

赵晓川, 吴洪宝, 何浪. 中国季降水量的气候噪声和潜在可预报性估计 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(6): 819-827.

中国季降水量的气候噪声和潜在可预报性估计

赵晓川, 吴洪宝, 何浪

(南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 利用中国 130 个测站 1961—2004 年的日降水量资料, 使用低频白噪声延伸法和方差分析法估计了中国季降水量的气候噪声方差和潜在可预报性。结果表明: 中国季降水量的气候噪声方差由南向北、由沿海向内陆逐渐减小, 且有明显的季节变化, 夏季最高, 其次是春秋季节, 冬季最小, 而且内陆的季节变化比东南沿海的季节变化显著。季降水量的潜在可预报性有较大的季节和区域差异, 但总体来说, 全国大部分地区的季降水量是潜在可预报的。以绝对误差小于均方差 0.68 倍作为预测正确标准, 全国大部分地区季降水量的预报正确率上限为 50% ~ 60%。

关键词: 季降水量; 气候噪声; 潜在可预报性

中图分类号: P456 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2008)06-0819-09

Estimate of Climatic Noise and Potential Predictability of Seasonal Precipitation in China

ZHAO Xiao-chuan, WU Hong-bao, HE Lang

(School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract Based on the daily precipitation data of 130 stations selected over China from 1961 to 2004, the variance due to climatic noise and potential predictability of seasonal precipitation over China are estimated in terms of low frequency white noise extension method and the analysis of variance. Results show that the variance due to the climatic noise of seasonal precipitation decreases gradually from south to north and from the coastal to the inland. It varies with markedly seasonal variations, with the greatest in summer and the smallest in winter, and the seasonal variation is larger in the inland than that in the inshore. Although potential predictability of seasonal precipitation is different from season to season and from area to area, the seasonal precipitation of the most areas over China can be predicted. Regarding the absolute error which is smaller than 0.68 times of standard deviation as the criterion of correct prediction, the upper limit of the prediction accuracy would be 50% to 60% in a majority of China.

Key words seasonal precipitation; climatic noise; potential predictability

0 引言

季降水量是短期气候预测的主要内容之一, 需要对其做预报是因为它有年际变率。年际变率是由外部强迫和天气振荡引起的, 其中外部强迫作用产生的年际变率是可预报的, 或称为“潜在可预报的”, 而天气振荡引起的变率在气候预测的时间尺度上是不可预测的。变率的强度用方差表示, 由外部强迫和天气振荡引起的方差分别称为信号方差和

噪声方差。年际方差中有多少可以被预报出来是气候预测的基本认识问题。在真实大气中, 各种变率是混合在一起的, 将它们严格地分离是不可能的^[1], 因此, 至今没有一种完全严格的方法来估计它们。Madden^[2]最早利用低频白噪声延伸法来估计北半球月平均海平面气压的气候噪声, 并讨论长期潜在可预报性。该方法要求研究对象是平稳随机过程的样本函数, 适用于日际相关比较强的变量, 例如, 气温和气压。Shukla^[3]指出 Madden 所用的方法

收稿日期: 2007-09-07; 改回日期: 2007-12-17

基金项目: 江苏省气象灾害重点实验室项目 (KLME060211)

