

全球气候变化背景下中国降水量 空间格局的变化特征

王 英^{1,2}, 曹明奎¹, 陶 波¹, 李克让¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 浙江大学地球科学系, 杭州 310027)

摘要: 相对于全球性的持续变暖趋势, 降水量变化格局及其区域分异有更大的不确定性, 因此研究不同区域降水量的变化特征是当前全球气候变化研究的重要内容之一。本研究基于 1951~2002 年中国约 730 个气象台站观测数据, 利用空间插值和 Mann-Kendall 时间序列趋势分析方法并结合 GIS 技术, 分析了过去 50 多年中国降水量的时空变化特征。结果表明, 全国平均年降水量从 60 年代到 90 年代呈明显下降趋势, 但在 90 年代后期出现回升, 其中夏季和冬季降水量已达到 50 年代和 60 年代的水平。同时, 降水量变化呈现显著的区域分异特征: 华北、华中、东北南部地区持续下降, 长江流域以南地区明显增加, 而新疆北部、东北北部和青藏高原西部 60 年代到 70 年代下降, 80 年代后期有所回升。中国北方有从干旱到湿润转变的迹象, 但华北和东北南部地区仍然处于持续的干旱期。中国降水量的总体下降及 90 年代后期的回升与全球变化趋势基本一致, 但区域变化格局与全球中高纬度地区降水增加、热带和亚热带地区减少的特征正好相反。

关键词: 气候变化; 降水量; 空间格局; 时间变化

文章编号: 1000-0585(2006)06-1031-11

1 引言

全球气候变暖必将导致降水量的时空分布变化, 从而对水资源、生态系统状况和社会经济发展等产生深刻的影响。研究表明全球气候变暖加速了地球系统的水循环, 全球总降水量在过去 100 年有增加趋势, 但在干旱与半干旱地区减少, 酷热、干旱和洪涝等极端气候事件增加^[1]。IPCC 第三次评估报告指出 20 世纪全球温度呈上升趋势, 约升高 0.6 左右, 同时降水分布也发生了变化, 北半球亚热带陆地地区 (10~30°N) 每 10 年减少约 0.3%, 而大部分中高纬地区降水量每 10 年增加 0.5~1.0%^[2]。Bradley^[3]对 1855~1984 年北半球年/季的降水变化的研究发现, 1950~1984 年 5~35°N 的副热带降水量变化为负趋势, 35~70°N 的中高纬度降水变化为正趋势, 北半球降水量整体上有显著的年代际变化, 其中 50 年代是最异常多雨的年代。Hulme^[4]对 1951~1980 年全球及北半球平均降水变化的研究表明, 全球平均年降水略有减少 (0.4mm/a), 其中北半球的减少趋势为 1.3mm/a, 主要来自热带 (0~30°N), 而中纬度地区 (30~50°N) 的年降水量略有增加。

我国地处北半球副热带和中纬度地区, 在全球气候变化的背景下, 中国过去 50 年气候变化也十分显著, 因此研究此背景下降水量空间格局的变化特征具有重要意义。关于中国近几十年的气候变化, 已有大量研究结果报道。王绍武和丁一汇等^[5,6]研究表明, 我国

收稿日期: 2006-01-18; 修订日期: 2006-05-06

基金项目: 国家重点基础研究计划 (G2002CB412507); 中国科学院百人计划 (曹明奎)

作者简介: 王英(1982-), 女, 陕西渭南人, 博士。从事全球变化与定量遥感研究。E-mail: wangying@cern.ac.cn

西北地区的气候变化与全球气候变化基本一致,目前仍属于暖期。施雅风^[7]研究发现,自1987年起新疆以天山西部为主的地区,出现了气候从冷干转向暖湿的强劲信号。王遵娅等^[8]利用740个站点逐日资料分析了近50年来我国降水量的变化趋势,发现全国平均年降水量波动中略有减少,其中华北、东北地区降水显著减少,体现了夏季风的减弱,但90年代以后夏季降水明显增加,尤其是长江以南地区。陈隆勋和翟盘茂等^[9-11]对近40~50年的中国降水研究指出,全国平均年降水量呈减少趋势,但西部降水量增长趋势明显,其中以西北地区为最,而西南一些地区有减少趋势。

以上学者都是直接利用气象观测站点的降水量数据采用各种气象统计方法对多年降水量变化进行研究,可以认为是一种空间有限气象站点的时间尺度的研究,一般对要素在空间尺度上的演变特征考虑较少。由于气象台站观测数据的固有缺点,所以在气候动态表达上常常不得不有所偏重,或侧重于面的空间分布描述,或局限于点的时间序列分析,然而气候现象是兼具时空属性的大气物理过程,在研究中必须考虑区域尺度上气候要素的时空变化特征,随着现代气候学、生态学以及“3S(GIS-地理信息系统,RS-遥感,GPS-全球定位系统)”的发展,许多气候变化的相关研究迫切需要高时空分辨率、空间栅格化的气象/气候要素数据^[12]。目前我国很多生态模型、水循环模型等都需要气候栅格数据的支持,随着研究的深入,对空间化数据的精度和分辨率要求也越来越高。空间栅格数据可以弥补气象观测站点分布不均匀,或站点分布稀疏的不足,客观地提供气象要素在区域上的时空属性,为全球气候变化、气候生产潜力以及生物量的空间分布、陆地生态系统碳源/汇时空格局模拟等研究提供重要的基础数据。

