

# 气候变暖对长三角地区四季长度的影响

姜燕敏<sup>1</sup>, 梁艳<sup>2</sup>, 沙欣欣<sup>3</sup>

(1. 浙江丽水市气象局, 浙江 丽水 323000; 2. 浙江平阳县气象局,  
浙江 平阳 325400; 3. 上海市气象局, 上海 200030)

**摘要:**根据长三角地区1961~2010年逐日气温资料,按照国家季节划分标准对4季长度进行划分,在对气温和4季长度进行气候变化趋势分析的基础上,运用Mann-Kendall检验研究气温对长三角地区4季长度变化趋势的影响。结果表明:长三角地区气温呈明显上升趋势,其中最低气温对气候变暖的响应最显著,约每10a上升0.33℃。4季长度中,夏季日数最多,占全年日数的31.5%,且延长趋势最明显,气候倾向率达4.6d/10a。气温与夏季长度呈明显正相关,且气温对夏季长度变化的影响最显著。Mann-Kendall检验表明,气温与夏季长度在20世纪90年代开始上升趋势明显,且都在1996年发生突变。

**关键词:**气候学;全球变暖;四季长度;Mann-Kendall检验;长三角地区

**中图分类号:**P466

**文献标识码:**A

## 引言

长江三角洲地区<sup>[1]</sup>(包括上海市、江苏省和浙江省)是中国经济的发达地区,季节更替对当地经济发展、开展工农业生产以及老百姓的日常生活能造成直接影响。在气候变暖的大背景下,极端气候事件日益频发,季节的更替也受到影响。气象上,季节的划分<sup>[2]</sup>是以5d滑动平均气温作为划分依据的。近百年来,中国乃至全球气候变暖、气温上升已是不争的事实<sup>[3-6]</sup>,由此季节更替也发生了很大的变化,张世轩等<sup>[7-9]</sup>提出气候变暖背景下,我国春、夏季起始时间呈现提前的趋势,而秋、冬季为推迟。郁珍艳等<sup>[10]</sup>指出年平均温度对4季长度的变化有较大的影响,其中夏季长度的变化最为明显。张静等<sup>[11-12]</sup>研究了长三角部分地区,如江苏、浙江等地的季节变化特征。研究气温对长三角地区季节长度变化趋势的影响,不仅能全面了解当地季节变化特征,还能合理安排产业布局,提高经济效益。

## 1 资料和方法

以长江三角洲地区30个站点,1961~2010年共计50a气温日资料作为分析对象。考虑到迁站

会导致数据的非均一性<sup>[13-14]</sup>,故剔除所有迁过站的站点。最终挑选出30个具有代表性,且分布较均匀的站点,如图1所示。以1961~2010年的日平均气温作为基础数据,少量缺测值通过同一站点或与其邻近站点的前后时间的数据插值补齐<sup>[15]</sup>。首先,利用2010年8月中国气象局通过的《气候季节划分》行业标准为依据,对4季起始日进行确定,从而计算各个季节的长度。其次,运用趋势分析<sup>[5]</sup>研究气温和4季长度的变化特征,得出气温与4季长度的相关性。再次,通过Mann-Kendall检验<sup>[16-18]</sup>对长三角地区气温和4季长度进行时间变化趋势和突变转折的验证。最后,通过对比分析,研究气温对长三角地区季节长度变化趋势的影响。

## 2 长三角地区气温与4季长度变化特征分析

### 2.1 长三角地区气温变化趋势

1961~2010年长三角地区年平均气温变化,如图2所示。可以看出,近50a长三角气温大体经历了3个过程:1)20世纪60~80年代的偏冷期:1961~1989年30a期间,只有1961和1978年气温为正