作者简介: 赵晓川 (1980—), 女, 辽宁营口人, 硕士, 研究方向为短期气候预测, hattiepe@yahoo.com.cn

过高地估计了自然变率,因此过低地估计了潜在可预报性。Shukla等^[4]用改进的Madden法估计自然变率和信噪比。Trenberth^[56]和Yamanoto等^[7]用Madden法估计气候噪声时,分别使用了历年平均月内方差和历年最小的月内方差。随后,方差分析法得到广泛应用^[8-11]。方差分析法包括日际独立假设下的方差分析法和日际相关假设下的方差分析法。日际独立假设下的方差分析法是统计学中原始的方差分析,不考虑变量的日际相关性,可用于日际相关较弱的变量。但是,日际相关一般是存在的,日际相关假设下的方差分析法^[12]是专用于估计降水量的潜在可预报性的方法,该方法采用了Katz^[13]提出的日降水的 K 天相关模型。Klugman^[10]用日际独立和日际相关假设下的方差分析法估计了美国降水量的季内方差和潜在可预报性。Wang等^[11]利用方差分析法分析了大气环流模式模拟出的季降水量和降水强度的年际变率和潜在可预报性。国内Ma^[14]、柳艳菊等^[15]分别估算了年平均温度和月降水量的气候噪声,但都没有做潜在可预报性估计。董谢琼等^[16]使用旬降水量资料估计年降水量的气候噪声,进而探讨它的潜在可预报性。吴洪宝^[17]研究了青海省月平均气温的潜在可预报性,并给出了预报正确率的上限。乐群等^[18]估计了中国月平均温度的气候噪声和潜在可预报性。吴洪宝等^[19]研究了广西省夏季降水量的潜在可预报性。然而,目前还没有中国大范围的季降水量潜在可预报性的研究工作。为了科学地认识短期气候预测特别是季降水量预测的难度,客观地看待气候预测方法和预测正确率,采用充分的资料和尽可能合理的方法对其进行研究是必需的。本文用低频白噪声延伸法及方差分析法对我国季降水量的气候噪声方差和潜在可预报性进行了估算,并给出季降水量的预报正确率上限。

1 方法和资料

1.1 低频白噪声延伸法

低频白噪声延伸法要求逐日资料满足平稳性,因此要首先移去逐日降水资料中的年循环^[6]。先对逐日降水资料的每日求多年平均得到多年平均逐日序列,然后对它做平滑处理,即对多年平均逐日序列做一次低通滤波,得到平滑的表示年循环的逐日序列。再用各年的原始逐日降水资料序列减去年循环逐日序列所得即为移去年循环的逐日降水资料。记消去年循环后的逐日降水量序列为 x_{jt} $i=1, 2, \dots, N$, 是日序号, $j=1, 2, \dots, J$, 是年序号, N 为季内

天数。

季降水量的年际方差的无偏估计是

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J x_{j0}^2 \tag{1}$$

其中: $x_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij}$; σ_m^2 是气候信号和噪声方差之和。

气候噪声方差估计^[5]是

$$\sigma_{N_T}^2 = \frac{T_0}{N-T_0} S^2. \tag{2}$$

其中: S^2 是多年平均的季内样本方差, $S^2 = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{ij} - x_j)^2$; $T_0 = 1 + 2 \sum_{L=1}^N \left(1 - \frac{L}{N}\right) \eta_L$; $\eta_L = \frac{C_L}{C_0}$. C_L 和 η_L 分别为迟后 L 天的自协方差和自相关函数。 $C_L = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{1}{N} \sum_{i=L+1}^N [(x_{i-L,j} - \bar{x})(x_{i,j} - \bar{x})]$, $L = 0, 1, 2, \dots$ 。其中, $\bar{x} = \frac{1}{NJ} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N x_{ij}$ 。

为了检验是否有可预报的信号存在,建立原假设: 没有信号存在。

定义信噪比 $F_T = \sigma_m^2 / \sigma_{N_T}^2$, 在原假设成立的情况下, F_T 服从分子自由度为 $J-1$ 和分母自由度为 $J(N_{eff}-1)$ 的 F 分布, $N_{eff} = N / T_0$ 。给定置信水平 α , 如果 F_T 大于 F_α , 则拒绝原假设, 认为存在可预报的气候信号。

1.2 方差分析法

季降水量的年际方差有多少是由天气噪声引起的, 还可以用时间域的方差分析来估计。一维方差分析模型^[8-10, 20]为

$$x_{st} = \mu + a_s + b_{st0} \tag{3}$$

其中: s 为年序号; t 为季内日序号; μ 是总均值; a_s 和 b_{st} 是均值为零、方差分别为 σ_a^2 和 σ_b^2 的随机变量。如果 $\sigma_a^2 = 0$ 就没有潜在可预报的方差。

在逐日降水相互独立的情况下, 季降水量的年际方差的无偏估计是

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{s=1}^J (x_{s\cdot} - \bar{x}_{\cdot\cdot})^2. \tag{4}$$

