

文章编号: 1000-2022(2006)02-0196-07

江苏气温长期变化趋势及年代际变化空间差异分析

周晓兰, 高庆九, 邓自旺, 陈海山

(南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘要: 根据江苏省 60 个气象站 1961—2001 年的逐月气温资料, 研究了江苏气温的长期变化趋势和年代际变化特征的空间差异。结果表明: 1) 近 40 a 来江苏省年平均气温升高了约 1℃, 其中冬季 3 个月 (12 月—次年 2 月) 升温最明显, 夏季 7、8 月降温明显。各季节和年平均气温年代际变化具有一定的相似性, 基本上是 20 世纪 60 年代有降低趋势, 70 年代到 80 年代前期趋势不明显, 80 年代后期和 90 年代气温快速升高, 因此, 年、春、秋、冬季最高温度出现在 90 年代。其中夏季气温在 90 年代后期又有所下降, 夏季最高出现在 60 年代。2) 长期变化趋势和年代际变化在空间上也有一定的差异, 这种差异主要表现在温度变化幅度上, 春、秋、冬和年平均气温在全省都是升高的, 其中苏南和江苏北部的徐连地区春、冬季和年平均气温升高最明显, 秋季苏南地区升温最明显; 夏季大部分地区气温有下降趋势, 其中东部沿海和西南部降温最明显, 而北部部分地区则有弱的升温趋势。

关键词: 江苏; 气温; 趋势; 年代际变化; 空间差异

中图分类号: P467 **文献标识码:** A

Long-Term Temperature Trends and Spatial Patterns of the Inter-Decadal Variations in Jiangsu

ZHOU Xiao-lan, GAO Qing-jiu, DENG Zi-wang, CHEN Hai-shan

(Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract The spatial patterns of Jiangsu temperature trends and inter-decadal variations (1961—2001) are investigated by using the monthly mean temperatures of 60 weather stations in Jiangsu Province. Results show that the regional annual mean temperature rose by about 1℃ in the study period, with maximum warming (cooling) in December to February (July to August). Inter-decadal variations of seasonal mean temperatures are somewhat similar to the annual counterparts in such a way that these temperatures decreased on the whole in the 1960s, and fluctuated in the 1970s to early 1980s, followed by rapid increasing in the later 1980s to 1990s. As a result, the highest temperatures of annual, spring, autumn and winter occurred in the 1990s, except that the summer temperatures dropped more or less in the late 1990s, with its maxima measured in the 1960s. The spatial differences in trends and inter-decadal variations lie mainly in the range of temperature change. Generally, spring, autumn, winter and annual mean tempera-

收稿日期: 2003-07-04 改回日期: 2003-12-02

基金项目: 江苏省教育厅自然科学基金资助项目 (01KJB170004, 01KJB17006)

作者简介: 周晓兰 (1967-), 女, 陕西商州人, 工程师, 研究方向: 气候诊断和预测。E-mail: Dengtianxia@hotmail.com.

tures rose all over the whole province, and especially winter to spring and annual means rose most distinctly in Suzhou, Wuxi and Changzhou in the southern part of the province and Xuzhou and Lianyungang in the northern part with the maximum autumn warming observed in the southern part (Suzhou, Wuxi and Changzhou). Summer temperatures showed dropping trends in most areas of the province, particularly in the east coastal area and southwest Jiangsu, which is in sharp contrast to weakly rising trends in part of the northern Jiangsu.

Key words Jiangsu Province; temperature; trend; inter-decadal variation; spatial difference