本文试图在对我国1951~2002年730个气象站点的实测降水量数据进行空间插值的基础上,分析过去50年中国降水量空间格局的变化特征及其与全球气候变化的一致性和差异性,以期为全球气候变化及相关科学研究提供可靠的数据基础。

2 方法与资料

2.1 研究方法

2.1.1 气象数据的空间插值 气象要素空间栅格化的核心是空间内插技术,目前的插值方法主要有反距离权重法(IDW)、梯度加权反距离平方方法(GIDS),光滑薄面样条插值法(Thin Plate Smoothing Spline),克里金插值法(Kriging)等^[13]。许多研究发现,利用光滑薄板样条法对降水的插值效果明显优于其他方法^[14-16]。澳大利亚国立大学基于这种原理开发的插值软件ANUSPLIN,现已广泛应用于澳大利亚和欧美各国^[17,18]。通过本研究的比较,我们发现利用ANUSPLIN软件插值的降水栅格数据与观测值的误差较小,在可信的范围之内(图1)。此外考虑到气象资料的不完整性,本研究在插值前对1951~2002年全国各站点逐年逐月降水数据进行预处理,剔除了相应时段内缺测、漏测及异常数据,同时逐旬剔除长度少于5天,多年连续资料长度少于40年的数据,从而保证插值过程和插值结果的可信度,弥补了气象台站分布稀疏和不均匀的不足。

2.1.2 降水量年际变化及空间分布格局 对空间栅格化的降水量值求全年、春(3、4、5月)、夏(6、7、8月)、秋(9、10、11月)和冬季(12、1、2月)总降水量,形成多年年际距平序列,以分析降水量的年际和季节变化特征。

本研究用一元线性回归(式1)拟合各个栅格点时间序列和平均降水量之间的关系。

$$R_{(ij,l)} = a_{ij} + b_{ij} X_l \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; l = 1951 \dots 2002) \quad (1)$$

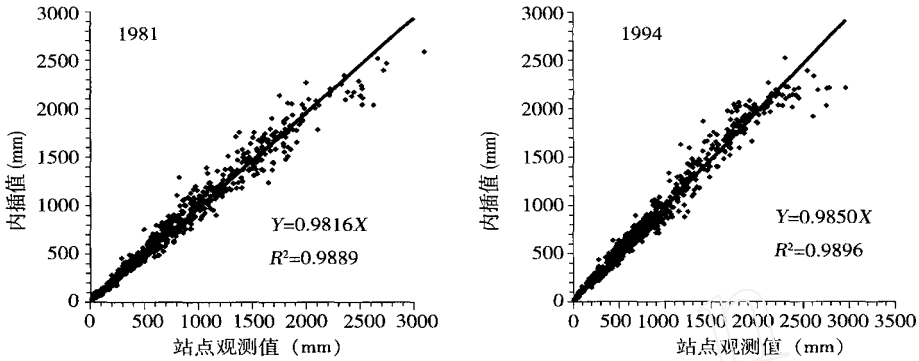


图 1 1981, 1994 年降水量站点观测值与内插值比较

Fig 1 Comparison of observed and interpolation precipitation of 1981 and 1994

其中, $R_{(i,j,t)}$ 表示 X_t 时次栅格化图像中点 (i, j) 处的降水量 (mm); b 为一元线性回归系数, 本研究中即为某栅格点近 50 年降水量的变化率 (mm/a), $b > 0$ 表示降水量增加, 反之降水量减少。

2.1.3 降水量时间序列趋势分析 为研究降水量年际和季节变化趋势的置信度水平, 采用世界气象组织 (WMO) 推荐的 Mann-Kendall 非参数统计方法检验其变化趋势的置信度^[19]。其优点在于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, 而且计算简便, 在水文 - 气象时间序列中非参数检验方法比参数检验的方法更为适合^[20]。

M-K 趋势分析方法的计算过程如下, 对某个栅格点 (i, j) 的降水时间序列 $R_t (t = 1954, \dots, 2002)$ 利用式 (2) 求标准化的统计量 M :

$$M = \frac{S}{\sqrt{V(S)}} \quad , \quad S = \frac{4S}{N(N-1)} - 1, \quad V(S) = \frac{2(2N+5)}{9N(N-1)} \quad (2)$$

式中, S 为 Kendall 统计量, $V(S)$ 为方差, M 为标准化的统计量。其中 S 为某栅格点的降水时间序列 $R_t (t = 1951, \dots, 2002)$ 中所有对偶值 $(R_{i_1}, R_{i_2}, 1951 \leq i_1 < i_2 \leq 2002)$ 中 $R_{i_1} < R_{i_2}$ 出现的次数; N 为降水时间序列长度。统计量 M 服从标准正态分布, 若 M 值为正, 表明具有上升或增加的趋势; M 值为负, 则意味着下降或减小的趋势。取 $\alpha = 0.05$ 的显著水平, 如果某时间序列有明显的变化趋势, 则 $|M| > M_{\alpha} = 1.645$, 即该时间序列通过了 95% 的显著性检验; 取 $\alpha = 0.1$ 的显著水平, 如果某时间序列有明显的变化趋势, 则 $|M| > M_{\alpha} = 1.282$ ^[19], 表明该时间序列通过了 90% 的显著性检验。

2.2 资料和数据来源

本研究所用的降水量实测数据来自中国气象局提供的 1951 ~ 2002 年 730 个站点 (图 2) 逐日降水量数据, 在预处理中剔除每旬时间长度少于 5 天、多年连续长度少于 40 年的站点数据, 保留时间长度比较好的数据参与插值过程。空间化插值过程中所用的地理信息资料来自中国科学院地理科学与资源研究所提供的全国 1:400 万 DEM 数据。