收稿日期:2012-07-13;改回日期:2012-08-29

基金项目:浙江省丽水市科技计划项目(2010JYZB10)及浙江省气象科技开放研究专项(kf2010006)资助

作者简介:姜燕敏(1984-),女,工程师,主要从事应用气象和气象服务等相关工作。E-mail: ziyajiang1984@gmail.com

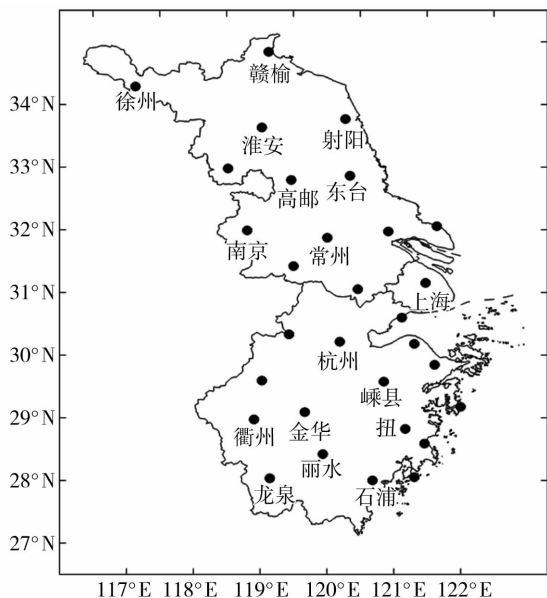


图1 长三角地区所选站点分布  
Fig.1 The distribution of selected stations in the Yangtze River Delta

距平,其它为一致的负距平,其中1969年气温达到最低值,仅有15.2℃,比近50a平均气温偏低0.9℃;2)20世纪90年代中期前的调整期:1990~1996

年是气温由负距平转向正距平的转折点,正负气温距平交替出现;3)20世纪90年代末开始的强烈升温期:1997年开始,气温上升势头猛烈,保持稳定的正距平向上攀升,在2007年升至最高点(17.6℃),比近50a平均气温高出1.5℃。

10a滑动平均,可以滤去序列的年际振荡,更方便观察其年代际变化特征。在20世纪80年代中期之前,长三角地区10a滑动平均气温的变化幅度较小,波动范围不超过0.3℃。1985年之后,气温呈明显的上升趋势,截止到2010年,气温最大增幅高达1.3℃,再次验证了长三角地区的增温体现在近20a左右。对长三角地区近50a平均气温进行一元线性拟合,气候倾向率达到0.29℃/10a,相当于近50a气温增加了1.4℃,通过0.01显著性检验,气温上升趋势明显。

长三角地区年平均最低气温为12.7℃,年平均最高气温为20.5℃,且随时间变化都呈现出显著的升温趋势,气候倾向率均通过0.01的显著性水平,但最低气温的升温势头最为强劲,气候倾向率排序为:最低气温(0.33℃/10a) > 平均气温(0.29℃/10a) > 最高气温(0.27℃/10a),说明最低气温对气候变暖的响应最明显。

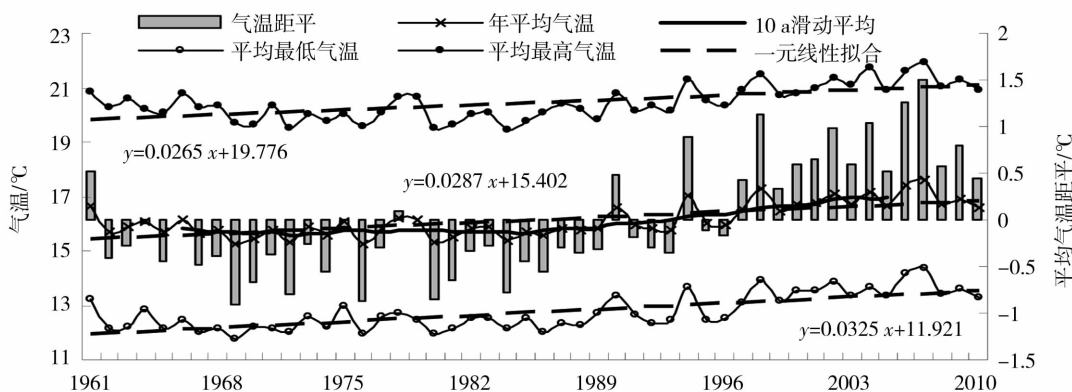


图2 1961~2010年长三角地区年平均气温变化趋势  
Fig.2 The variation of annual mean temperature from 1961 to 2010 in the Yangtze River Delta

### 2.2 长三角地区季节长度变化趋势

按照《气候季节划分》行业标准对长三角地区的4季进行划分,得到每年各个季节的起始时间。一般情况下春季起始日在3月底,夏季在6月中旬,秋季为10月初,冬季为12月中旬。并由此计算每个季节的长度,结果见表1。

4季长度中,夏季日数最多,冬季次之,春、秋季相差不多,秋季最短。夏季长度占全年日数的31.