0 引言

温室效应加剧, 全球增暖已是举世公认的事实^[1]。但这种变暖趋势只是代表全球的平均状况, 不同纬度、不同地区、不同国家的温度变化形式很不一致且十分复杂^[2]。由于区域气候变化并非完全与全球同步, 地区性差异十分明显^[3], 因而探讨全球变化背景下的区域响应及温度背景趋势区域性差异的可能原因已成为气候研究的热点^[4]。关于我国平均气温变化, 已有的一些研究^[5-6]指出, 20 世纪 20—40 年代的增暖, 50—60 年代的降温及 70 年代以后的增温, 虽与全球平均气温变化趋势基本一致, 但其强度和位相均与全球气温变化有差异。我国北方气温变化与北半球气温变化比较一致, 但南方气温变化则与北半球气温变化有一定的差异^[7-8]。秦爱民等^[9]对我国月、季、半年及年平均气温进行了区划研究, 并指出在全球变暖背景下各区域年、季气温在变化趋势阶段异常极端变化上均有明显区域差异。关于江苏省各地气温的变化, 一些学者利用不同时段的数据进行了研究, 姜爱军等^[10]认为 1951—1989 年气温波动变化的幅度趋于平缓, 其总体特征是降温趋势, 隆冬和盛夏分别有增温和降温趋势, 1980—1989 年有冬暖、夏凉的现象。江志红等^[11]指出, 1961—1995 年江苏沿海夏季气温变化趋势和年际振动对北半球增暖的响应, 具有很大的不确定性, 增暖的敏感季节是冬季。丁裕国等^[12]还发现, 近百年江苏中部和西部气温有显著的上升趋势, 且与北半球平均气温变化趋势基本一致, 近百年气温最高的十年, 夏季出现在 60 年代, 其余各季及年平均气温都出现在 20 世纪 40 年代; 增加了新的资料后所得到的长期变化趋势和年代际变化特征与以往的分析结果有一定的差异。另外, 以往的研究是用江苏省部分地区或个别站点资料进行分析, 本文则以江苏省全省 60 个站最新资料为基础, 分析江苏省气温变化的长期变化趋势、年代际变化及其空间差异, 揭示江苏气候变化新的时空特征。

1 资料和方法

本文所用资料为江苏省 60 个气象站 1961—2001 年逐月平均气温。春季为 3—5 月, 夏季为 6—8 月, 秋季为 9—11 月, 冬季为 12 月—次年 2 月。各季节的平均气温为 3 个月气温的平均值。

为了分析月、季、年平均气温的变化趋势, 采用线性回归方程 $f(t) = a + bt$ 来拟合它们随时间变化的线性趋势, 其中 $f(t)$ 为第 t 年的要素值, a 、 b 为回归系数, b 即表示趋势的大小。采用三次样条函数插值法^[13], 将计算结果以 0.02° (纬度) $\times 0.02^\circ$ (经度) 的空间分辨率插值到整个江苏省, 得到变化趋势的空间分布。分别计算各站 4 个年代的 10 a 平均气温相对于 40 a 平均值的距平, 并将结果以直方图的形式绘制到各个站点的位置上, 用来分析年代际变化的空间差异。为了分析全省和各代表站气温不同时段的变化趋势和年代际变化特征, 采用高斯滤波方法^[14], 对气温序列进行平滑处理, 窗宽选择为 5。

2 结果分析

2.1 全省及各地区代表站平均气温变化趋势

将各月全省 60 站气温进行平均, 得到江苏省月和年平均气温序列, 并计算其趋势。同样计算 13 个地区代表站各月及年平均序列的趋势, 结果见表 1。由表 1 可见, 就全省平均情况而言, 近 40 a 来 12 个月中有 10 个月气温变化总趋势是正值, 即气候变暖, 其中增温幅度最大的为冬季的 3 个月, 都达到 $1.5^\circ\text{C}/(40\text{ a})$ 或以上, 2 月达 $2^\circ\text{C}/(40\text{ a})$, 可见增暖是非常显著的。其次为春季的 4—5 月, 升温幅度也达到 $1.1^\circ\text{C}/(40\text{ a})$, 6 月和 11 月升温幅度则较小。而夏季的 7、8 月气温则有下降趋势, 最明显的为 8 月, 达 $-0.8^\circ\text{C}/(40\text{ a})$, 可见, 冬季明显升温, 夏季有降温趋势, 春季和秋季也有升温趋势, 其中春季比秋季增暖明显, 但幅度小于冬季。年总平均温度也呈上升趋势, 幅度为 $1.0^\circ\text{C}/(40\text{ a})$ 。90 年代后期江苏气温仍然保持升温趋势。

表 1 全省及各地区代表站逐月及年平均气温趋势

Table 1 Monthly and yearly average temperature trends for district representative stations and Jiangsu Province
℃/(40 a)