其中: $x_{s\cdot} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x_{st}$; $\bar{x}_{\cdot\cdot} = \frac{1}{J} \sum_{s=1}^J \bar{x}_{s\cdot}$ 。

J 年平均的季内方差是

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{J(N-1)} \sum_{s=1}^J \sum_{t=1}^N (x_{st} - x_{s\cdot})^2. \tag{5}$$

气候噪声方差估计是

$$\sigma_{N_V}^2 = \frac{1}{NJ(N-1)} \sum_{s=1}^J \sum_{t=1}^N (x_{st} - x_{s\cdot})^2 \quad (6)$$

定义信噪比 $F_V = \sigma_m^2 / \sigma_{N_V}^2$, 在原假设 ($\sigma_a^2 = 0$) 成立的情况下, F_V 服从分子自由度为 $J-1$ 和分母自由度为 $J(N-1)$ 的 F 分布。给定置信水平 α , 如果 F_V 大于 F_α , 则拒绝原假设, 认为存在可预报的气候信号。

考虑日降水存在日际相关时, 运用日降水的 K 天相关模型^[10, 12-13]。考虑过程 $\{(x_n, J_n): n = \dots, -1, 0, 1, \dots\}$, 其中 x_n 是第 n 天降水量, J_n 表示第 $n, n-1, \dots, n-k+1$ 天的降水型

$$J_n = \sum_{i=0}^{k-1} H_{n-i} 2^i \quad (7)$$

其中: 如果第 i 天为雨日 ($\geq 0.1 \text{ mm}$), 则 $H_i = 1$, 否则 $H_i = 0$ 。 $\{J_n\}$ 过程构成状态为 $\{0, 1, \dots, 2^k-1\}$ 的马尔柯夫链。

记 $P = (p_{ij})$ 是转移概率矩阵, $p_{ij} = P[J_n = j | J_{n-1} = i]$ 。 设 $\pi' = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_{2^k-1})$ 是平稳概率向量, 满足 $\pi'P = \pi'$, 且 π' 的元素之和等于 1。 给定 J_n 过程, $\{x_n\}$ 过程是条件独立的。 x_n 无条件数学期望和方差分别为

$$\mu = E[x_n] = \sum_i \sum_j \pi_i p_{ij} \mu_{ij}, \quad (8)$$

$$\sigma^2 = \text{var}[x_n] = \sum_i \sum_j \pi_i p_{ij} m_{ij} - \mu^2. \quad (9)$$

其中: $\mu_{ij} = E[x_n | J_{n-1} = i, J_n = j]$, $m_{ij} = E[x_n^2 | J_{n-1} = i, J_n = j]$ 。

记季降水量为 $S_N = x_1 + x_2 + \dots + x_N$, 当 N 足够大时, $(S_N - N\mu) / \sqrt{N}$ 收敛到标准正态分布, 其中 $r^2 = \sigma^2 + 2\pi'Q(Z-F)Qe$, $Q = (p_{ij} \mu_{ij})$, $F = e\pi'$, $Z = [I - (P-F)]^{-1}$, e 为元素是 1 的列向量, I 为单元矩阵。

$\frac{x_{s\cdot} - x_{\cdot\cdot}}{r/\sqrt{N}}$ 是标准正态分布随机变量, 它的平方和是 χ^2 分布随机变量, 记为

$$\chi^2 = N \sum_{s=1}^J (x_{s\cdot} - x_{\cdot\cdot})^2 / r^2. \quad (10)$$

在原假设 $\sigma_a^2 = 0$ 成立条件下, 该统计量服从 $J-1$ 的 χ^2 分布。给定置信水平 α , 如果 χ^2 大于 χ_α^2 , 则拒绝原假设, 认为存在可预报的气候信号。在本文应用中 $K=2$ 。

1.3 资料

所用资料是中国 160 测站 1961—2004 年 44 a 的逐日降水量资料。从中选取了 130 个测站 (图 1), 选站的原则是基本上均匀分布 (青藏高原和南

