

文章编号: 1000-2022(2004) 01-0097-09

我国东北地区降水空间分布及干湿驰豫时间的研究

刘会玉, 张明阳, 林振山

(南京师范大学 地理科学学院 江苏 南京 210097)

摘 要: 根据东北地区 24 个典型测站 1951—2001 年的降水量资料, 利用 EOF 方法分析了我国东北地区的降水空间分布; 同时, 通过子波诊断技术结合突变点数建模技术, 研究了我国东北地区的降水演变周期特征, 并对干湿态之间转换的驰豫时间做了定量的研究。结果表明: 东北地区的降水空间分布具有整体一致的性质, 同时还存在南北及东西的差异; 大部分站点都具有干→湿的驰豫时间长于湿→干的驰豫时间的特征, 体现了东北地区容易维持干旱状态的特性。

关键词: 东北地区; 降水; 空间分布; 驰豫时间

中图分类号: P466 **文献标识码:** A

东北地区位于中高纬度, 是我国典型的气候“脆弱区”之一^[1]。该地区既有夏季的暴雨洪涝, 又有冬春季持续性的干旱, 气候灾害异常活跃, 同时东北地区又是我国重要的商品粮基地, 所以气候异常必然给该地区的农业生产和经济可持续发展带来重大的影响。因此研究东北地区的降水空间分布、干湿演变趋势、旱涝转换时间, 为政府和有关业务部门提供科学依据是非常有意义的。

通常对不同尺度下气候系统演变行为的预测有两种建模方式——统计建模和动力气候建模, 但对这两者之间的中间途径的研究却较少。林振山将其气候层次理论^[2-3]与子波分析理论、随机动力建模技术相结合, 提出了“气候突变点数建模技术”^[4], 有效地解决了不同层次气候突变转换时间的预测难题, 对异常气候突变的内部特征从动力方程上给予了详细的描述, 并且对气候突变、定态转换的驰豫时间做出了定量的分析和预测, 为不同尺度下气候系统演变行为的研究和预测开辟了新的途径。

本文分析了我国东北地区的降水空间分布, 并在上述理论上利用小波技术分析降水周期特征, 并尝试将子波诊断技术与突变点数建模技术结合起来, 研究我国东北地区降水干湿演变特征和驰豫时间。

1 资料和方法

文中东北地区包括黑龙江、吉林、辽宁三省以及内蒙古东部地区, 采用的资料为该地区 24

收稿日期: 2003-03-01; 改回日期: 2003-04-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40371108); 国家“十五”211 重点学科建设项目

作者简介: 刘会玉(1978-), 女, 湖南辰溪人, 博士生, 研究方向为气候环境。

个基本测站 1951—2001 年共 51 a 的年降水资料。

EOF 分析的基本原理参照文献[5]。特征值误差范围的显著性检验主要应用以下方法: 令 $\delta\lambda_k = (2/N)^{1/2}\lambda_k$, N 为样本量; 当相邻的特征值 $\lambda_k - \lambda_{k+1} \geq \delta\lambda_k$ 时, 就认为这两个相邻特征值所对应的经验正交函数是有价值的信号^[5]。

子波变换具有良好的局域性, 特别适合于分析函数的局部可微性, 并发现它的奇异性和刻画奇异性的可能特征。对于突变现象的研究, 并非所有的小波函数都具有对突变点的判别功能。墨西哥帽子波变换 $W_{gf}(x)$ 是在尺度 a 下用 Gaussian 函数光滑后 $f(x)$ 的二阶导数, 且光滑程度随尺度 a 的不同而不同。所以, 对不同尺度 a , 与子波变换系数零点对应的是 $f \times g_a(x)$ 的拐点, 它的位置反映了卷积 $f \times g_a(x)$ 的突变点位置, 具有数理上的严谨性和确定性^[6]。故本文利用墨西哥帽子波变换随尺度 a 的变化来判断气候变化在不同尺度下的突变点。Morlet 小波是最常用的复值小波函数, 它是一个周期函数 $e^{i\omega x}$ 经过一个 Gaussian 平滑得到的, 其伸缩尺度与 Fourier 分析中的周期 T 有一一对应的关系, 由其子波变换图形很容易看出物理量时空变化周期性特征, 适合研究信号的不同时空层次的结构。本文用 Morlet 小波研究我国东北降水的周期性和特征尺度, 再利用墨西哥帽小波做不同时间尺度下降水的突变特征分析。