分区	代表站	春季			夏季			秋季			冬季			年
		3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	
全省		0.7	1.1	1.1	0.1	-0.3	-0.8	0.7	0.9	0.4	1.6	1.5	2.0	1.0
苏北	徐州	0.5	1.6	0.4	0.2	0.4	-0.4	1.3	0.7	-0.1	1.5	1.3	2.5	0.8
	连云港	0.8	1.6	0.7	0	0	-0.8	1.2	1.0	0.3	1.7	1.6	2.3	0.9
	宿迁	0.8	1.2	0.3	0.1	-0.1	-1.1	0.8	0.7	0	1.6	1.4	2.5	0.7
	淮阴	1.2	1.7	1.4	0.4	0.1	-0.7	1.1	1.3	0.8	2.2	1.9	2.7	1.2
苏中	盐城	0.8	0.8	1.2	0	-0.3	-1.0	0.4	1.0	0.7	2.0	1.8	1.8	0.8
	扬州	1.1	1.7	1.9	0.5	0.3	-0.2	1.0	1.2	0.7	1.7	1.6	2.0	1.1
	泰州	0.7	0.9	1.3	0	-0.5	-0.8	0.4	0.9	0.6	1.6	1.4	1.6	0.7
	南通	1.1	1.1	1.7	0.6	-0.3	-0.4	0.7	1.2	0.9	1.6	1.6	1.8	1.0
	南京	0.6	1.2	1.3	0	-0.5	-0.8	0.7	1.0	0.3	1.3	1.1	1.8	0.7
	镇江	0.6	1.2	1.6	0.3	-0.3	-0.5	0.9	1.2	0.5	1.5	1.2	1.8	0.8
苏南	常州	0.9	1.4	1.9	0.7	-0.2	-0.3	0.9	1.6	1.0	1.9	1.7	2.1	1.1
	无锡	0.7	1.1	1.6	0.6	-0.2	-0.5	0.5	1.3	0.8	1.6	1.4	1.9	0.9
	苏州	0.7	1.1	1.6	0.7	-0.2	-0.4	0.6	1.5	0.8	1.7	1.5	1.9	1.0

从各代表站各月气温变化趋势看,尽管省内各地气温变化趋势是有一定差异的,但主要特征与全省平均一致,12个月中除 7—8月有下降趋势外,其余各月各代表站气温都是上升的,上升最明显的为冬季的 3个月,也是以 2月升温最明显。各代表站之间的差异主要在于趋势大小有所不同。以 2月和 8月为例,2月北部 4个地区升温幅度达 2.3℃/(40 a)或以上,而中部的盐城、泰州、南通、南京和镇江则为 1.6~1.8℃/(40 a),与前述 4个地区

相差 0.5℃/(40 a)。8月,降温幅度最明显的宿迁、盐城为 -1.0~-1.1℃/(40 a),而降温幅度最小的扬州仅为 -0.2℃/(40 a)。

2.2 全省及各地区代表站气温年代际变化情况

尽管气温变化有明显的长期变化趋势,但这种趋势在不同时段是不同的,即气温变化有明显的年代际差异。图 1为江苏省 60站平均年、四季平均气温高斯滑动平滑曲线。由图可以清楚地看到,江苏省年平均气温和各季节平均气温具有明显的年代际

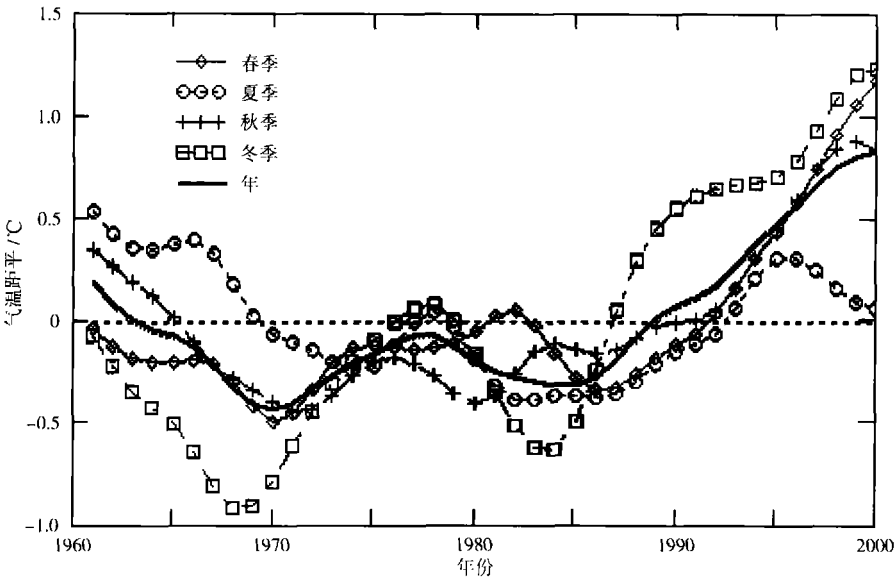


图 1 江苏省平均年、春、夏、秋和冬季气温距平高斯滤波曲线

Fig 1 Annual spring summer autumn and winter mean temperature variations smoothed by the Gaussian filter with a 5-year window, in Jiangsu Province

