 年代降水量和降水日数偏少,80 年代降水量偏少而降水日数偏多,进入 90 年代后降水量逐步增多而降水日数逐步减少,90 年代和 21 世纪前十年降水量较气候平均值增多了 1.3 mm 和 3.3 mm,而降水日数减少了 2.5 d 和 3.5 d(表 1)。

2.1.3　相对湿度变化　海东市各站相对湿度差异相对较小(52.5%~63.4%), 1961~2015 年海东市 5 站分别以(-0.31%~-1.26%)·(10a)$^{-1}$的气候倾向率减小,互助站的减小趋势最大(-1.26%·(10a)$^{-1}$),循化站最小(-0.20%·(10a)$^{-1}$),乐都、化隆和互助通过 0.05 以上的显著性检验。海东市整体平均相对湿度以 0.7%·(10a)$^{-1}$的气候倾向率减少,达到了 0.05 的显著性水平。近 55 年海东市年平均相对湿度已减少了 3.7%(图 2(d))。相对湿度在 1990 年以前基本上以正距平为主,1990 年以后以负距平为主。四季平均相对湿度也表现为减少趋势,气候倾向率分别为-1.3、-0.8、-0.5%·(10a)$^{-1}$和-0.1%·(10a)$^{-1}$,春夏季通过 0.05 以上显著性检验。

2.1.4　风速和沙尘日数变化　虽然海东市各站年平均风速有较大差异,循化站多年平均风速在 3.0 m·s^{-1}左右,而其他 4 站多年平均风速小于 2.0 m·s^{-1},但近 55 年各站年平均风速变化趋势基本一致,分别以-0.10~-0.17 m·s^{-1}的气候倾向率减小。海东市整体年平均风速呈减小趋势,气候倾向率为-0.13 m·s^{-1}·(10a)$^{-1}$,达到了 0.001 的显著性水平。近 55 年海东市年平均风速已减小了 0.7 m·s^{-1}(图 2(e))。四季平均风速也表现为较少趋势,气候倾向率分别为-0.18、-0.11、-0.11 m·s^{-1}和-0.11 m·s^{-1},均通过 0.001 的显著性检验。

由图 2(f)可知,海东市年平均沙尘日数在 2.1~38.7 d 之间,民和站多年沙尘日数在 38.7 d,乐都和循化站次之,分别为 15.4 d 和 11.9 d,互助站最少为 2.1 d。近 55 年各站沙尘日数的变化趋势基本一致,各站年沙尘日数分别以 0.3~20.9 d·(10a)$^{-1}$的气候倾向率减小。海东市整体平均沙尘日数减小速率为 6.3 d·(10a)$^{-1}$,达到了 0.001 的显著性水平。四季沙尘日数均表现为减少趋势,气候倾向率分别为-3.0、-0.6、-0.6 d·(10a)$^{-1}$和-2.1 d·(10a)$^{-1}$,均通过 0.001 的显著性检验。

2.1.5　云量的变化趋势　由图 2(g)看出,在过去的 55 a 中,各站多年平均云量为 5.3~5.9 成。从各站来看,5 站年平均云量均为减少趋势(-0.01~-0.18 成·(10a)$^{-1}$),其中,民和、乐都、化隆和互助站减少趋势通过了0.001的显著性检验,而南部的循化站没有通过显著性检验。从整个海东市来看,年平均云量略有减少,减少速率为 0.12 成·(10a)$^{-1}$,未通过 0.05 显著性检验;春、夏、秋、冬平均云量也表现为减少趋势,气候倾向率分别为-0.16、-0.12、-0.14 成·(10a)$^{-1}$和-0.17 成·(10a)$^{-1}$,春秋季通过 0.001显著性检验,夏季通过 0.01 显著性检验。