疆地区测站较少)、缺记录少 (缺测天数少于 8 d)。春季取 3 月 1 日到 5 月 31 日, $N=92, J=44$; 夏季取 6 月 1 日到 8 月 31 日, $N=92, J=44$; 秋季取 9 月 1 日到 11 月 30 日, $N=91, J=44$; 冬季取 12 月 1 日到第 2 年 2 月 28 日, $N=90, J=43$ 。

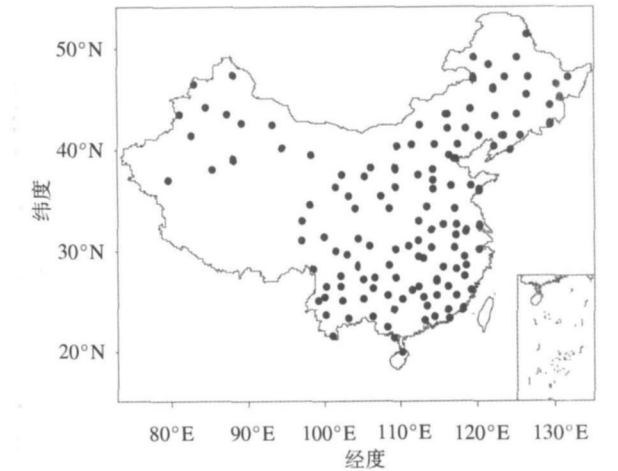


图 1 选取站点的分布
Fig 1 The distribution of the selected stations

2 年际方差和气候噪声方差估计结果

2.1 两种方法估计的气候噪声方差比较

由 (2) 式和 (6) 式可知, 历年平均季内方差 S^2 和 T_0 越大, 低频白噪声延伸法估计的气候噪声方差和日际独立假设下的方差分析法估计的气候噪声方差的差异越大, 历年平均季内方差 S^2 和 T_0 越小, 两种方法估计的气候噪声方差越接近。图 2 是中国季降水量的 $\sigma_{N_T}^2$ 和 $\sigma_{N_V}^2$ 的分布, 从图中可以看到两种方法估计的气候噪声方差的分布形势基本一致。在东南沿海地区, 两种方法计算的气候噪声方差的差异较大, 这主要是因为东南沿海的降水较多, 使得它的历年平均季内方差 S^2 较大, 所以 $\sigma_{N_T}^2$ 和 $\sigma_{N_V}^2$ 的差异较大。相反, 在内陆地区两种方法估计的气候噪声方差很接近。同样, 在夏季两种方法计算的气候噪声方差的差异较大, 因为夏季是我国四季中降水量最多的季节, 它的历年平均季内方差 S^2 也是最大的, 所以夏季 $\sigma_{N_T}^2$ 和 $\sigma_{N_V}^2$ 的差异最大, 尤其在长江中下游及其以南地区, 差值达到 $1 \sim 3 \text{ mm}^2$ 。研究中, $N=90 \sim 92, T_0=1 \sim 2$ 。由

$$\frac{\sigma_{N_T}^2}{\sigma_{N_V}^2} = \frac{N-1}{N-T_0} T_0 \approx T_0 \quad (1)$$