变化,且具有一定的相似性,基本上是 60 年代气温有降低趋势,70 年代到 80 年代前期趋势不明显,而 80 年代后期和 90 年代气温快速升高,其中 80 年代以后的升温趋势与屠其璞等^[7]给出的北半球气温趋势一致,但不同季节的平均气温的变化趋势大小有所不同,春秋季气温变化幅度与年平均温度很相似,而冬季气温起伏最大,最高(1999—2000 年)比最低(1968—1969 年)高出 2.2℃。

比较各季节气温变化曲线可以发现,冬季气温的变化总是早于其他 3 个季节,比如说,60 年代的降温,冬季气温 1968—1969 年达到最低,然后开始上升,而夏季气温直到 1975 年才降到最低,春季气

温在 1970 年降到最低,秋季气温在 1972 年降到最低。80 年代—90 年代的升温,也是冬季最先开始,在 1984 年就开始快速升温,春、夏、秋季则在 1986 年才开始升温,幅度也较冬季小。这说明冬季气温对气候变化反应较其他几个季节敏感。

为了了解各地区气温变化情况,分析了 13 个地区代表站(地区所在地)的四季和年平均气温 5 a 高斯滤波曲线,年平均气温基本上都是呈“W”型变化,即降温—升温—降温—升温,从 80 年代后期开始升温明显,但不同站点之间也有一定的差异。本文给出了徐州(北部)、泰州(中部)和苏州(南部)四季和年平均气温的差异(图 2)。泰州和苏州春季