5%,约是秋季的2倍。对4季长度做一元线性拟合,得到各季节长度的气候倾向率。可知,春、夏季长度为增加,而秋、冬季长度为减少,其中只有夏季长度的气候倾向率通过0.01显著性水平,达到4.6d/10a,其它3个季节长度变化趋势不明显,近50a来春季约延长3.4d,秋、冬季长度分别缩短17.8d和10.0d,但长三角地区夏季日数的增加却极显著,近50a延长了23.1d,增加幅度达到20.1%。

表 1 1961~2010 年长三角地区季节气候变化统计

Tab. 1 The statistics of seasonal climate changes from 1961 to 2010 in the Yangtze River Delta

季节	春季	夏季	秋季	冬季
平均起始日期	3月28日	6月12日	10月5日	12月11日
平均季节长度/d	76.7	114.8	67.7	105.8
4季长度所占比例/%	21.0	31.5	18.5	29.0
4季长度气候倾向率/(d/10 a)	0.67	4.61 **	-3.56	-1.99
4季长度增减日数/d	3.4	23.1	-17.8	-10.0
4季长度增减幅度/%	4.4	20.1	-26.3	-9.4

注: \*\* 表示 0.01 的显著性水平

Note: \*\* for  $P < 0.01$ 

### 3 气候变暖对长三角地区 4 季长度变化的影响

#### 3.1 气温与 4 季长度的相关分析

表 2 给出了气温与长三角地区 4 季长度的相关性。气温对春、夏季长度是促进作用,而对秋、冬季长度则是削弱作用。其中气温与夏季长度的相关性最显著,如平均气温和最低气温与夏季长度的相关性均通过 0.01 显著性水平,分别达到 0.402 和 0.414,最高气温与夏季长度的相关性也有 0.358,通过 0.05 水平的显著性检验,说明气温对 4 季长度的影响,主要表现在夏季,且为明显的促进作用。

表 2 气温与 4 季长度的相关分析

Tab. 2 The correlation analysis between temperature and length of seasons

相关系数	春季	夏季	秋季	冬季
平均气温	0.190	0.402 **	-0.155	-0.238
最低气温	0.221	0.414 **	-0.228	-0.227
最高气温	0.139	0.358 *	-0.077	-0.225

注: \*, \*\* 分别表示通过 0.05 和 0.01 的显著性水平。

Note: \* for  $P < 0.05$ , \*\* for  $P < 0.01$ 

#### 3.2 气温变化的 Mann - Kendall 检验

为了进一步了解长三角地区气温对 4 季长度的影响,分别对气温与 4 季长度的年变化特征进行 Mann - Kendall 检验,给定显著性水平  $\alpha$  通过 0.05 (即图中虚线表示 95% 置信度检验线),如图 3 所示。

在 1991 年前,该地区的气温一直低于平均水平,最低值出现在 1970 年前后,其中 1970 和 1972 年气温减少趋势最明显,通过 95% 置信度检验。1991 年,UF 曲线由负转为正,即出现气温由减少转为升高的转折点,这与图 2 中气温在 20 世纪 90 年