对东北地区干湿弛豫时间的研究, 主要是在利用小波技术分析东北地区降水的周期特征的基础上, 将子波诊断技术与突变点数建模技术相结合来研究的。其建模原理及方法在参考文献[7]中已有详尽的叙述和推理。

2 东北地区的降水空间分布

对东北地区 24 个测站各年降水量进行平均所得到的 51 a 平均年降水的距平资料矩阵作 EOF 分析, 得到各地区实际降水场的典型特征。根据显著性检验结果, 前 4 个特征场具有显著物理意义, 这 4 个典型场的累计方差贡献达 63.4 %。其中第 1 典型场的方差贡献为 30.97 %, 其余 3 个典型场的方差贡献分别为 14.16 %、9.64 %、8.68 %。图 1a-d 给出了第 1、第 2、第 3 和第 4 典型场的分布。

根据第 1 典型场(图 1a)知道, 东北地区全区基本上都是正值, 说明东北地区的干湿变化是一致的。不同年份, 全区要么是普遍偏干, 要么是普遍偏湿。但是在程度上, 变化量从南向北逐渐减小, 在最西北部的海拉尔地区, 呈现出微弱的反位相关系, 即南部大部分地区干旱时, 该地偏湿; 南部大部分地区偏湿时, 该地偏旱。图 2a 给出了第 1 典型场的时间系数, 由该图可以看出, 在 1965 年之前, 时间系数大部分为正值, 说明东北地区降水全区都是偏湿的, 之后, 特别是 20 世纪 60 年代后期到 80 年代初, 绝大部分都是负值, 说明该地区基本上一直处于干旱状态。

根据第 2 典型场(图 1b)知道, 东北地区降水呈现南干北湿或南湿北干的空间分布特征, 同时结合图 2b 给出的该特征场所对应的时间系数可以看出: 在 60 年代之前, 东北降水呈南干北湿的分布, 60 年代和 70 年代转变为南湿北干的特征, 80 年代到 90 年代初期又是南干北湿, 在 1995 年又开始一次新的分布形态的转变。

第 3 典型场(图 1c)显示了南北方向上湿—干—湿或者干—湿—干的分布形态, 负距平中心在 42~43°N 纬度带上的吉林南部及辽宁北部地区, 正距平中心分别在东北部嫩江以东地区和辽宁的东南部地区。

第 4 典型场(图 1d)与第 3 典型场(图 1c)的等值线分布垂直, 主要反映了东西方向上东干西湿或者东湿西干、南北方向上波动分布的特征。该典型场的正距平中心位于内蒙古林东地

区,负距平中心位于吉林东南部延吉地区。在东北地区南部的辽东半岛,特征向量值的等值线仍是东西走向,即南干北湿或南湿北干的分布;而东部地区的等值线为东北—西南走向,内陆地区的等值线则主要表现为南北走向。降水空间分布主要表现为东干西湿或者东湿西干。