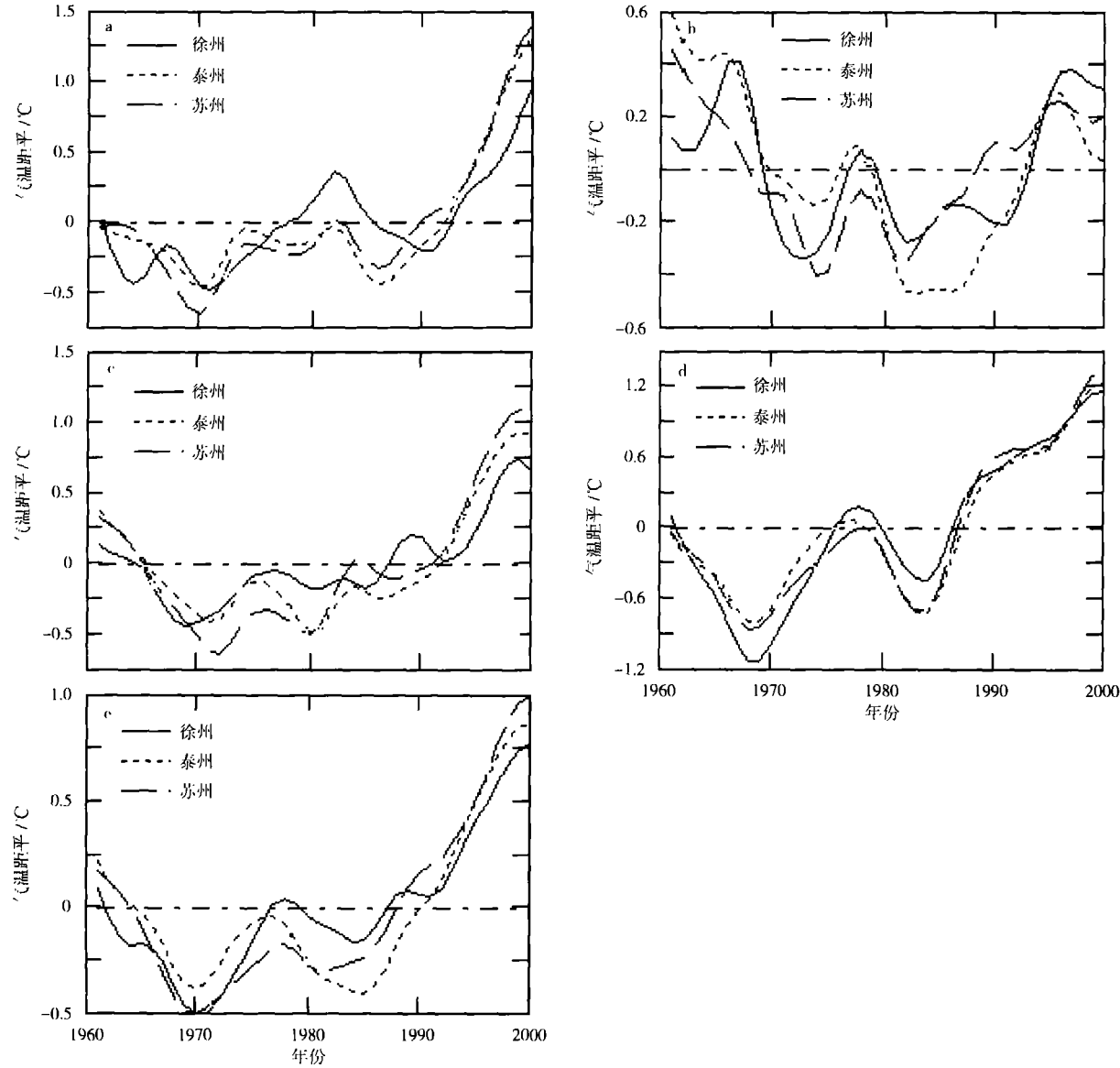


图 2 3 个代表站春 (a)、夏 (b)、秋 (c)、冬 (d) 季及年 (e) 气温距平滑序列

Fig 2 Smoothed spring(a), summer(b), autumn(c), winter(d) and annual(e) tenperature anomaly series for 3 represent stations

气温变化比较一致, 而徐州与其他两站则有明显的不同, 70年代末和 80年代初, 徐州气温距平为正值或较弱的负距平, 而苏州和泰州则为负距平; 90年代泰州和苏州比徐州升温趋势明显。

2 3 季平均气温趋势的空间差异

气温长期变化趋势在空间分布上有明显的差异 (图 3), 各站春季气温都是正趋势, 升温幅度明显的

为连云港、徐州、淮阴、扬州地区, 以及泰州南部、无锡和常州北部地区, 幅度达 $1.7 \sim 2.0^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$ 。而盐城、南通、宿迁、苏州、镇江及泰州北部升温幅度则较小, 大多数在 $1.0^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$ 以下, 特别是盐城、南通的沿海地带升温幅度最小, 在 $0.3^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$ 以下。夏季与春季气温很相似, 但夏季江苏境内大多数地区有降温趋势, 最明显的为盐城东南部、宿迁南