2.1.6 日照时数变化 日照时数是一个重要的表征气候变化的气象要素,也是多种因子(如云量、气溶胶、水汽含量)等共同作用于太阳辐射的结果。1956-2005 年全国日照时数以 0.136 h·(10a)$^{-1}$减少[20]。海东市光照资源相对比较充足,各站多年平均日照时数为 2 447.6~2 681.7 h,近 55 年各站日照时数均表现为减少趋势(-4.7~-69.7 h·(10a)$^{-1}$),民和、乐都和化隆站通过 0.05 以上显著性检验。海东市整体平均日照时数以-36.6 h·(10a)$^{-1}$的气候倾向率呈极显著的减少(图 2(h)),通过 0.01 显著性检验,日照时数在 1990 年以前基本上以正距平为主,1990 年以后以负距平为主。四季日照时数均表现为减少趋势,气候倾向率分别为-0.01、-11.6、-8.6 h·(10a)$^{-1}$和-16.4 h·(10a)$^{-1}$,夏冬季通过 0.05 以上显著性检验。

2.1.7 潜在蒸散量变化 海东市各站潜在蒸散量在 398.4~553.6 mm 之间。各站年潜在蒸散量以 1.4~9.7 mm·(10a)$^{-1}$的气候倾向率极显著增大,其中乐都站气候倾向率高达 9.7 mm·(10a)$^{-1}$。海东市平均年潜在蒸散量以 7.9 mm·(10a)$^{-1}$的速率呈极显著增加趋势(图 2(i))。55 年海东市平均年潜在蒸散量已增加了 43.7 mm,春夏秋季潜在蒸散量分别以 2.5、3.0 mm·(10a)$^{-1}$和 2.3 mm·(10a)$^{-1}$的气候倾向率极显著增大,年和春夏秋季均通过 0.01 显著性检验。

统计分析海东市 1961-2015 年潜在蒸散量与同期年平均气温、降水量、降水日数、日照时数、平均风速、相对湿度和云量的相关关系(表 2),可以发现,潜在蒸散量与年平均气温呈极显著的正相关,而与年降水量、降水日数、相对湿度、平均风速、日照时数和云量呈负相关,平均气温、降水日数、相对湿度和云量通过 0.001 显著性检验,日照时数和平均风速通过 0.05 的显著性检验,降水量未通过显著性检验,说明影响海东市潜在蒸散量变化的气候因素是复杂多样的。近 55 年,尽管海东市平均气温呈上升趋势,但由于风速、日照时数、降水日数、云量和相对湿度等气象因子的减小对潜在蒸散的增加作用不能完全补偿气温上升的影响,导致潜在蒸散量总体呈极显著的增加趋势。

2.1.8 湿润指数变化 55 a 来,海东市各站湿润指数在 0.48~1.24 之间。受降水量变化趋势不明显和潜在蒸散量增加的共同影响,近 55 a 海东市各站湿润指数均为减小趋势,其中,气候最为湿润的互助站减小趋势最大,气候倾向率为-0.08·(10a)$^{-1}$,相反,气候最为干燥的循化站湿润指数变化不明显。海东市年平均湿润指数以气候倾向率 0.02·(10a)$^{-1}$呈减小趋势(图 2(j)),春夏秋三季湿润指数也呈现减小趋势,年和春夏秋季均未通过显著性检验。

表 2 海东市潜在蒸散量与气象因子的相关关系

Table 2 Potential evaporation and meteorological factors in Haidong City of Qinghai

平均气温 Average temperature	降水量 Precipitation	降水日数 No. of raining day	相对湿度 Relative humidity	日照时数 Sunshine time	风速 Wind speed	云量 Cloud cover
0.94***	-0.18	-0.46***	-0.59***	-0.32**	-0.32**	-0.43***

注:**表示 $P<0.05$ 水平显著,***表示 $P<0.001$ 水平显著。

Note: **: Correlation is significant at $P<0.05$; ***: Correlation is significant at $P<0.001$ level.

2.2 各要素突变检测

利用 Mann-Kendall 方法分别对海东市 1961-2015 年年平均气温、降水量、降水日数、日照时数、风速、相对湿度、潜在蒸散量和湿润指数等要素进行突变检测,图 3 给出了海东市平均气温、降水日数、风速和日照时数的突变检验(其余图略)。结果表明,近 55 年年平均气温和潜在蒸散量分别在 1995-1996 年和 2001 年发生了显著的突变性升高,年平均风速、降水日数、日照时数、总云量和相对湿度分别于 1982 年、1993-1994 年、2002-2003 年、1984 年、2009-2010 年发生显著的突变性减小,降水量和湿润指数的变化未达到突变标准。综合气温和湿润指数的突变特征,可以认为,海东市气候在 1995-1996 年发生了"暖干化"的突变。这与文献[19]提出的"西北地区气候在 1987 年前后发生了由暖干向暖湿转变"的论述有一定差异,这可能与研究区域和分析技术方法不同有关。