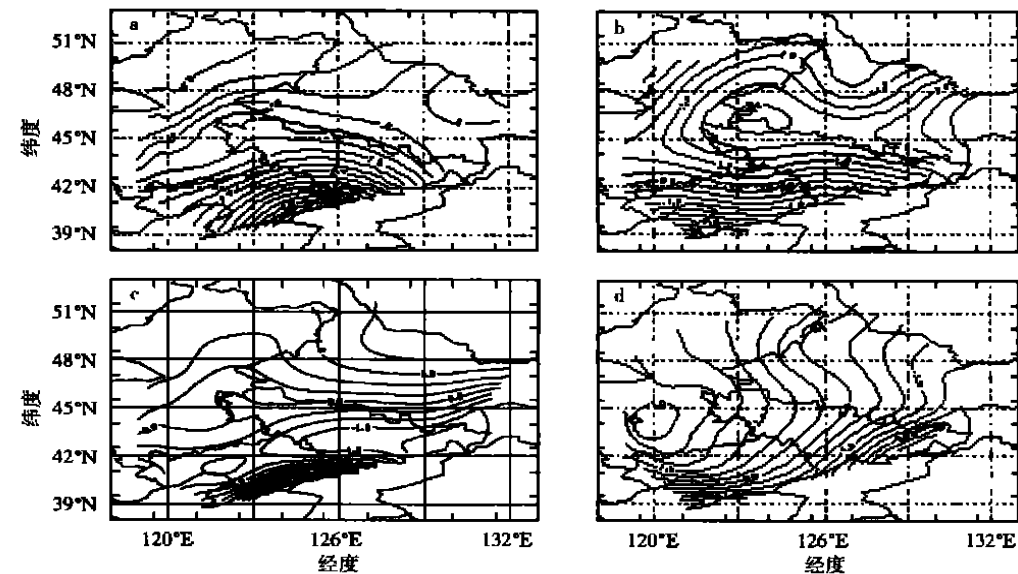


图 1 东北地区降水第 1(a)、第 2(b)、第 3(c)和第 4(d)典型场
Fig. 1 The first(a), second(b), third(c) and forth(d) typical fields of precipitation EOF in Northeast China

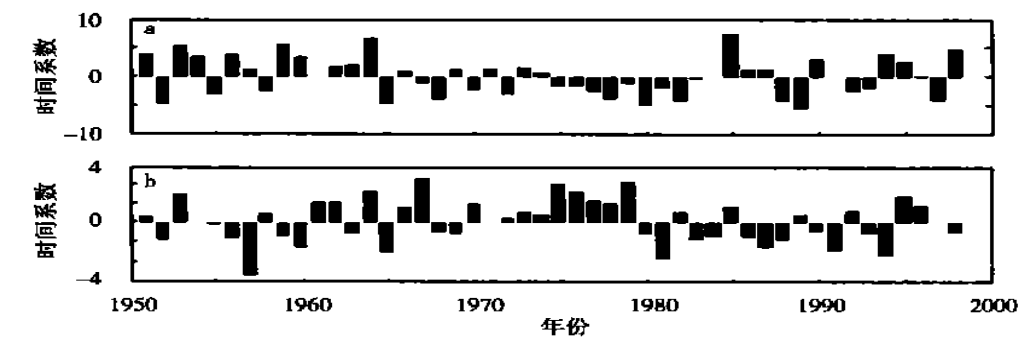


图 2 东北地区降水第 1(a)、第 2(b)典型场的时间系数
Fig. 2 Time coefficients of the first(a) and second(b) typical fields in Northeast China

3 东北降水周期性及突变特征

3. 1 东北降水特征时间尺度和周期性特征

图 3 是东北地区 24 个测站 51 a 的平均年降水曲线,其中直线表示多年平均降水量。图 4 是对此平均年降水序列做 Morlet 子波变换得到的子波系数实部等值线图。从图 4 可以看出,东北地区降水存在着 3 个明显的时间尺度,在这 3 个时间尺度下降水变化均存在着明显的周期性振荡。这 3 个时间尺度分别是 3 a 左右、11 a 左右及 30 a 以上。在 3 a 左右时间尺度下,干湿时期之间转换频繁,降水周期性振荡特征在 60 年代中期以前和 80 年代中期以后均比较明显,而 70—80 年代左右周期性则较弱。对 11 a 左右的时间尺度,从图 4 中可以看出,在 70

年代以前,东北地区降水较强地表现为 13 a 左右的特征尺度,70 年代开始向 11 a 左右的特征尺度转变,80 年代后表现为非常明显的 11 a 特征时间尺度。干湿时期分布大致为:50 年代末 60 年代初为降水较多的时期,60 年代中后期为干旱期,70 年代初为湿期,70 年代末为干期,80 年代中期为湿期,80 年代末期转为干期,90 年代中期为湿润期,而现在正处于干期。从更大的时间尺度看,东北降水在 32 a 左右尺度上也存在着明显的周期性。在该尺度上看,该地区的降水干湿时期分布为:60 年代中期以前,东北地区降水处于相对丰沛期,60 年代末期到 80 年代初期,东北地区一直处于干旱期,80 年代中期至 90 年代中期又是一个湿润期,然后 90 年代中期至今,东北地区仍处于干旱时期。对比图 3 的平均年降水曲线可以看出,1975—1982 年 8 a 的时间内平均年降水量一直处于多年平均线以下,是一段严重干旱的时期,而从 20 世纪 80 年代初到 90 年代末降水量大致在多年平均线以上,这和图 4 分析结果基本一致。从图 4 看东北地区降水目前所处的阶段,无论是小尺度还是大尺度上,都是处于干旱时期,说明了东北地区又进入了一次严重的干旱期。