可知, 低频白噪声延伸法的估计结果比日际独立假设下的方差分析法的估计结果大, 即 $\sigma_{N_T}^2$ 大于 $\sigma_{N_V}^2$ 。

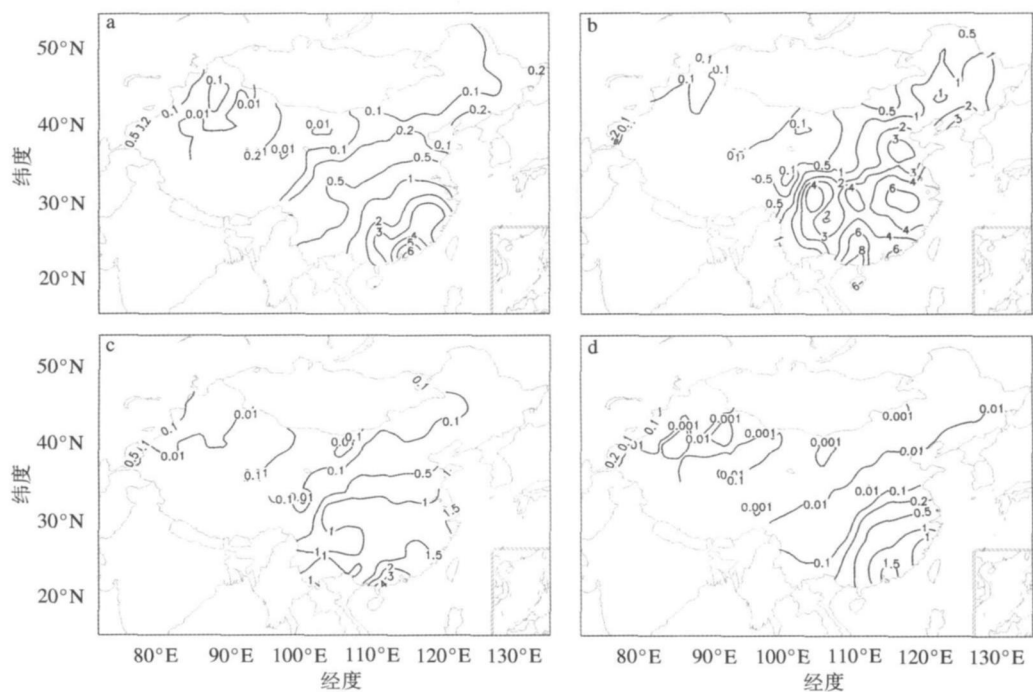


图 3 春季 (a)、夏季 (b)、秋季 (c) 和冬季 (d) 的季降水量的年际方差 σ_m^2 (单位: mm^2)

Fig 3 The interannual variance of seasonal precipitation in (a) spring (b) summer (c) autumn and (d) winter (unit mm^2)

一致。夏季气候噪声方差最大, 最高值在广东和广西的沿海地区, 长江中下游地区有一个次高值中心, 这与夏季的年际方差 (图 3b) 在南部沿海的最大值区和长江中下游地区的次大值区有很好的对应关系。冬季气候噪声方差最小, 在东南沿海地区是夏季的 10% 左右, 长春—北京—太原—西安—昌都一线以北不足 0.01 mm^2 , 不到夏季的 1%。春季气候噪声方差在东南沿海地区最大, 达 $2 \sim 3 \text{ mm}^2$, 是夏季的一半左右, 长春—北京—太原—西安—昌都一线以北不足 0.1 mm^2 , 不到夏季的 10%。在东南沿海地区, 秋季的气候噪声方差比春季略小, 而在内陆地区, 比春季略大, 这与年际方差的春、秋季 (图 3a, c) 差异相似。由此可见, 我国季降水量的气候噪声方差有明显的季节变化, 夏季最高, 其次是春、秋季, 冬季最小, 且内陆的季节变化比东南沿海的季节变化显著, 这说明我国季降水量的气候噪声方差的时空分布与季降水量的年际方差的时空分布有很好的 consistency。

3 信噪比和潜在可预报性

3.1 信噪比 F

如前所述, 季降水量的年际变化是由外部强迫和天气振荡引起的, 假设它们相互独立, 则年际方差

等于信号方差和噪声方差之和。因此, 信噪比 F 大于 1 的区域表明有气候信号存在, 大于 2 的区域表明信号方差大于噪声方差, 即外部强迫引起的年际变率大于天气振荡引起的年际变率。由前面的计算可知 $\sigma_{N_T}^2$ 大于 σ_N^2 , 所以 F_T 小于 F_V , 而计算 F_V 的方法没有考虑日际相关, 可能高估了信噪比, 所以本文用 F_T 的值作为信噪比 F 。