2.3 气候变化的可能影响因子

气候要素的变化与区域环流因子及涛动、季风等重要指示因子有密切的关系。受北半球大气环流影响的青海省海东市气温和降水将如何对大气环流、涛动指数及季风等作出响应,本文对海东市 1961-2015 年气温、降水与北极涛动(AOI)、青藏高原指数(TPI)、西风指数(WCI)、东亚夏季风指数(EASMI)和南亚夏季风指数(SASMI)等序列进行相关分析(表 3)。

海东市冬季气温与青藏高原指数、西风指数、北极涛动指数的相关系数分别达 0.60、0.40 和 0.31,相关性较好,变化趋势基本一致,而夏季气温仅与青藏高原指数相关较好,为 0.35。青藏高原大地形的热力和动力作用对大气环流和气候产生一定的影响。热力性质差异(主要是积雪面积和植被状况

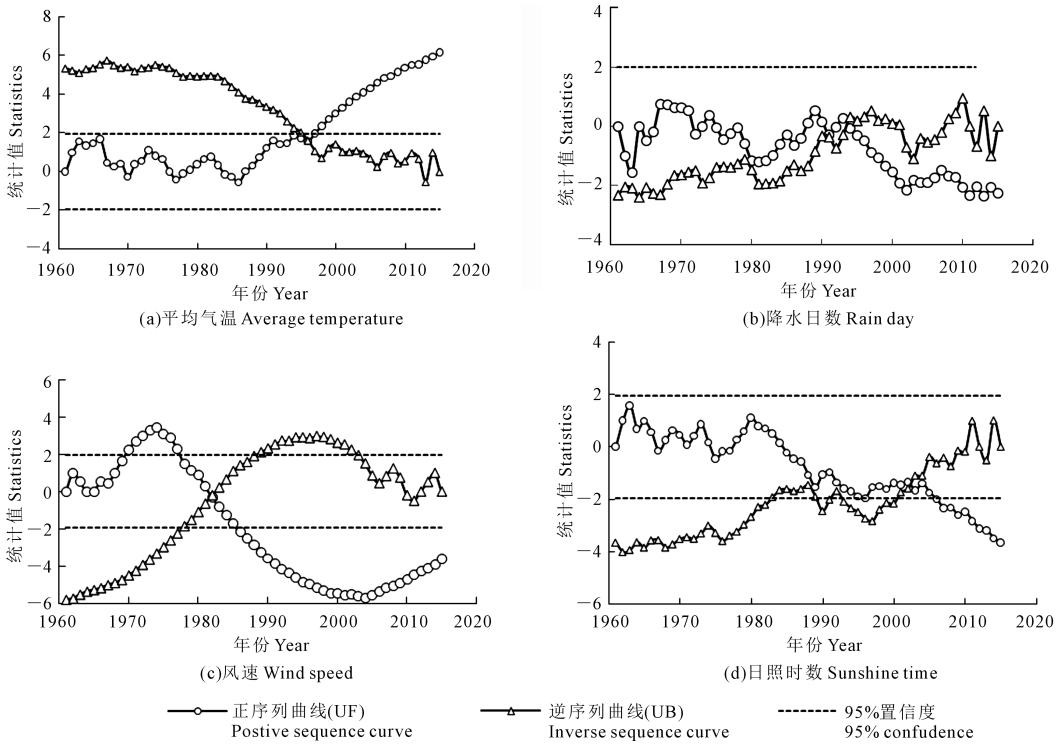

图 3　海东市平均气温、降水日数、风速和日照时数突变检验

Fig.3　Mutation test of mean temperature, precipitation days, wind speed and sunshine hours in Haidong City

表 3　气候变化和影响因子的相关分析

Table 3　Correlation analysis of climate variables and climatic factors

季节 Season	要素 Element	AOI	TPI	WCI	EASMI	SASMI
冬季 Winter	气温 Temperature	0.31*	0.60**	0.40**	−0.26	−0.25
	降水 Precipitation	0.18	0.13	0.15	−0.24	0.02
夏季 Summer	气温 Temperature	−0.04	0.35**	−0.04	0.05	−0.14
	降水 Precipitation	0.30*	0.0	0.26*	0.13	0.35**

注:* 表示 $P<0.05$ 水平显著;* * 表示 $P<0.01$ 水平显著。

Note: * correlation is significant of $P<0.05$ level; * * correlation is significant at $P<0.01$ level.