3 结果与分析

3.1 中国年降水量的年际变化趋势

如图 3a 降水距平年际变化趋势线所示, 全国 1951 ~ 2002 年年降水量总体呈减少趋

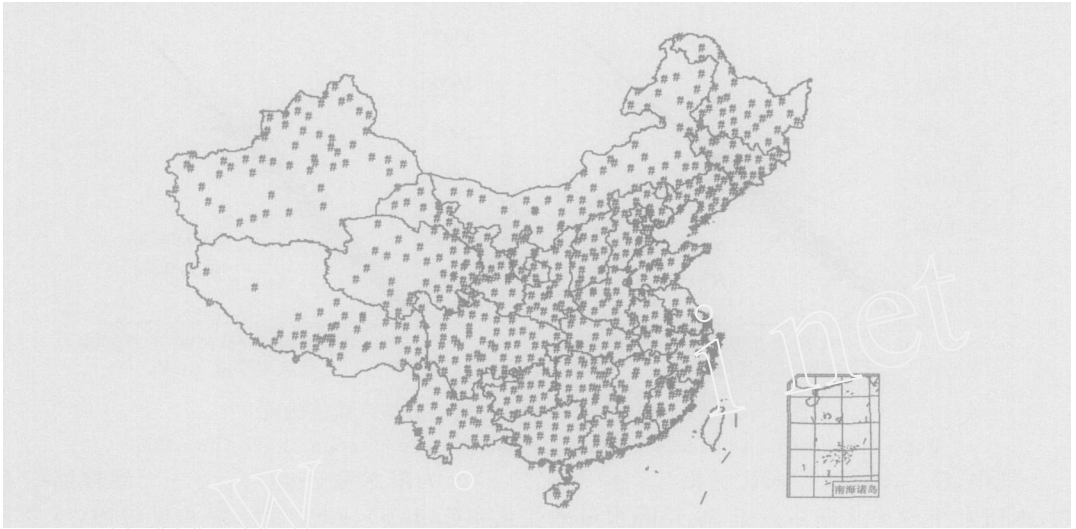


图 2 参与插值的中国 730 个气象站点分布图

Fig. 2 730 meteorological stations of China

势, 平均每年减少约 0.569mm。5 年滑动曲线表明 20 世纪 50 年代年降水量最多, 60 年代开始减少, 90 年代后期有回升迹象。春、秋季降水量总体下降 (如图 3b、图 3d), 平均每年减少约 0.316mm 和 0.36mm。夏季降水量略微增加 (图 3c), 平均每年增加 0.12mm, 其中 20 世纪 60 到 80 年代减少显著, 90 年代后明显增加, 最多增加了 60mm。整体看冬季降水变化不明显 (图 3e), 但年际波动较大, 其中 20 世纪 60、70 年代有所减少, 80 年代末起转变为增加趋势。

综合分析图 3a 到图 3e 表明降水量年际变化特征体现在近 50 年来全国春、秋季降水明显减少, 导致全年降水量的整体波动下降趋势, 但从 90 年代后夏冬季降水已恢复到 50 年代和 60 年代的水平, 全年降水量有所回升。

丁一汇等^[21]在《气候变化国家评估报告》中的研究结果表明, 1956~2002 年全国年总降水量呈微弱增加趋势。翟盘茂等^[10,11]对近 40~50 年的中国降水研究指出, 全国年降水量呈减少趋势。而本研究结果表明, 1956~2002 年年总降水量呈微弱的减少趋势, 一些差异主要是由研究所采用的栅格数据引起的, 在插值过程中西部站点的稀疏分布必然会对全国总降水量产生一定的影响, 但从降水量的年代际变化趋势上看, 栅格数据与台站观测数据的分析结果表现出很好的一致性, 由气候变暖所引起的全球水循环加快, 导致 20 世纪 90 年代后降水量显著增加。

3.2 降水量年际变化的空间分布格局

近 50 年全年降水量变化的空间分布格局 (图版 4, 图 4a) 表明华北、华中地区、四川盆地、东北南部地区以及青藏高原西部减少 ($b = -2 \sim -4 \text{mm/a}$), 而长江以南大部分地区、新疆北部、青藏高原东南部增加 ($b = 2 \sim 8 \text{mm/a}$)。

春季降水量变化区域分异 (图版 4, 图 4b) 体现在长江以南地区、青藏高原显著减少 ($b = -1.5 \sim -3 \text{mm/a}$), 而北方大部分地区无显著变化, 全国仅云南省降水量增加趋势明显。

夏季降水量变化空间分布格局 (图版 4, 图 4c) 表明东北南部、华北-华中部分地区降水减少 ($b = -0.5 \sim -3 \text{mm/a}$), 长江以南、西部大部分地区增加。