由图 4 可见, 全国大部分地区 4 个季节的 F 值在 1~2 之间, 有气候信号存在。春季, 在江苏、河南、山西、内蒙古西南部、甘肃南部、青海东北部和新疆的伊犁、塔城等地 F 值较大, 而 F 值较小的地区在我国东北地区和西南地区; 夏季, 长江下游地区、广西北部 and 内蒙古巴彦淖尔地区的 F 值较大, 东北地区、黄河流域、福建、广东、江西和西北大部分地区的 F 值较小; 秋季, F 值较大的地区在内蒙古呼伦贝尔地区和甘肃南部, 而在东北地区、西北地区和内蒙古中部 F 值较小; 冬季, 在河南、山西、广东、内蒙古中部、甘肃中部、青海东部等地 F 值较大, 其中广东、内蒙古中部、甘肃中部、青海东部等地的部分地区 F 值大于 2 而山东、江苏、内蒙古西部、东北地区和西南地区 F 值较小, 不足 1.2。综上所述, 不同季节不同地区季降水量的信噪比不同, 但总体上, 全国大部分地区冬季的信噪比最大, 其次是春季、秋季,

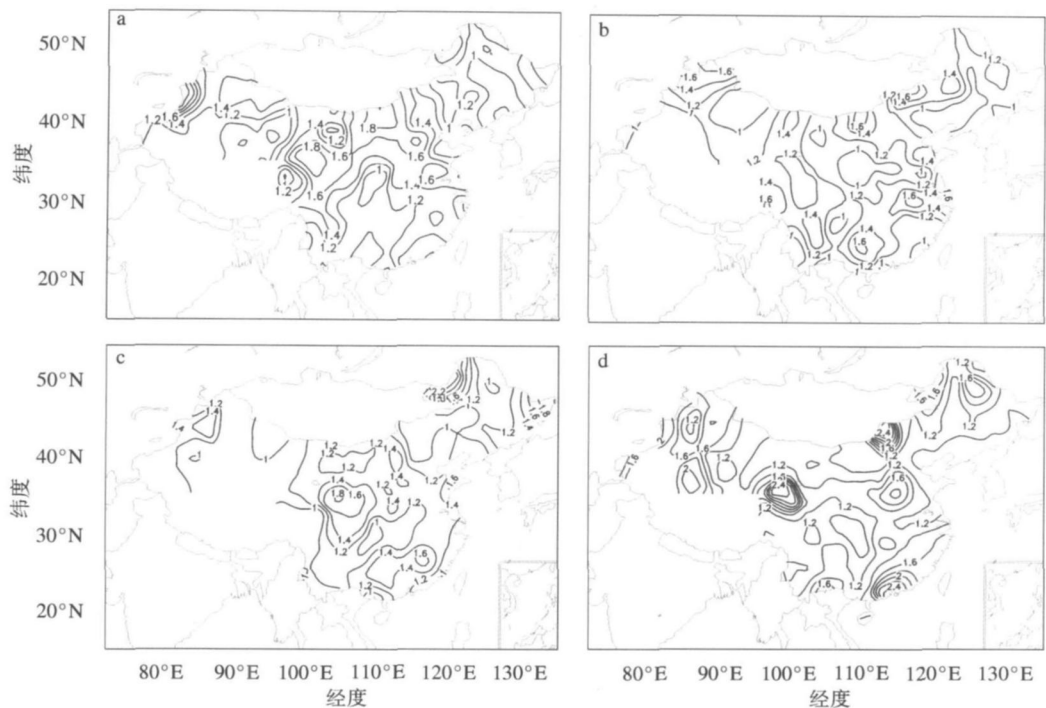


图 4 春季 (a)、夏季 (b)、秋季 (c)和冬季 (d)的季降水量的信噪比 F

Fig 4 The signal-to-noise ratio of seasonal precipitation in (a) spring (b) summer (c) autumn and (d) winter

夏季最小。东北地区 4 个季节的信噪比都比较小。

3.2 潜在可预报性

取 $\alpha = 0.25, 0.05, 0.01, 0.005$ 查 F 分布临界值表, 按分母自由度 ∞ (F 分布当分母自由度大于 120 时, 分母自由度当作 ∞ , 本文分母自由度 $J(N-1) \approx 3960$), 分子自由度 4Q 查表得 F_α 分别为 1.14, 1.39, 1.59, 1.67。把 F 与 F_α 比较得到对应的置信水平 α_0 。同样, 查 χ^2 分布临界值表, 春、夏、秋季按 $J-1=43$ 查表得 χ^2_α 分别为 48.840, 59.304, 67.459, 70.616; 冬季按 $J-1=42$ 查表得 χ^2_α 分别为 47.766, 58.124, 66.206, 69.336。把 χ^2 与 χ^2_α 比较得到对应的置信水平 α_0 。