的变化)对周边地区的气温产生重要的影响,而高原的动力作用(绕流)使得高原北侧强劲的西风气流与南下的西北气流在高原东北侧汇合,从而影响着该地区的气温。研究表明北极涛动对北半球大气环流以及冬、春季北半球近地面许多气候要素都有显著影响[19-20],冬季北极涛动通过影响西伯利亚高压和东亚大槽来影响冬季风,进而影响冬季气温,而海东市是冬季西伯利亚高压南下必经之地,南下强劲的西伯利亚高压途经并控制该地区,对区域气温产生重要影响。此外,东亚夏季风指数和南亚夏季风指数的强弱对海东市的气温也有一定的影响。

海东市夏季降水量与南亚夏季风指数、北极涛动指数和西风指数有较好的负相关,相关系数分别为 0.35、030 和 0.26,东亚夏季风对冬季降水量有一定的影响,相关系数为−0.24。该地区处于东亚季风区和南亚季风区的边缘地带,受季风和西风的共同影响。当夏季风指数强时,南亚季风向北推移,西风西退,在水汽充足的情况下,可以发生有效降水;而夏季风指数弱时,该区域受西风和季风交替控制,大气含水量不足,无法形成有效降水。

3　讨　论

海东市处于西北干旱区的西缘,除了受西风环流系统影响外,还受到季风的影响,气候复杂多变,在全球气候变暖的背景之下,研究各个气候要素的变化趋势显得十分重要。与已有研究结论相比,海东市气温的增加趋势明显高于全国水平[2](0.22℃·(10a)$^{-1}$)而低于青海省[8](0.36℃·(10a)$^{-1}$),与青海省东部农业区[9](0.32℃·(10a)$^{-1}$)基本持平,降水量的变化趋势与青海省整体[8](3.3 mm·(10a)$^{-1}$)相反,和东部农业区[9](−5.23 mm·(10a)$^{-1}$)基本相符,潜在蒸散量增加(7.9 mm·(10a)$^{-1}$)而湿润指数减小(−0.02·(10a)$^{-1}$),表现

出不明显的暖干化趋势,这与张红丽等[21]对中国大多数地区 1956-2000 年潜在蒸散量变化趋势的研究结果基本一致,也与刘德坤等[22]和徐静等[23]分别研究青海省整体和青海省东部地区气候趋于暖干的结果相一致。王慧[24]、雷生国[25]、刘义花[26]等分别对青海省风速、日照时数和海东市沙尘天气分析指出,风速、日照时数和沙尘天气均呈显著的减少趋势,与本研究结果基本一致。综合上述可以看出,海东市平均气温增加明显,对全球变暖较敏感,特别是冬季增温幅度最大(达 0.49℃·$(10a)^{-1}$),冬季温度的增加对干旱区有很重要的影响,加大农田土壤蒸发量,导致土壤含水量下降和失墒,对农牧业生产产生重大影响。而全年和四季降水量微弱的减少趋势和降水日数的显著减少,将会导致短时强降水的出现,容易引发夏秋季暴雨山洪和泥石流等地质灾害的发生,也使得干旱发生的频次增加,湟水河流域径流量减少。

4 结 论

根据青海省海东市 5 个气象观测站近 55 a 的地面气象资料和大气环流指数资料,采用线性趋势分析和相关分析等方法,对海东市气候因子的时空分布特征及其影响因子进行了分析,主要结论为:

(1)近 55 年海东市随着气候变暖降水减少,总体呈不明显的“暖干化”趋势。年平均气温和潜在蒸散量呈现显著的上升趋势,年降水日数、平均风速、沙尘暴日数、日照时数、云量和相对湿度表现为显著的减少趋势。湿润指数和降水量表现为不显著的减少趋势。