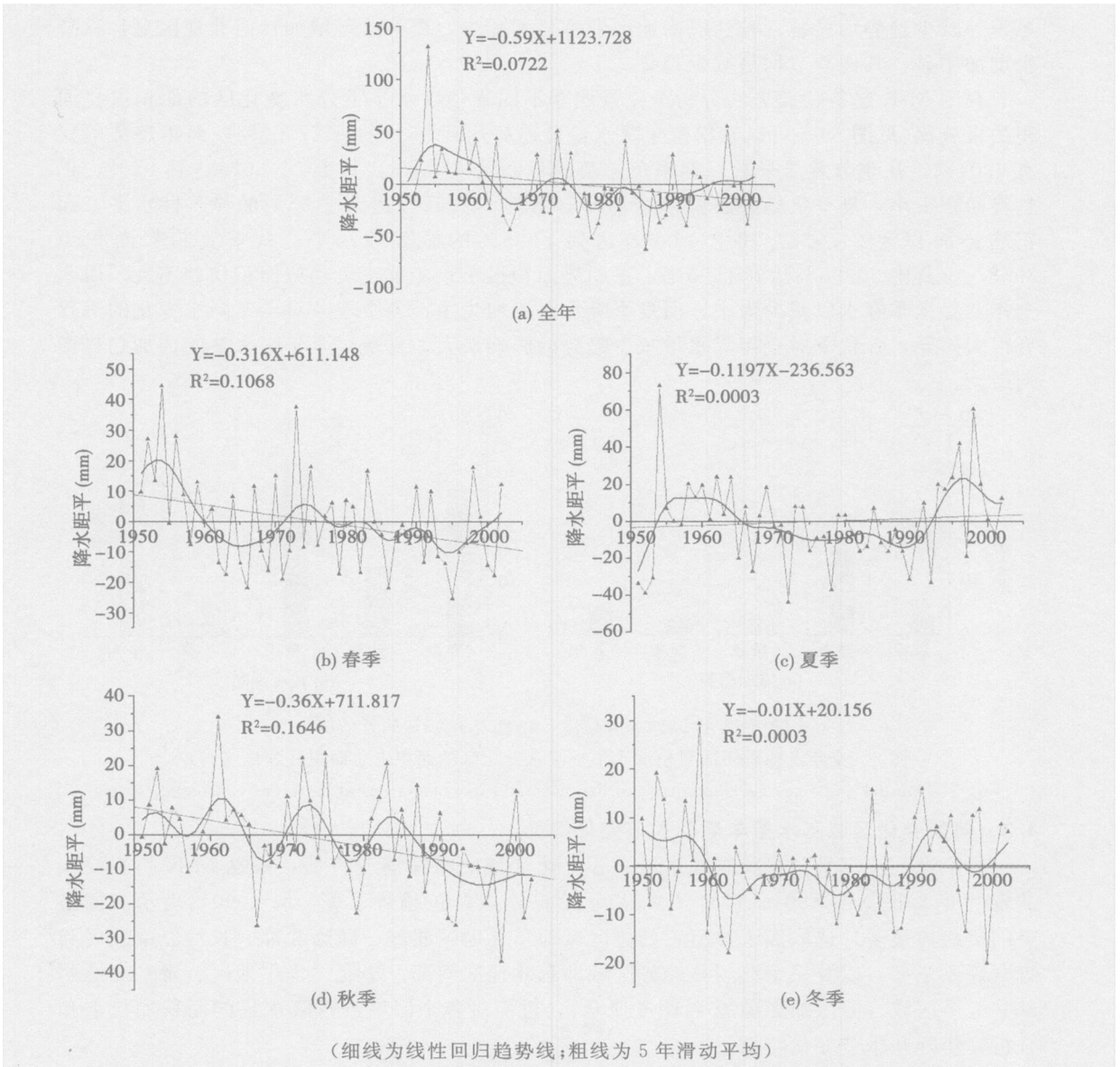


图3 1951~2002年全国全年、四季降水距平年际变化趋势

Fig. 3 The interannual changing trend of annual and seasonal anomalies of precipitation in China during 1951~2002

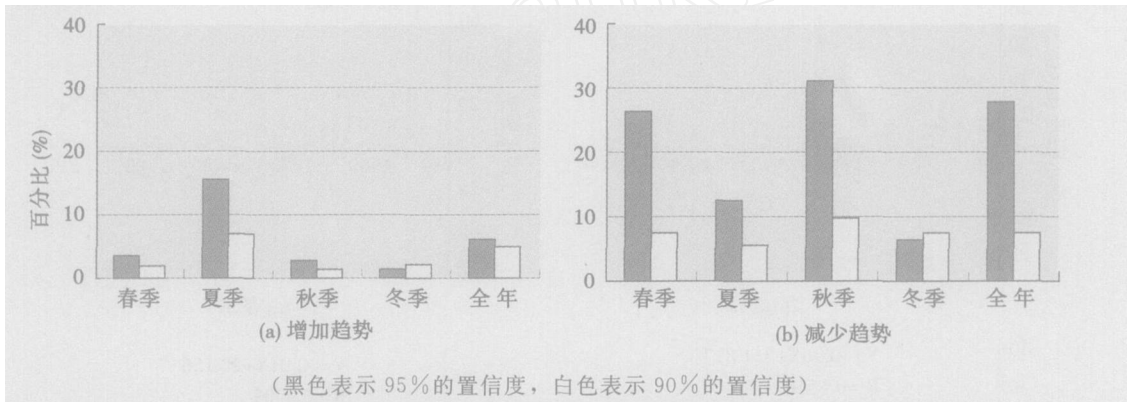
秋季降水量变化区域差异 (图版4,图4d) 为华北地区、东北南部、四川盆地、青藏高原西部有减少趋势 ($b = -1 \sim -2.78\text{mm/a}$); 云南,淮河流域部分地区降水量有所增加 ($b = 1 \sim 2\text{mm/a}$); 其余地区减少程度不明显。

从冬季降水量的变化分布格局 (图版4,图4e) 可以明显看出,长江以北大部分地区变化不明显 ($b < -0.5\text{mm/a}$), 华南部分地区降水量略微增加。