图 5 为 3 种方法估计的我国季降水量的潜在可预报性的 F 检验和 χ^2 检验所达的置信水平 α 的分布。由图 5 可以看到, 低频白噪声延伸法和日际相关假设下的方差分析法估计的 α 值很接近, 而日际独立假设下的方差分析法比其他两种方法估计的 α 值小, 这是因为日际独立假设下的方差分析法没有考虑日降水的日际相关, 因此过低地估计了气候噪声, 过高地估计了潜在可预报性。春季, 东北大部 and 新疆东部的置信水平 α 最大, 存在可预报气候信号的可信程度最低; 3 个方法的 α 值都小于等于 0.05 的地区有华北、广东东部和福建北部, 是气候信号最强的区域。夏季, 新疆的东疆地区和云南的西南部

存在可预报信号的可信程度最差, 它们的 3 个方法的 α 值都未达 0.25; 东北、宁夏、甘肃、陕西、广东、江西等地的部分地区置信水平 α 也较差; α 值最小、气候信号最强的区域在长江下游、广西东部等地。秋季, 东北大部、新疆东部、甘肃北部、青海大部、四川西部、云南西部和贵州北部等地的置信水平 α 未达 0.05, 存在可预报信号的可信程度较差。冬季, 存在可预报信号的可信程度最差的地区在辽东半岛和内蒙古的部分地区, 它们的 α 值都未达 0.25; 新疆大部、东南沿海和山西、青海的部分地区 3 个方法的 α 值都小于等于 0.05, 是存在可预报信号的可信程度最好的地区。可见, 季降水量的潜在可预报性有较大的季节和区域差异, 但就全国总体而言, 季降水量是潜在可预报的, 且冬季存在可预报气候信号的可信程度最好, 其次是春季、秋季, 夏季最差。

4 预报正确率上限估计

设季降水量距平 x_s 由信号 η_s 和噪声 ξ_s 组成且相互独立, 则把 η_s 作为预报值的情况下的正确率称为预报正确率上限。设 x_s 服从正态分布, 取预报的绝对误差小于 x_s 的年际均方差的 0.68 倍作为预测正确的标准。可导出预报正确率上限为^[17]

$$p = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{0.68\beta} \exp(-\frac{t^2}{2}) dt_0 \quad (12)$$