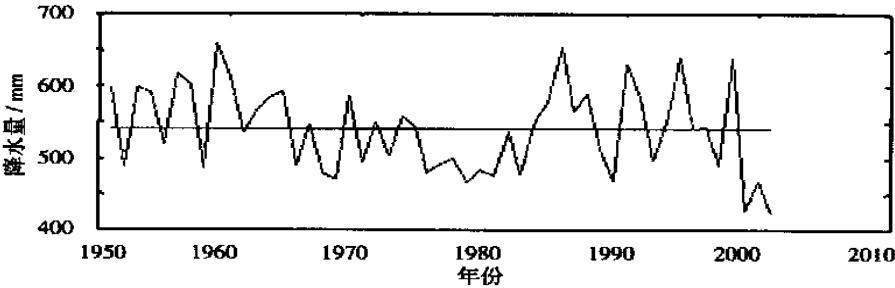


图 3 东北地区平均年降水量曲线

Fig.3 Annual precipitation averaged over Northeast China

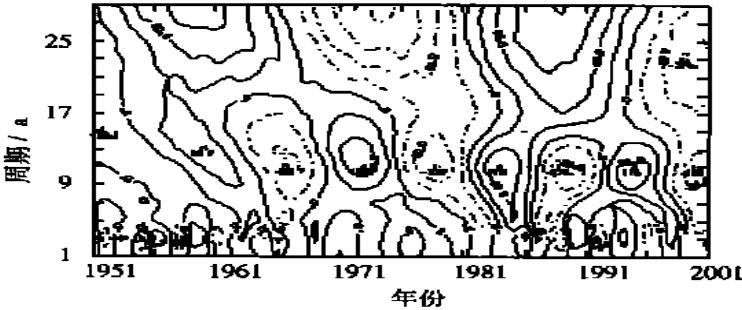


图 4 东北降水 Morlet 子波系数实部等值线分布

Fig.4 Contours of the real part of Morlet wavelet coefficients of precipitation in Northeast China

3. 2 特征时间尺度下的突变

为进一步研究各地区在不同特征时间尺度下的突变特征,对东北地区 24 个测站的 51 a 年平均降水资料序列作出各时间尺度下的单尺度墨西哥帽小波变换,根据特定时间尺度下的小波曲线分析其突变情况和周期性。图 5 是东北地区年降水在 3 a、11 a、32 a 尺度上的单尺度墨西哥帽小波变换系数曲线。

由图 5 可以看出,在 3 a 尺度上,降水干湿态跃迁频繁,50 a 时间里经历了大约 13 个干湿转变周期,平均转变周期为 3.5 a 左右。在 11 a 尺度上,从 1951—2001 年,共有 7 次干湿时期的转变(近 4 个干湿转变周期),平均转变周期为 13 a 左右。在具体突变位置上,由图可以看