综合分析图4a至图4e表明:春、秋季全国大部分地区降水量明显减少,夏季除东北、华北部分地区外其余地区均增加。降水量变化区域分异明显:华北、东北南部地区除冬季外减少趋势均显著;长江以南地区春季显著减少,夏季显著增加;西北地区夏、秋降

水增加明显，其他季节均呈减少趋势。

利用 M-K 趋势检验方法分析全年及四季不同置信度水平下降水变化区的面积占总面积的百分比(见图 5)，可以看出全年降水量负趋势达到 95% 的有 27.65%，而正趋势的仅有 6.04%。从季节差异来看，春季负趋势的面积为 33.9%，其中 26.36% 达到 95%，正趋势面积很小；夏季负趋势面积为 18.19%，其中 12.52% 达到了 95% 的显著性水平，而正趋势面积为 21.9%，其中 15.5% 达到了 95% 的显著性水平；秋季负趋势面积为 39.8%，其中 30.98% 达到了 95%，正趋势面积很小；冬季正负趋势面积相差不大。说明全年及春秋降水以减少为主，而夏季降水以增加为主，各个季节对全年降水变化的贡献有很大差异，春秋季对全年降水量减少趋势的影响最大，夏季对全年降水量的增加趋势影响最大。



(黑色表示 95% 的置信度，白色表示 90% 的置信度)

图 5 全年及四季不同置信度水平下降水变化区的面积占总面积百分比 (%)

Fig. 5 Annual and seasonal percentage of decrease and increase areas at different confidence levels

3.3 典型变化区域降水量年际和季节变化特征

为了进一步定量分析我国降水量显著变化区域的时间演变特征，根据 M-K 趋势检验的置信度水平 $|M| > 90\%$ ($M > 90\%$ 表示该栅格点的正趋势显著， $M < -90\%$ 表示该栅格点的负趋势显著) 选取四个典型正趋势区域即东北地区北部、新疆北部、长江以南地区和青藏高原东部，以及三个典型负趋势区域即东北地区南部、华北-华中地区、青藏高原西部共七个区域(分区图如图版 4, 图 6 所示)，进而对各个区域进行降水量的面积加权求和分析其年际和季节变化特征。

从图 7 各个区域降水距平年际变化趋势线和表 1 中各年代际的年际变化回归系数可以

表 1 各年代际七个典型区域降水量年际变化趋势 (mm/a)

Tab 1 The interdecadal changing trend of precipitation in seven typical regions (mm/a)

年代	东北北部	新疆地区北部	长江以南地区	青藏高原东部	东北地区南部	华北-华中地区	青藏高原西部
50	15.39*	12.52*	3.39	12.53*	2.76	2.45	1.82
60	-3.21	1.06	3.76	-0.70	-2.22	-1.67	0.76
70	3.11	-0.98	-3.98	-1.12	-3.88	-3.24	-3.77
80	4.39	2.94	-6.95	1.5	-2.6	-2.97	-3.65
90	-1.54	-1.62	8.06*	0.39	3.30	4.34*	6.52*
50年平均	0.58	0.51*	1.14*	0.53*	-0.69*	-0.69*	-0.69*

*号表示通过了 0.05 的显著性水平检验，正值表示降水增加，负值表示降水减少。

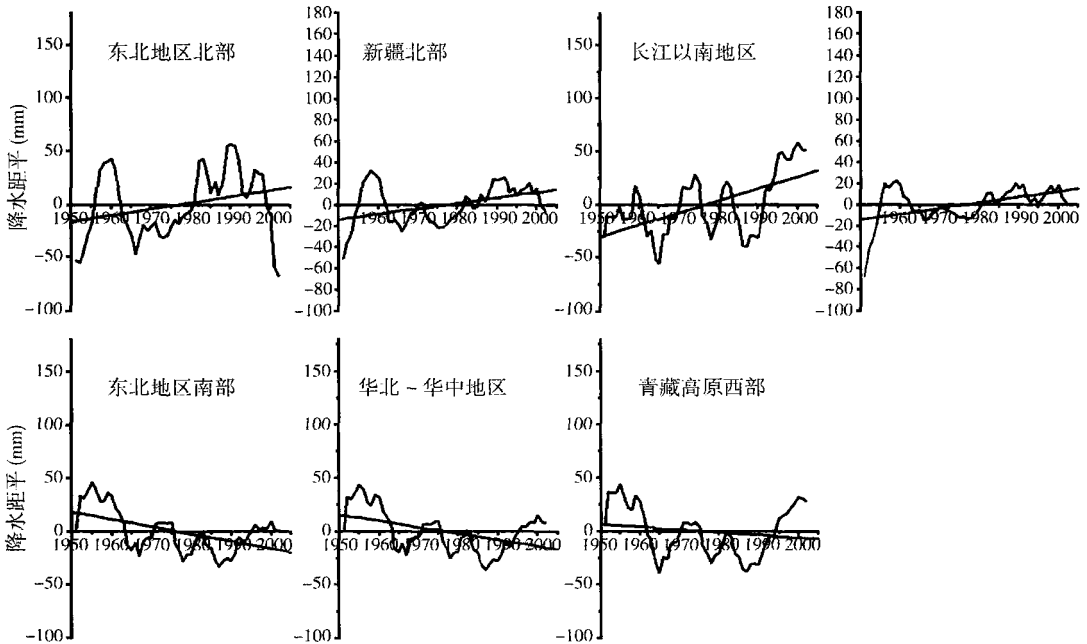


图 7 1951 ~ 2002 年七个典型区域降水量年际变化趋势 (直线为线性回归趋势线)