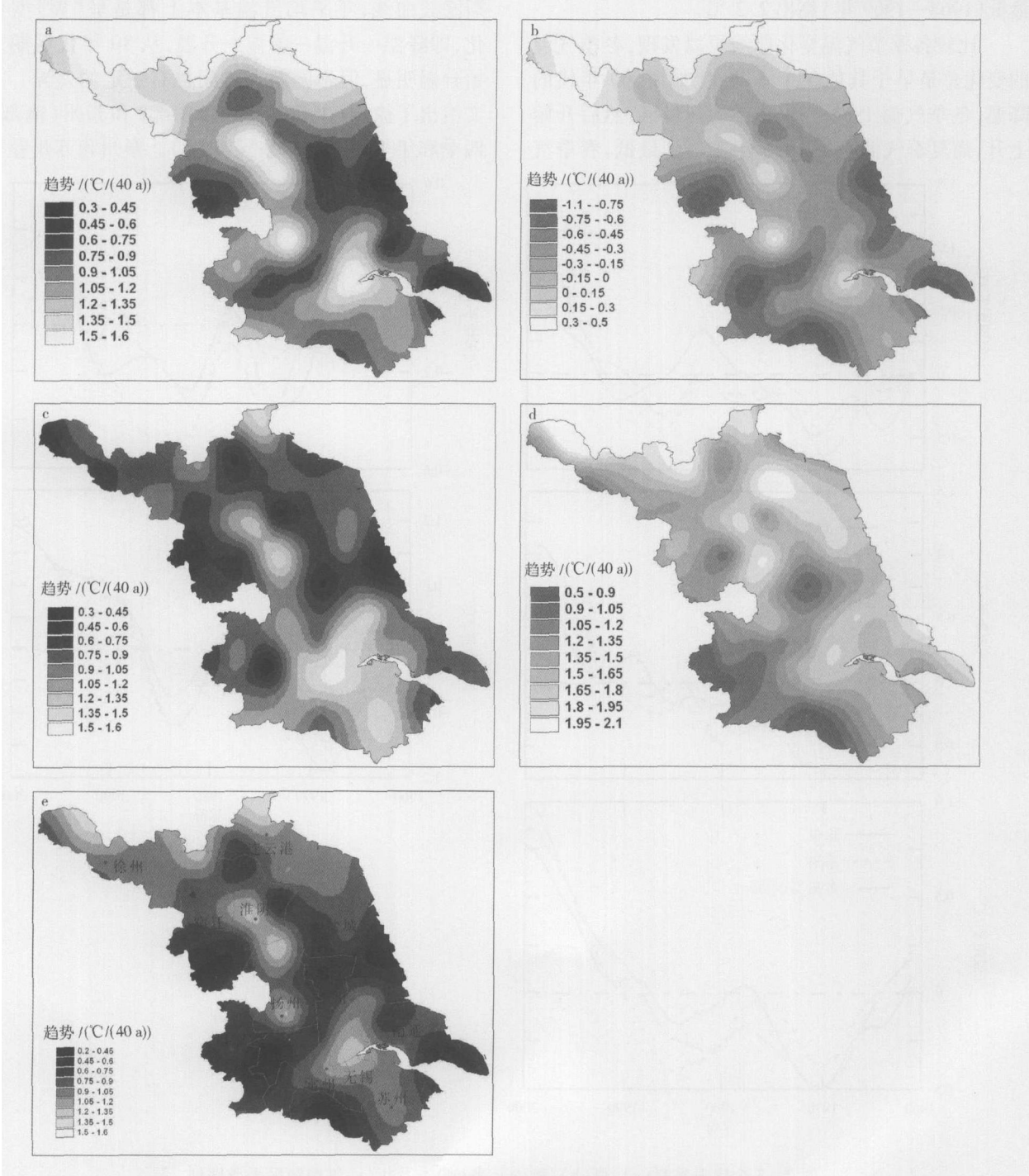


图 3 春 (a), 夏 (b), 秋 (c), 冬 (d) 季和年平均 (e) 气温变化趋势的空间分布

Fig 3 Spatial patterns of spring (a), summer (b), autumn (c), winter (d) and annual (e) mean temperature trends

部、镇江西部、太湖地区, 幅度最大可达 $-0.9^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$ 左右, 而徐州西北部、连云港北部则有升温趋势, 幅度最大约 $0.5^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$, 扬州北部和南部地区及无锡北部和泰州南部也有弱升温趋势, 但幅度小于 $0.3^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$ 。秋季全省为一致的升温趋势, 最明显的苏锡常、泰州南部、南通西部的大片连续区域及扬州北部、淮阴南部和连云港北部地区, 升温幅度都在 $1.0^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$ 以上, 极值可达 $1.5^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$ 左右。而其他地区升温幅度则相对较小, 约在 $0.3\sim 1.0^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$, 最小值在盐城东南部沿海地区和镇江西部。冬季气温全省气温都是显著升高的, 其中升温极大值位于连云港南部和徐州北部, 幅度达 $2^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$ 左右, 北部和东部升温幅度最大, 升温幅度都在 $1.5\sim 2^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$ 。江苏西南部的镇江—南京—高淳—宜兴地区升温幅度则相对较小, 约为 $0.7\sim 1.2^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$, 总体上是

从东北向西南方向减小。

从年平均气温变化趋势图(图 3e)上可以看出, 江苏全境气温都是上升的, 但升温幅度有明显空间差异, 其中苏锡常地区、扬州、淮阴及连云港和徐州北部升温明显, 可达 $1.0\sim 1.5^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$, 而其他地区升温幅度则较小, 在 $1.0^{\circ}\text{C}/(40\text{ a})$ 以下。

2.4 年代际变化空间差异

为了分析江苏省气温年代际变化的空间差异, 将 4 个年代的平均气温与 40 a 平均气温相减, 并用直方图(图 4)的形式表示出来。

从图 4 可以看出, 由于 90 年代气温迅速升高, 因此春季气温的 4 个年代的气温距平, 只有 90 年代为正, 距平为 $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$, 其他 3 个年代都为负, 距平为 $-0.5\sim 0^{\circ}\text{C}$ 。年代际变化的空间差异主要表现在沿海地区与内陆地区哪个年代最冷的问题, 在东部沿海的南通、苏州东部、盐城和连云港, 60 年代