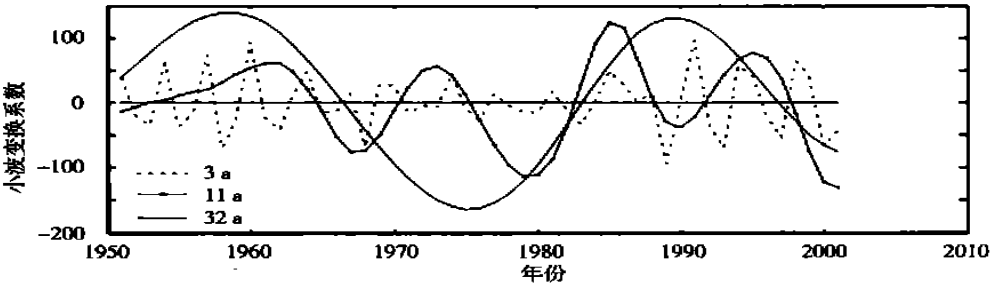


图 5 东北地区年降水 3 a、11 a、32 a 尺度墨西哥帽小波变换系数

Fig. 5 Curves of MHAT wavelet transformation coefficients

of annual precipitation of 3-year, 11-year and 32-year scale in Northeast China

出,这 7 次突变分别是 1965、1971、1976、1983、1989、1992、1998 年。1965 年之前东北地区降水较多,1965—1970 年为干旱期,1971—1975 年为湿润期,1976—1982 年又表现为干旱期,且干旱程度大于其前后出现的干旱期,1983—1988 年又是湿润期,1989—1991 年短暂的干旱之后进入了相对湿润期并延至 1997 年,从 1998 年又开始了新的干旱期直至现在。这与图 4 分析的结果基本一致。在 32 a 尺度上,东北地区降水可分辨出 3 次突变过程,具体突变位置分别为 1967、1983 和 1997 年,共约 1.5 个干湿转变周期,周期长度即为 32 a 左右。其中 1966 年之前东北降水处于大尺度上的降水丰沛期,1967—1982 年是干旱期,1983—1996 年为湿润期,1997 年至今又为干旱期。从 11 a 尺度和 32 a 尺度子波曲线可以看出,东北地区还将面临较长一段时期的干旱,对 11 a 尺度来说干旱情况有开始减弱好转的迹象,并将逐渐走出谷底,而从 32 a 尺度来看,干旱情况继续维持且可能后面几年将加重。

4 东北降水干湿驰豫时间

由前面对我国东北地区的特征尺度和周期性分析可知,在小尺度下,整个东北地区均表现出 3 a 左右的周期,同时在 10 a 左右的年代际尺度上也表现出明显的 11 a 的准周期特征。在更大的时间尺度上表现出 32 a 左右的周期。对 32 a 左右的时间尺度,由于资料长度的限制,难以准确地确定其周期和统计性特征,而 3 a 尺度下的降水变化比较剧烈,波动频繁,与年际振荡相当,统计意义不强,因此对东北的突变点数建模研究在 11 a 左右的特征尺度上进行。

根据墨西哥帽小波变换系数对某一时间尺度过零点的位置是对应于该时间尺度下的可能气候突变点的情况,统计了东北地区在 11 a 尺度上各年份发生突变的站点数(图 6)。根据该尺度的子波变换曲线表现出的周期性,表 1 给出了各站的准周期的统计结果。从图 6 可以看出,东北地区最突出的突变年份是 1989 和 1998 年,各年份分别都有 8 个站的降水发生突变,而在 1989 年前后,有 4 个站的降水在 1988 年发生突变,另有 3 个站在 1990 年发生突变;而在 1998 年前后,有 3 个站的降水在 1997 年发生突变,有 5 个站的降水在 1999 年发生突变,还有 4 个站的降水在 2000 年也发生突变。可见,在 1989 和 1998 年前后,有三分之二左右的台站降水均发生了突变,是两次明显的突变时期。其次较突出的突变年份是 1973、1984、和 1993 年,这 3 个年份均有 7 个站点的降水序列在该年份发生突变。在 1973 年前后(1972—1974 年)共有 12 个站发生突变,在 1984 年前后(1983—1985 年)共有 13 个站发生突变,而在 1993 年前后(1992—1993 年)共有 16 个站发生突变,与 1989、1998 年突变的普遍性基本相当。另外,1956、1970 和 1981 年也是比较明显的突变年份。

由表 1 可以看出, 对不同的站点, 其突变位置和表现出的准周期特性均有所不同。从表现出的准周期来看, 11 a 尺度上, 东北地区平均周期在 13.5 a 左右。与根据全区站点平均降水序列所作的周期分析结果基本一致。

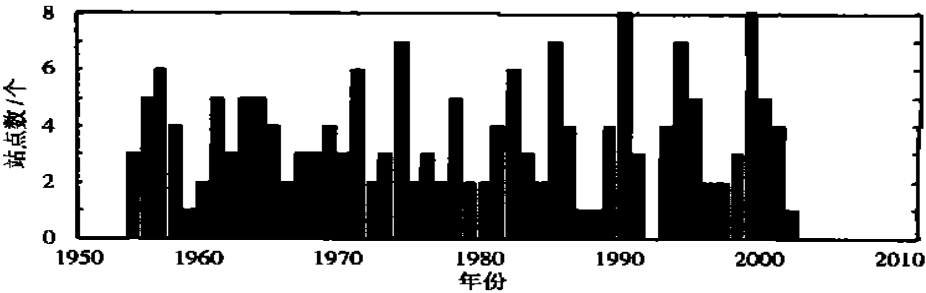


图 6 东北地区 11 a 尺度各年份发生突变的站点数直方图

Fig. 6 Histogram of the number of catastrophic points in each year of 11-year scale in Northeast China