Fig. 7 The annual changing trend of precipitation in seven typical regions during 1951 ~ 2002

看出, 负趋势的东北南部、华北 - 华中地区、青藏高原西部全年降水量年代际变化趋势基本一致, 20 世纪 50 年代为降水高值期, 60 年代中期到 80 年代波动变化减少, 90 年代起略有增加但仍持续为负距平; 而正趋势的代表性区域以长江以南最为明显, 20 世纪 70 年代到 80 年代在平均值附近波动变化, 90 年代后显著增加 ($b = 8.062\text{mm/a}$), 且达到了 95% 的显著性水平; 新疆北部、东北北部、青藏高原东部 20 世纪 50 年代增加最明显, 60 年代开始略微下降, 80 年代起有所回升。

从各个季节的变化趋势来看 (见表 2), 春季七个区域均减少, 以负趋势的三个地区即东北南部、华北 - 华中、青藏西部最为显著; 夏季正趋势的四个地区东北北部、新疆北部、长江以南地区、青藏高原东部和西部均显著增加, 其中长江以南地区最为显著, 而东北南部、华北 - 华中地区表现为下降趋势, 但不显著; 秋季东北南部、华北 - 华中、青藏西部减少趋势显著, 其余四区变化不明显。冬季七个典型区域均不显著。

表 2 七个典型区域降水量季节变化趋势 (mm/a)

Tab 2 The seasonal changing trend of precipitation in seven typical regions (mm/a)

季节	东北地区北部	新疆地区北部	长江以南地区	青藏高原东部	东北地区南部	华北 - 华中地区	青藏高原西部
春	-0.17	-0.118	-0.24 *	-0.11	-0.4 *	-0.42 *	-0.47 *
夏	0.88 *	0.66 *	1.28 *	0.64 *	-0.14	-0.23 *	0.11 *
秋	-0.12	0.01	0.19	0.05	-0.43 *	-0.4 *	-0.34 *
冬	0.01	-0.03	1.14	-0.05	-0.004	0.003	0.01
年	0.59	0.51 *	1.14 *	0.53 *	-0.69 *	-0.69 *	-0.69 *

*号表示通过了 0.05 的显著性检验水平, 正值表示降水增加, 负值表示降水减少。

从各个典型区域的季相变化特征来看, 长江以南地区春季降水显著减少, 而夏季降水增加趋势最大 ($b = 1.28\text{mm/a}$), 对全年的影响也最大, 其次东北北部地区、新疆北部、青藏高原东部 ($b = 0.64 \sim 0.88\text{mm/a}$), 夏季降水均通过了 95% 的显著性检验水平; 而东北南部、华北 - 华中地区春夏秋降水显著减少, 其中春秋减少趋势达到 0.4mm/a 。

通过以上分析, 我们把降水量显著变化的典型区域分为以下三种类型:

第一种类型为东北南部、华北 - 华中地区以及青藏高原西部。该类型的特征是近 50 年年降水量趋于减少, 其中 20 世纪 50 年代为降水高值期, 60 年代中期开始持续减少, 90 年代后略微回升但幅度不大。从季相变化来看, 春夏秋季降水的显著减少导致了全年降水量的减少趋势;

第二种类型为新疆北部、东北北部、青藏高原西部。该类型的特征表现为近 50 年年降水量趋于增加。其中 50 年代增加最明显, 60 年代开始下降, 80 年代后有所回升。从季相变化来看, 夏季降水的显著增加导致了全年降水的增加趋势;

第三种类型是长江以南地区。该类型全年降水量增加最显著, 90 年代后是全国增加最明显的地区。降水量变化的季节差异比较大, 春季显著减少, 而夏季的增加趋势是全国最显著的地区。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究以 1951~2002 年全国约 730 个站点降水量观测数据为基础, 分析了全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征。结果表明: 全国平均年降水量从 60 年代到 90 年代明显下降, 90 年代后期出现回升趋势, 其中夏季和冬季降水量已恢复到 50 年代和 60 年代的水平。年平均降水量负趋势达到 95% 置信度水平的有 27.65%, 而正趋势的仅 6.04%; 各个季节对全年降水变化的贡献有很大差异, 春秋对全年降水量减少趋势的影响最大, 夏季对全年降水量增加趋势的影响最大。降水量变化区域分异明显: 华北、华中、东北南部地区持续下降, 长江流域以南地区明显上升, 新疆北部、东北北部和青藏高原西部 60 年代到 70 年代下降, 80 年代后期回升。

总体来看, 我国降水近 50 年在年代际上的变化特征表现为: 50 年代为降水高值期, 全国大部地区 60 年代开始减少, 80 年代后, 中高纬地区出现从干旱到湿润转变的迹象, 而 90 年代后副热带地区降水显著增加。

20 世纪后半期是全球近千年来增暖幅度最显著的时期, 此间全球年降水量有明显的下降趋势, 平均每年减少 0.54mm , 其中 50 年代异常多雨, 1950~1984 年 $5 \sim 35^\circ\text{N}$ 的副热带降水为负趋势, $35 \sim 70^\circ\text{N}$ 的中高纬度为正趋势^[22~25]。20 世纪 90 年代全球降水平均增加了 0.51%, 其中北美增加 4.6%, 欧洲增加 1.9%, 非洲增加 0.39%, 亚太地区减少了 0.5%^[26,27]。而本研究的分析表明我国全年降水量平均减少约 0.57mm/a , 略大于全球平均减少趋势 (0.54mm/a), 但区域格局变化与之相反; 90 年代后与全球变化趋势基本一致, 大部分地区降水增加明显, 其中以 $20 \sim 35^\circ\text{N}$ 的副热带地区最为显著。