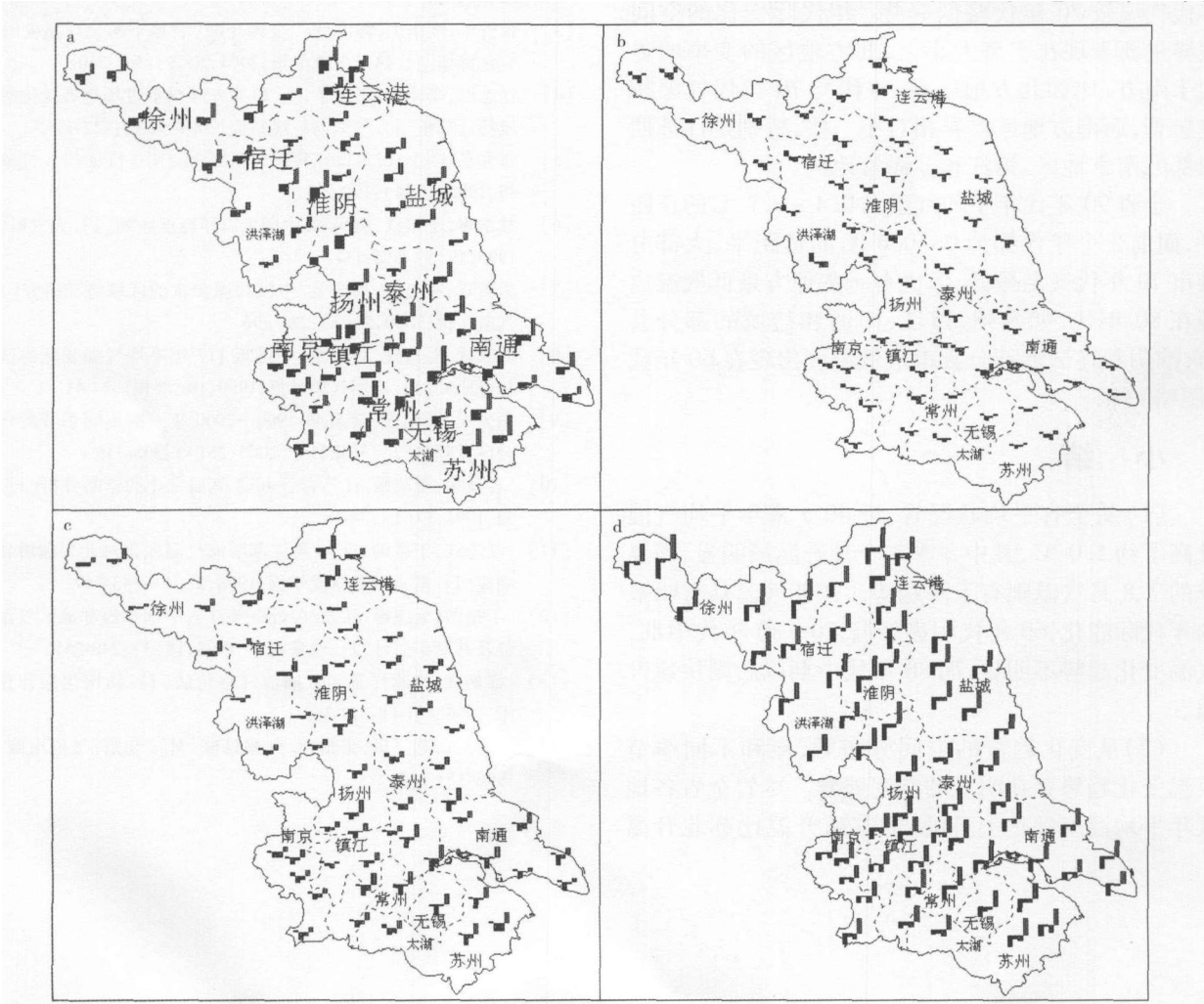


图 4 春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)季气温年代距平的空间分布(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig 4 Spatial patterns of decadal anomalies of spring (a), summer(b), autumn(c) and winter(d) temperatures(units $^{\circ}\text{C}$)