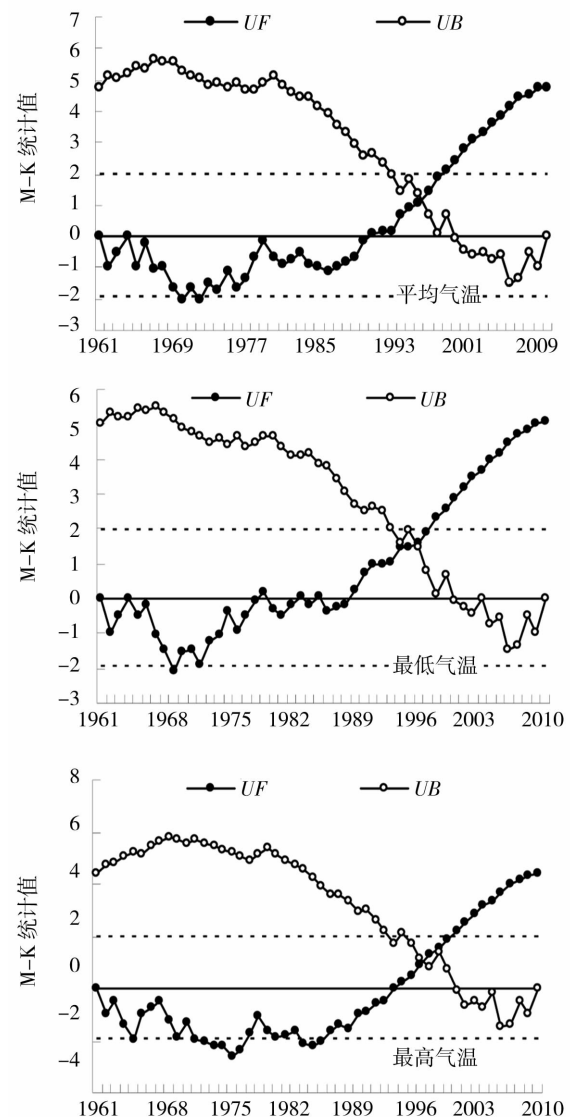


图 3 1961~2010 年长三角地区气温变化的 Mann - Kendall 检验

Fig. 3 The Mann - Kendall test of the average, minimum and maximum temperature from 1961 to 2010 in the Yangtze River Delta

代中期前发生调整的时间一致,随后气温上升速率明显攀升,在1999年超过95%置信度检验线,2001年开始甚至突破99%的置信度检验( $u_{0.01} = 2.56$ ),呈极显著的增温态势。 $UF$ 和 $UB$ 曲线在1996年相交,且交点在临界线之间,说明1996年长三角地区的气温变化发生了突变,具体为气温上升速率的趋势突变,由平缓上升转为急剧升温。

最低气温与最高气温 Mann - Kendall 检验曲线的变化趋势与平均气温相似,但在变化速率和突变转折点上,又有所差异。具体表现为以下3个方面:(1) $UF$ 曲线由负转为正的时间不同,最低气温最早(1989年),平均气温其次(1991年),最高气温最晚(1995年);(2)突变转折时间不同,最低气温 $UF$ 和 $UB$ 曲线相交于1994年,早于平均气温的突变点1996年和最高气温的1997年;(3)快速增温的起始时间不一致,最低气温的增温势头在1998年超过95%置信度检验线,1999年突破99%置信度检验,而最高气温超过95%和99%置信度检验的时间分别出现在2001年和2003年,平均气温同样介于两者之间,晚于最低气温,但早于最高气温。从以上分析可以看出,最低气温转折、突变、增温时间最早,对气候变暖的响应最为敏感迅速。

### 3.3 4季长度变化的 Mann - Kendall 检验

长三角地区4季长度的变化趋势,春、夏季长度以增长为主,秋季长度主要表现为缩短,冬季长度呈现出首尾减少、中间增加的态势。具体变化如图4

所示。春季长度除1962~1963年、1985~1990年表现为减少,其它为一致的增加态势,且 $UF$ 和 $UB$ 曲线在全时域存在多个交点,由于太接近边界,不能作为突变点考虑,做剔除处理;夏季长度变化主要分为2个阶段,1972年前以减少趋势为主(只有1962年高于平均水平,但不显著),1972年后表现为强烈增加势头(除1976年 $UF$ 曲线跌落至零线以下),且在2003年之后,夏季长度延长显著, $UF$ 曲线超过95%置信度检验,2006年后甚至超过99%置信度检验线,在1996年 $UF$ 和 $UB$ 曲线相交,即1996年夏季长度发生了突变,由缓慢波动增长转为单一快速增长;秋季长度除1963~1967年表现为增加,其它年份为一致的缩短趋势,且在1974~1978年、1982~1985年、1987年、2003年和2006~2010年减少趋势还突破95%置信度检验,其中20世纪70~90年代存在多个交点;冬季长度,除在20世纪60年代初和21世纪初为缩短,中间时段为一致的拉长趋势,且在1970~1971年、1975~1977年超过95%置信度检验线,突变点出现在2009年。