4.2 讨论

由于气象台站所观测的气候要素只能代表该台站所在地区 (面积非常有限) 的气候状况, 所以在研究中很难全面地描述气候变化在面上的时空属性, 而在全球气候变化的大背景下, 陆地生态系统碳循环、全球环境演变、水资源配置等研究都需要高时空分辨率的空

间栅格数据, 气象数据在时间和空间上的深入解析成为全面阐述气候时空动态变化特征的前提。然而目前由于空间化技术的限制, 气候栅格数据还不足以完全准确得代表各栅格点的气候要素特征, 但随着气象观测站点的增加、空间化技术、数学曲面建模等的发展, 栅格化的气候要素数据库会得到越来越广泛的应用。

降水量变化的空间格局及其演变特征不仅与全球气候变化的大背景有关, 也受区域大气环流及要素异常的影响, 完全了解我国降水量变化异常的原因有待结合温度等其他气候要素、东亚季风、ENSO 等因素进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Folland C K, Karl T R, Christy J R, *et al.* Climate Change 2001: The Scientific Basis (eds Houghton T, *et al.*). Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 99 ~ 181.
- [2] IPCC. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 1 ~ 18.
- [3] Bradley R S, Diaz H F, Eischeid J K, *et al.* Precipitation fluctuations over northern hemisphere land areas since the mid-19th century. *Science*, 1987, 237: 171 ~ 175.
- [4] Hulme M. A 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models. *Climate Dyn.*, 1992, 7: 57 ~ 721.
- [5] 王绍武, 董光荣 主编. 中国西部环境评估. 秦大河总主编. 中国西部环境特征及其演变(第一卷). 北京: 科学出版社, 2002. 71 ~ 145.
- [6] 丁一汇, 王守荣. 中国西北地区气候与生态环境概论. 北京: 气象出版社, 2001. 77 ~ 154.
- [7] 施雅风. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估. 北京: 气象出版社, 2003. 17 ~ 25.
- [8] 王遵娅, 丁一汇, 何金海. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析. *气象学报*, 2004, 62(2): 228 ~ 236.
- [9] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬, 等. 近四十年来中国气候变化的初步分析. *应用气象学报*, 1991, 2(2): 164 ~ 173.
- [10] 翟盘茂. 中国降水极值变化趋势检测. *气象学报*, 1999, 57(2): 208 ~ 216.
- [11] Zhai P M, Zhang X B, Wan H, *et al.* Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *J. Climate*, 2005, 18(7): 1096 ~ 1108.
- [12] 于贵瑞, 何洪林, 刘新安, 牛栋. 中国陆地生态年信息空间化技术研究(I) - 气象/气候信息的空间化技术途径. *自然资源学报*, 2004, 19(4): 537 ~ 544.
- [13] 林忠辉, 莫兴国, 李宏轩. 中国陆地区域气象要素的空间插值. *地理学报*, 2002, 57(1): 47 ~ 56.
- [14] 廖顺宝, 李泽辉, 游松财. 气温数据栅格化的方法及其比较. *资源科学*, 2003, 25(6): 75 ~ 80.
- [15] 阎洪. 气象时空数据的样条插值与应用. *地理与地理信息科学*, 2003, 19(5): 27 ~ 31.
- [16] 尚宗波, 高琼, 等. 利用中国气候信息系统研究年降水量空间分布规律. *生态学报*, 2001, 21(5): 689 ~ 693.
- [17] Hutchinson M F. Anusplin Version 4. 2 User Guide.
- [18] Hutchinson M F. Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines I two dimensional smoothing of data with short range correlation. *Geographic Information Decision Analysis*, 1998, 2: 153 ~ 167.
- [19] Thomthwaite C W. An approach toward a rational classification of climate. *Geog. Rev.*, 1948, 38: 55 ~ 94.
- [20] Yue S, *et al.* Power of the Mann-Kendall and Spearman's tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 2002, 259: 254 ~ 271.
- [21] 丁一汇, 任国玉, 等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势. *气候变化研究进展*, 2006, 2(1): 3 ~ 8.
- [22] Diaz H F, Bradley R S, Eischeid J K. Precipitation fluctuation over global land areas since the late 1800's. *J. Geophys. Res.*, 1989, 94: 1195 ~ 1210.
- [23] Trenberth K E. Recent observed interdecadal climate change in the Northern Hemisphere. *Bull. A mer. Meteor. Soc.*, 1990, 71: 988 ~ 993.
- [24] 施能, 陈绿文. 全球陆地年降水场的长期变化(1948 ~ 2000 年). *科学通报*, 2002, 47(21): 1671 ~ 1674.

- [25] 施能,黄先香,杨扬. 1948~2000年 全球陆地年降水量场趋势变化的时、空特征. 大气科学,2003,27(6):971~982.
- [26] Cao M K, Stephen D, Prince, *et al.* Regional pattern and interannual variations in global terrestrial carbon uptake in response to changes in climate and atmospheric CO₂. *Tellus*,2005,57B:210~217.
- [27] New M, Lister D, Hulme M, *et al.* A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*,2002,21:1~25.