表 1 东北地区各站 11 a 尺度的准周期

Table 1 Quasi-periods of 11-year scale at various stations in Northeast China

	呼玛	博克图	海拉尔	阿尔山	嫩江	齐齐哈尔	海伦	富锦	佳木斯	鸡西	哈尔滨	牡丹江
准周期/a	15.2	13.7	10.7	12.0	11.0	13.3	15.6	12.0	15.0	16.4	13.1	26.7
	乌兰浩特	通辽	长春	延吉	通化	沈阳	朝阳	营口	丹东	大连	林东	赤峰
准周期/a	15.6	11.4	12.6	9.8	11.0	13.4	13.1	10.2	16.8	10.7	12.6	13.1

图 7 是表 1 给出的东北地区 11 a 尺度上各站显示的准周期的全域分布。由图 7 可以看出, 准周期最长的区域在黑龙江南部地区, 其中牡丹江站的降水准周期大大长于其他地区, 达 26 a 以上, 其周围站点的降水准周期也在 15 a 左右。周期最短的地区是延吉, 干湿周期不到 10 a。准周期越长, 表明在一个定态上维持时间就越长, 定态之间的跃迁缓慢, 降水相对稳定; 而周期越短, 则意味着干湿态之间的转换频繁, 降水越不稳定。所以根据图 7, 黑龙江东南部地区是东北地区降水最稳定的区域, 而东北地区西部则是降水较不稳定的区域, 干湿定态间的转换频繁。从降水干湿周期空间分布差异看, 在东北地区东南部梯度较大, 地区间周期特性差异明显; 而在中部及西北部地区则分布较均匀, 地区差异较小。

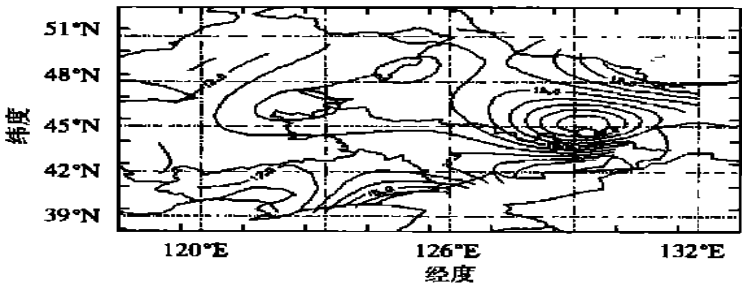


图 7 东北地区 11 a 尺度上各站显示的准周期分布

Fig. 7 Distribution of the quasi-periods of 11-year scale at different stations in Northeast China

将子波诊断技术与突变点数建模技术相结合, 根据参考文献[7] 给出的方法, 计算出了东北地区所有站点的干湿驰豫时间(表 2)。从表 2 可以看出, 东北地区绝大部分站点都是由干态到湿态所用的时间长于由湿态到干态的时间。在所有的 24 个站中, 仅有阿尔山、朝阳两站干→湿的驰豫时间小于湿→干的驰豫时间。另外鸡西、大连、营口的两种驰豫时间相等或相近。所有站点的干→湿驰豫时间平均为 14. 8 a, 而湿→干驰豫时间平均为 11 a 左右。这说明东北地区降水的总体情况是干态维持时间长, 湿态维持时间短。