对比气温与4季长度的 Mann - Kendall 检验图,可以看出气温(主要是平均气温)和夏季长度在变化趋势和突变特征上存在共同点:(1)变化趋势相似,20世纪90年代都处于上升状态,且21世纪初为增加态势最显著的时段;(2)突变时间相同,气温和夏季长度都在1996年发生突变,即由缓慢增长转为快速递增。

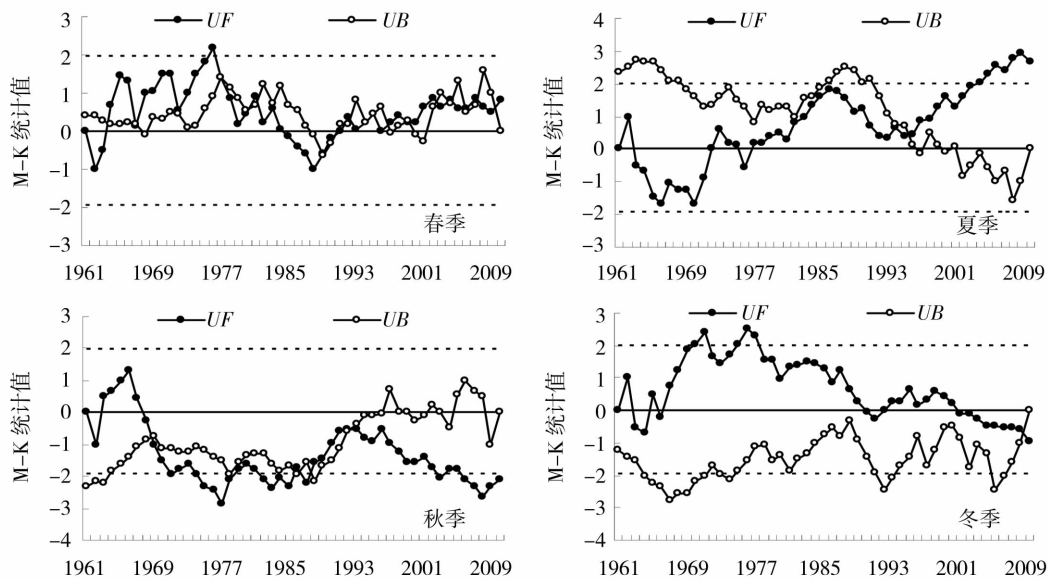


图4 1961~2010年长三角地区4季长度变化的 Mann - Kendall 检验

Fig. 4 The Mann - Kendall test of length of seasons from 1961 to 2010 in the Yangtze River Delta

## 4 结论

(1) 长三角地区气温呈显著的上升趋势, 平均气温气候倾向率 $0.29\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 近 $50\text{ a}$ 气温增加了 $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。气候倾向率排序为: 最低气温( $0.33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ) > 平均气温( $0.29\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ) > 最高气温( $0.27\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ), 均通过 $0.01$ 显著性水平, 最低气温的升温势头最为强劲, 对气候变暖的响应最显著。

(2) 4季长度中, 夏季日数最多, 冬季次之, 春、秋季相差不大, 秋季最短。夏季日数占全年日数的 $31.5\%$ , 延长趋势也最明显, 气候倾向率 $4.6\text{ d}/10\text{ a}$ , 其它季节变化趋势(春季长度延长, 秋、冬季长度缩短)不明显。

(3) 气温(平均、最低、最高)与夏季长度变化的相关性最高, 均通过显著性检验。4季长度变化趋势的Mann-Kendall检验表明, 春、夏季长度以增加趋势为主, 秋季长度主要表现为缩短, 冬季长度呈现出首尾减少、中间增加的态势。气候变暖对夏季长度的影响最显著, 气温和夏季长度在20世纪90年代处于上升期, 21世纪初增长幅度最显著, 且都在1996年发生突变, 由缓慢增长转为快速递增。