The characteristics of spatio-temporal patterns in precipitation in China under the background of global climate change

WANG Ying^{1,2}, CAO Ming-kui¹, TAO Bo¹, LI Ke-rang¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. The Department of Geoscience, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract: Under the background of global climate change, there are even greater uncertainties of the precipitation changing trend and regional differences. Therefore, it is one of the most important frontier fields of presently global change research to study the changing characteristics of precipitation in different regions. In this study, we analyzed the spatio-temporal patterns of precipitation in China during 1951 to 2002 by using spatial spline interpolation method and Mann-Kendall trend test, also with the support of GIS, based on measurements at about 730 meteorological stations nationally. The results showed that there was an obvious decreasing trend from the 1960s to the 1990s in China, and a recovery occurred in the late 1990s, while in summer and winter precipitation was comparable with that in the 1950s and the 1960s. Furthermore, results showed that precipitation presented clear regional spatial differences in the analyzed period: In North China, Central China, and southern Northeast China, precipitation reduced persistently in the period we studied, while sharp increase occurred in the south of the Yangtze Valley, and in northern Xinjiang, northern Northeast China, and western Tibet, precipitation decreased from the 1960s to the 1970s, and had a relative recovery in the 1980s. While climate in northern China appeared to have a sign of turning from dry to wet, and North China, Northeast China Plain still have been at the stage of drying which began since the mid 1960s. On the whole, the total declining trend of precipitation in China was comparable with that of global in the analyzed period, but regional variation patterns were opposite from global that precipitation increased obviously in the middle and high latitude regions, and decreased in the tropical and semi-tropical regions.

Key words: climate change; precipitation; spatial pattern; temporal variations

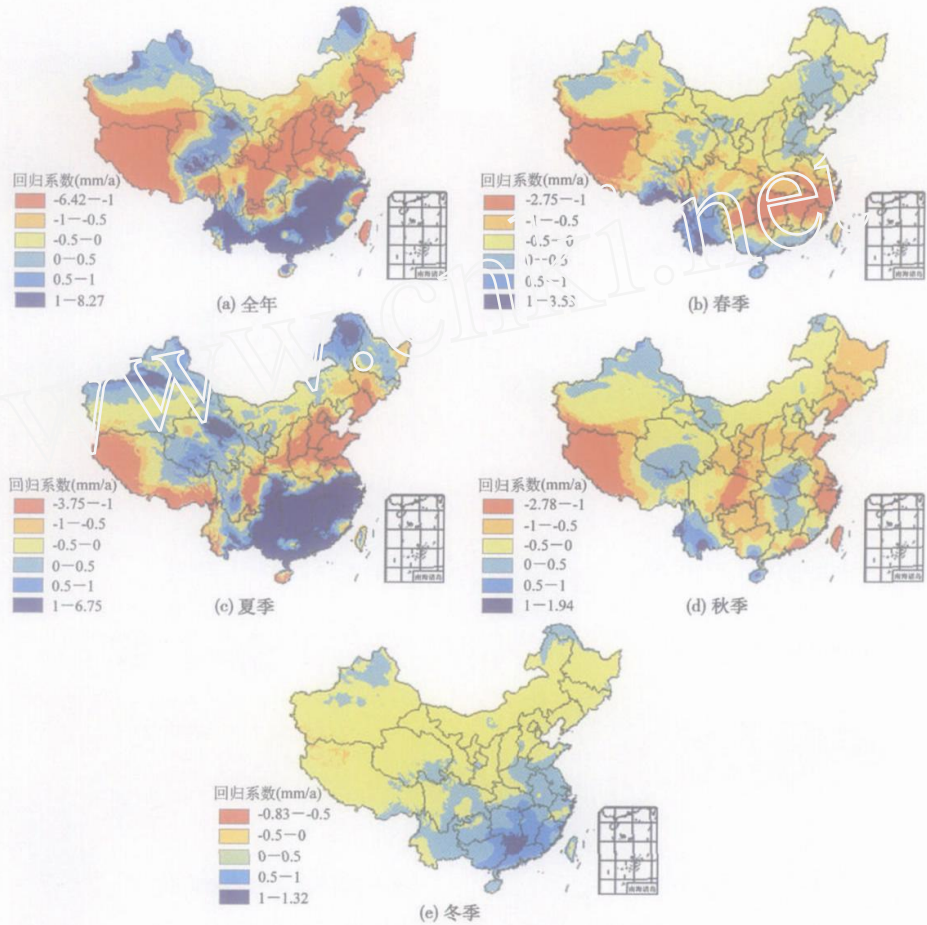


图 4 全国 1951~2002 年、四季降水量变化趋势空间分布格局

Fig.4 The spatial distribution pattern of the changing trend of annual and seasonal precipitation in China during 1951~2002 (a)year;(b)spring;(c)summer;(d)autumn;(e)winter

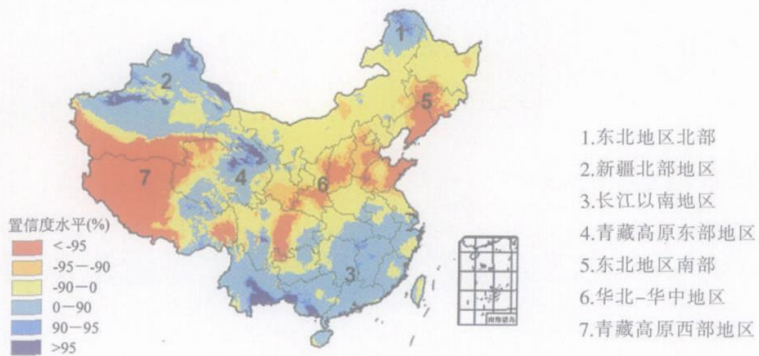


图 6 七个典型变化区域分布图

Fig.6 The seven typical regions in China