表 2 东北地区各站干湿驰豫时间

Table 2 Duration of dry/wet climates at various stations in Northeast China						a
站名	干→湿驰豫时间	湿→干驰豫时间	站名	干→湿驰豫时间	湿→干驰豫时间	
呼玛	16. 7	9. 3	乌兰浩特	20. 9	11. 5	
博克图	15. 0	13. 6	通辽	18. 2	8. 0	
海拉尔	12. 0	11. 3	长春	7. 3	5. 7	
阿尔山	9. 3	11. 7	延吉	12. 3	5. 0	
嫩江	10. 8	8. 4	通化	8. 9	6. 5	
齐齐哈尔	18. 2	14. 0	沈阳	13. 8	11. 8	
海伦	15. 4	13. 3	朝阳	13. 6	15. 6	
富锦	10. 9	9. 3	营口	5. 7	5. 4	
佳木斯	15. 4	14. 2	丹东	17. 6	11. 7	
鸡西	16. 3	16. 3	大连	6. 3	6. 2	
哈尔滨	14. 4	11. 1	林东	8. 4	4. 7	
牡丹江	51. 3	28. 3	赤峰	16. 3	12. 8	

为了解驰豫时间在全区的分布情况, 分别给出了干态到湿态的驰豫时间、湿态到干态的驰豫时间、两种驰豫时间之和、两种驰豫时间之比的分布(图 8)。两种驰豫时间之和代表了定态转换的一个周期过程所用时间, 其值越大, 说明降水定态转变的过程越缓慢, 降水演变较稳定平缓; 其值越小, 则说明定态之间的跃迁频繁, 降水变化不稳定。两种驰豫时间之比, 即干态到湿态的驰豫时间比上湿态到干态的驰豫时间, 比值的大小说明了干态维持时间和湿态维持时间的相对大小。该值若大于 1, 则说明干态维持时间比湿态维持时间长, 值越大则干期比湿期长的越多, 干旱程度也越严重; 反之, 若该值小于 1, 则说明湿态维持时间长于干态维持时间, 值越小湿期相对于干期来说越长, 旱情容易得到缓解。

由图 8a-c 可以看出, 整体上, 两种驰豫时间的空间分布相差不多, 所以两种驰豫时间之和即干湿转变周期的分布也是类似的; 同时也说明降水较稳定、能够较长时间维持在某一定态的地区, 在另一定态上能维持的时间也相应地比其他地区长些。对比 11 a 尺度上各站特征周期的分布(图 7) 可以看出, 驰豫时间分布情况和根据子波分析得到的准周期分布也基本上吻合。对于两种驰豫时间及其之和表示的驰豫周期的分布, 具体的极大极小位置有所差别, 但整体分布上可以看出, 降水稳定的区域在东南部地区; 对于稳定性(周期长短) 的空间梯度, 则以东部和南部空间差异较大, 而中部及北部地区空间差异小, 分布较均匀。根据图 8d, 可以看出全区范围内, 基本上干湿期的比值都是大于 1 的, 也即绝大部分地方其干期维持时间都要长于湿期能维持的时间。全区大部分区域干→湿驰豫时间是湿→干驰豫时间的 1. 5 倍左右。说明大部分地区干期维持时间要比湿期维持时间长一半。两者接近平衡的地区有西南部的辽河流域, 内

蒙古北部的海拉尔地区,黑龙江北端和东南部。这些地区干期维持时间和湿期相差不多或稍长。差异最大的地区在延吉,干→湿驰豫时间约为湿→干驰豫时间的 2.5 倍;差异较大的地区在通辽附近,达到两倍以上。在这些地区,干期远远长于湿期,降水最容易长期维持在较低的水平。

通过以上分析表明:对东北绝大部分地区,其降水的定态跃迁过程都是从干态跃迁到湿态所需要的时间长,而从湿态转到干态的时间较短。这说明东北降水更容易维持在相对少雨的状态,表现为干旱期长于湿润期。