### 参考文献:

- [1] 国务院批准实施长江三角洲地区区域规划[J]. 中国资源综合利用, 2010, 28(5): 3.
- [2] 张宝堃. 中国季节之分配[J]. 地理学报, 1934, 1(1): 29-74.
- [3] 付志嘉, 董保举, 张成稳. 我国气候变暖特征及其与对流层顶的关系[J]. 干旱气象, 2011, 29(2): 182-188.
- [4] 吴昊旻, 姜燕敏, 强玉华. 浙江丽水市降水特征多时间尺度周期变化规律的探究[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 34-38.
- [5] 牟尧, 牟新之. 地壳隔热密封破坏—近100a气候变化的“发病机制”[J]. 干旱气象, 2009, 27(4): 381-394.
- [6] 陈春根, 史军. 长江三角洲地区人类活动与气候环境变化[J]. 干旱气象, 2008, 26(1): 28-34.
- [7] 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.
- [8] 郁珍艳, 范广洲, 华维, 等. 气温突变对我国四季开始日期的影响[J]. 气象, 2010, 36(11): 32-37.
- [9] 郁珍艳, 范广洲, 华维, 等. 气候变暖背景下我国四季开始时间的变化特征[J]. 气象科学, 2010, 15(1): 73-82.
- [10] 郁珍艳, 范广洲, 华维, 等. 近47年我国四季长度的变化研究[J]. 高原气象, 2011, 30(1): 182-190.
- [11] 张静, 吕军, 项瑛, 等. 江苏省四季变化的分析[J]. 气象科学, 2008, 28(5): 568-572.
- [12] 杨诗芳, 毛裕定. 浙江省近50年气温变化及四季划分[J]. 浙江气象, 2008, 29(4): 1-6.
- [13] Potter KW. Illustration of a new test for detecting a shift in mean in precipitation series[J]. Monthly Weather Review, 1981, 109(9): 2040-2045.
- [14] Hanssen-Bauer I, Forland E J. Homogenizing long Norwegian precipitation series[J]. J Climate, 1994, 7(6): 1001-1013.
- [15] 宁亮, 钱永甫. 中国年和季各等级日降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1010-1020.
- [16] 吴昊旻, 姜燕敏, 茅军念. 丽水汛期降水多时间尺度演变特征[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(2): 176-180.
- [17] 董新宁, 孙照渤. 北极海冰变化及其与中国秋季气温的相关分析[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(1): 82-87.
- [18] 吴昊旻, 廖良清. 浙江省日照时数时空分布特征[J]. 中国农学通报, 2011, 27(32): 294-298.

## Impact of Global Warming on Length of Four Seasons in the Yangtze River Delta

JIANG Yanmin<sup>1</sup>, LIANG Yan<sup>2</sup>, SHA Xinxin<sup>3</sup>

(1. Lishui Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Lishui 323000, China;  
2. Pingyang Meteorological Station of Zhejiang Province, Pingyang 325400, China;  
3. Shanghai Meteorological Bureau, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** Based on the daily temperature data from 1961 to 2010 in the Yangtze River Delta, the season length was measured off according to national delineation of seasons, by analysis of variation trend of temperature and the length of seasons in the Yangtze River Delta, the impact of temperature on the length of four seasons was analyzed by using of Mann-Kendall test. The results showed that temperature presented a significantly increasing trend in the Yangtze river delta, and minimum temperature increased significantly with the rate of  $0.33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ . The length of summer was longest and accounting for 31.5 percent of the whole year, and the summer length extended obviously with the rate of  $4.6\text{ d}/10\text{ a}$ . It was found that temperature correlated positively with summer length, and the impact of temperature on summer length was most significant. The Mann-Kendall test results showed that temperature and the summer length increased significantly in the 1990s, and abrupt change occurred in 1996.

**Key words:** climatology; global warming; length of four seasons; Mann-kendall test; Yangtze River Delta