(2)海东市年平均气温和潜在蒸散量分别在 1995-1996 年和 2001 年发生了显著的突变性升高,年平均风速、降水日数、日照时数、总云量和相对湿度分别于 1982 年、1993-1994 年、2002-2003 年、1984 年、2009-2010 年显著的突变性减小,降水量和湿润指数的变化未达到突变标准。

(3)海东市冬季气温变化与青藏高原指数、北极涛动指数和西风环流指数有明显的正相关关系,青藏高原的动力和热力作用对高原东北侧的海东市气温变化有很重要的影响,而该地区温度还受由北极涛动引起的冬季风和西风环流的影响。海东市夏季降水量与南亚夏季风指数和北极涛动指数有较好的负相关,南亚夏季风的进退以及所携带的水汽是影响该区域降水量变化的主要因素之一。

参 考 文 献:

[1] 秦大河,Thomas Stocker,等.IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J].气候变化研究进展,2014,10(1):1-6.

[2] 任国玉,郭军,徐铭志,等.近 50 年中国地面气候变化基本特征[J].气象学报,2005,63(6):942-956.

[3] 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.

[4] 唐红玉,翟盘茂.1951-2002 年中国东、西部地区地面气温变化对比[J].地球物理学报,2005,48(3):526-534.

[5] 虞海燕,刘树花,赵娜,等.我国近 59 年日照时数变化特征及其与温度、风速、降水的关系[J].气候与环境研究,2011,16(3):389-398.

[6] 李鹏飞,孙小明,赵昕奕.近 50 年中国干旱半干旱地区降水量与潜在蒸散量分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(7):57-63.

[7] 李栋梁,魏丽,蔡英,等.中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望冰川冻土[J].冰川冻土,2003,25(2):135-142.

[8] 汪青春,秦宁生,唐红玉.青藏高原近 44 年来气候变化的事实及其特征[J].干旱区研究,2007,24(2):234-239.

[9] 陈晓光,李 林,朱西德,等.青海省气候变化的区域性差异及其成因研究[J].气候变化研究进展,2009,5(5):249-254.

[10] 赵燕宁,时兴合,王式功,等.青海河湟谷地气候及干旱变化研究[J].中国沙漠,2006,26(1):54-59.

[11] 梅朵,高原,马艳,等.近 50a 青海西宁气温变化特征[J].干旱气象,2013,31(1):100-106.

[12] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007:37-59.

[13] 马柱国,符淙斌.中国北方干旱区地表湿润状况的趋势分析[J].气象学报,2001,59(6):737-746.

[14] 中国气象局.GB/T20481-2006,气象干旱等级[S].北京:中国标准出版社,2006.

[15] 靳立亚,李静,王新,等.近 50 年来中国西北地区干湿状况时空分布[J].地理学报,2004,59(6):847-854.

[16] 周宁芳,秦宁生,屠其璞,等.近 50 年青藏高原地面气温变化的区域特征分析[J].高原气象,2005,(3):344-349.

[17] 靳立亚,符娇兰,陈发虎.近 44 年来中国西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应[J].地理科学,2005,25(5):567-572.

[18] 李慧群,付遵涛,闻新宇,等.中国地区日照时数近 50 年来的变化特征[J].气候与环境研究,2013,18(2):203-209.

[19] 施雅风,沈永平,李栋梁,等.中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J].第四纪研究,2003,23(2):152-164.

[20] 李静,何清,姚俊强.内蒙古西部地区气候变化特征及影响因子分析[J].干旱区资源与环境,2014,28(5):186-191.

[21] 张红丽,张 强,刘 骞,等.中国干旱状况的时空分布特征及影响因素[J].兰州大学学报(自然科学版),2016,52(4):484-491.

[22] 刘德坤,王军邦,齐述华.基于湿润指数的近 35 年青海省干湿状况变化分析[J].水土保持研究,2014,21(2):246-256.

[23] 徐静,张鑫.青海省东部地区气候变化与 ENSO 事件关系[J].水文,2012,32(4):88-95.

[24] 王慧.近 50 年青海省风速的变化特征分析[J].科技资讯,2013,1:130-131.

[25] 雷生国.1956-2015 年海东市雾霾及沙尘天气变化特征分析[J].现代农业科技,2016,18:193-196.

[26] 刘义花,汪青春,王振宇,等.1971-2007 年青海省日照时数的时空分布特征[J].资源科学,2011,35(5):1010-1016.