最冷,而西部 10个地区最冷出现在 70年代。

夏季气温全省 60—80年代连续降低,80年代达最低,而 90年代则明显升高到平均值或较小的正距平,但仍未达到 60年代的水平。夏季气温变化的年代际差异不如春季明显,距平幅度在 0.5℃以内,空间差异也不明显。

秋季气温 70年代比 60年代低,70年代以后持续升高,90年代达到 4个年代的最高气温。年代际变化有一定的空间差异,主要表现在西北部的几个地区 60—80年代气温变化较小,而东南部的几个地区则较大。

冬季气温年代际变化的主要特征是,60年代明显偏低,距平为 -1.0~-0.5℃,长江以南地区幅度较江北小,而 90年代明显偏高,距平在 0.5~1.2℃。70和 80年代距平较小在 -0.2~0℃,80年代气温较 70年代略低一些。年代际变化的空间差异主要表现在变率大小上,北方地区的变率明显大于南方,比如北方地区 60年代与 70年代气温相差显著,而南方地区差异相对小一些,特别是江苏西南部的南京地区、镇江和苏锡常地区。

全省 90年代年平均气温为 0.4~0.7℃的正距平,而前 3个年代都为 0~0.4℃的负距平,大部分县市 70年代气温最低,但也有一些地方最低气温出现在 80年代,如泰州、镇江、南通和盐城的部分县市,淮阴和连云港部分县市最低温度出现在 60年代(图略)。

3 小 结

(1)从全省平均状况看,近 40 a来年平均气温升高了约 1.0℃,其中冬季 3个月升温最明显,而夏季的 7、8月气温则有下降趋势。江苏气温具有明显的年代际变化,60年代明显降温,70—80年代中期,气温变化趋势不明显,而 80年代中期以后则快速升温。

(2)从变化趋势的空间分布看,年和不同季节气温变化趋势存在明显的空间差异。尽管全省各地区年平均温度都是上升的,但苏南升温比苏北升温

明显。各个季节有明显不同,春、秋和冬季气温全省都升高,其中春、冬季北部的徐州、连云港和南部的苏锡常地区升温最明显,秋季升温最明显的区域为苏锡常地区。而夏季大部分地区气温有下降趋势,最明显的降温出现在东部沿海和西南部地区,而北部部分地区有弱升温趋势。

(3)从年代际变化看,20世纪 90年代年平均气温比前 3个年代显著偏高,春、秋、冬季都是如此,而夏季最高温度仍为 60年代。气温年代际变化在空间上也有一定的差异。

参考文献:

[1] 王绍武,叶瑾琳.近百年全球气候变暖的分析[J].大气科学,1985,19(5):545-553.

[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] 张秀年,严华生,郭世昌.“全球变暖”背景下的全球温度时空变化特征[J].热带气象学报,2004,20(5):561-570.

[4] 江志红,李建华,王梅华,等.20世纪全球温度场趋势变化的区域特征分析[J].气候与环境研究,2004,9(3):422-434.

[5] 张先恭,李小泉.本世纪我国气温变化的某些特征[J].气象学报,1982,40(4):198-207.

[6] 林学椿,于淑秋,唐国利.中国近百年温度序列[J].大气科学,1995,19(5):525-534.

[7] 屠其璞,邓自旺,周晓兰.中国气温异常的区域特征研究[J].气象学报,2000,58(3):288-296.

[8] 屠其璞,邓自旺,周晓兰.中国近 117年平均气温变化的区域特征研究[J].应用气象学报,1999,10(增刊):34-41.

[9] 秦爱民,钱维宏,蔡亲波.1960—2000年中国不同季节的气温分区及趋势[J].气象科学,2005,25(4):338-345.

[10] 姜爱军,董晓敏.江苏省近 40年气温变化的诊断分析[J].气象,1991,17(1):34-38.

[11] 江志红,丁裕国.近 35年江苏沿海气温变化对北半球增暖的响应[J].南京气象学院学报,1998,21(4):743-749.

[12] 丁裕国,金莲姬,江志红.近百年江苏中部和西部地区气温趋势及其变率估计[J].气象科学,1998,18(3):248-255.

[13] 汪柄柱.快速样条函数插值网格化法[J].物探化探计算技术,1996,18(4):357-363.

[14] 马开玉,陈 星,张耀存.气候诊断[M].北京:气象出版社,1996:151-154.