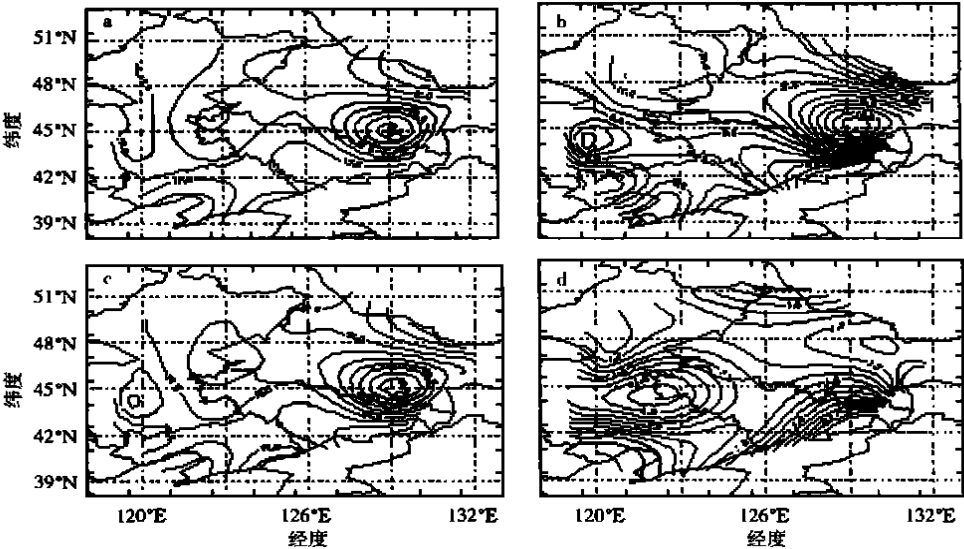


图 8 东北地区干态到湿态(a)、湿态到干态(b)的驰豫时间分布
以及两种驰豫时间之和(c)、两种驰豫时间之比(d)的分布

Fig.8 Distribution of the dry-to-wet(a) and wet-to-dry
transition time(b), and their sum(c) and ratio(d) in Northeast China

5 结 论

(1)通过 EOF 分析降水场的典型分布,第 1 典型场说明了全区干湿性质的一致性,即在不同的年份,第 1 典型场均表现出该气候区或是一致干旱,或是一致湿润。而其他典型场主要表现为干湿性质局部地区之间的差异。

(2)利用子波分析研究我国东北降水的干湿时期及突变情况知道,20 世纪 60 年代中期之前属于降水比较丰沛的时期,而 60 年代末普遍干旱,无论在年际尺度还是年代际尺度上,1965 年左右都存在一次明显的突变过程。另一次非常显著的湿转干的突变过程发生在 20 世纪 90 年代末,其后东北地区降水普遍稀少,与 60 年代末出现的那次干旱一样,对各个尺度而言都是一个明显的干旱时期,但这次的干旱时间维持时间更长,程度更加严重,到目前为止东北仍处于这个干旱时期中。子波分析结果说明,在今后的一段时期内,东北仍为干旱少雨。

(3)将子波诊断技术与突变点数建模技术相结合,计算出了东北地区所有站点的干湿驰豫时间。结果表明,对我国东北大部分地区和站点,都具有干→湿的驰豫时间长于湿→干的驰豫时间的特征,体现了东北地区容易维持干旱状态的特性。

参考文献:

[1] 廉 毅,常宗治. 吉林省圈中主要灾害 —— 气象灾害链简介及对策建议[C]// 孟会顺. 吉林地球物理. 长春: 吉林科学技术出版社, 1996: 15-19.

[2] 林振山. 气候层次理论及其应用[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1990, 26(3) : 355-360.

[3] 林振山. 长期预报的相空间理论和模式[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 96-103.

[4] 林振山. 气候建模、诊断和预测的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 213-221.

[5] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 115-122.

[6] 邓自旺, 尤卫红, 林振山. 子波变换在全球气候多时间尺度变化分析中的应用[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(4) : 505-510.

[7] 石祥升, 林振山. 华北地区旱—湿转变周期的动力研究[J]. 热带气象学报, 2001, 17(4) : 436-442.

Spatial Patterns of Precipitation and
Dry-Wet Transition Time in Northeast China

LIU Hui-yu, ZHANG Ming-yang, LIN Zhen-shan
(Geographical Science College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Some spatial patterns of precipitation have been studied, the catastrophic points modeling technique has been adopted to study the characteristics of precipitation evolution in Northeast China, and the dry-wet transition times have been computed. Results show that 1) the most typical pattern of precipitation has the dry-wet consistency in all regions, while the other typical patterns show the dry-wet difference between the south and north parts or between east and west parts of the region; 2) the new modeling technique is stable to obtain the characteristics of precipitation evolution; 3) for most areas and stations in Northeast China, the dry-to-wet transition time is longer than the wet-to-dry transition time, indicating that Northeast China is susceptible to drought.

Key words: Northeast China; precipitation; spatial pattern; dry-wet transition time