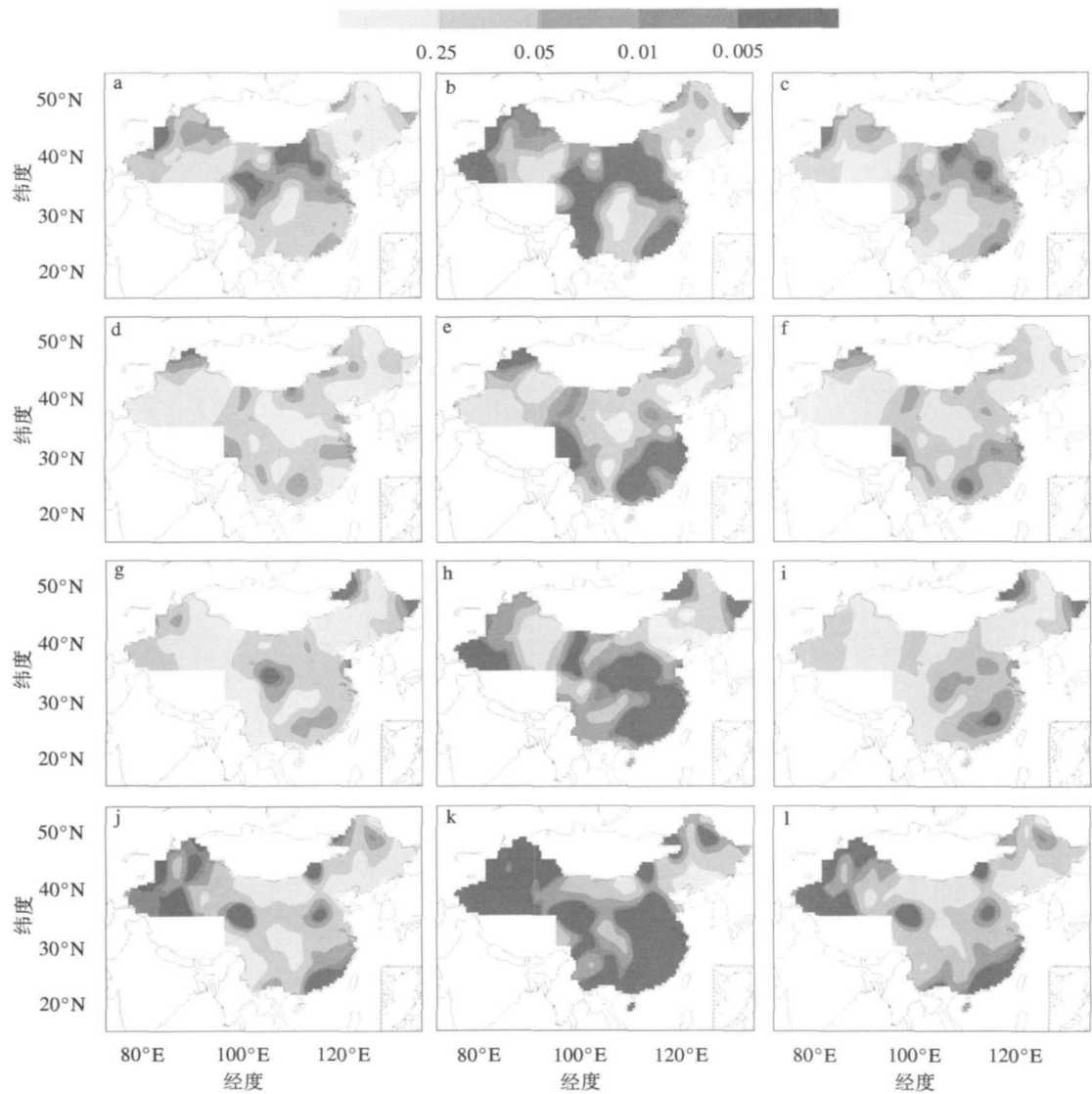


图 5 季降水量的潜在可预报性的 F 检验和 χ^2 检验所达的置信水平 α 分布
(a d g j 低频白噪声延伸法; b e h k 日际独立假设下的方差分析法;
c f i l 日际相关假设下的方差分析法; a b c 春季; d e f 夏季; g h i 秋季; j k l 冬季)

Fig 5 The distribution of the confidence level of potential predictability of seasonal precipitation in F test and in χ^2 test
by (a d g j) bw frequency white noise extension method and the analysis of variance
under the assumption of (b e h k) independence and (c f i l) dependence
in (a b c) spring (d e f) summer (g h i) autumn and (j k l) winter

其中: $\beta = \sqrt{\frac{\sigma_m^2}{\sigma_N^2}}$, 即 $\sqrt{F_T}$ 或 $\sqrt{F_V}$ 。本文采用 $\sqrt{F_T}$ 来计算 p 。由图 6 可以看到, 我国大部分地区 4 个季节的季降水量的预报正确率上限 p 在 50% ~ 60% 之间, 且不同地区不同季节的预报正确率上限不同。东北地区的预报正确率上限最差, 4 个季节都有 p 达不到 52% 的站点。在东南沿海, 除夏季以外其他 3 个季节的预报正确率上限都较高。西北内陆地区

的预报正确率上限随季节变化较大。就全国总体而言, 冬季预报正确率上限较高, 其次是春季、秋季, 夏季较低。

5 结论和讨论

(1) 我国季降水量的年际方差和气候噪声方差由南向北、由沿海向内陆逐渐减小, 与降水量的地理分布相似。季降水量的气候噪声方差有明显的季节变化, 夏季最高, 其次是春、秋季, 冬季最小, 且内陆

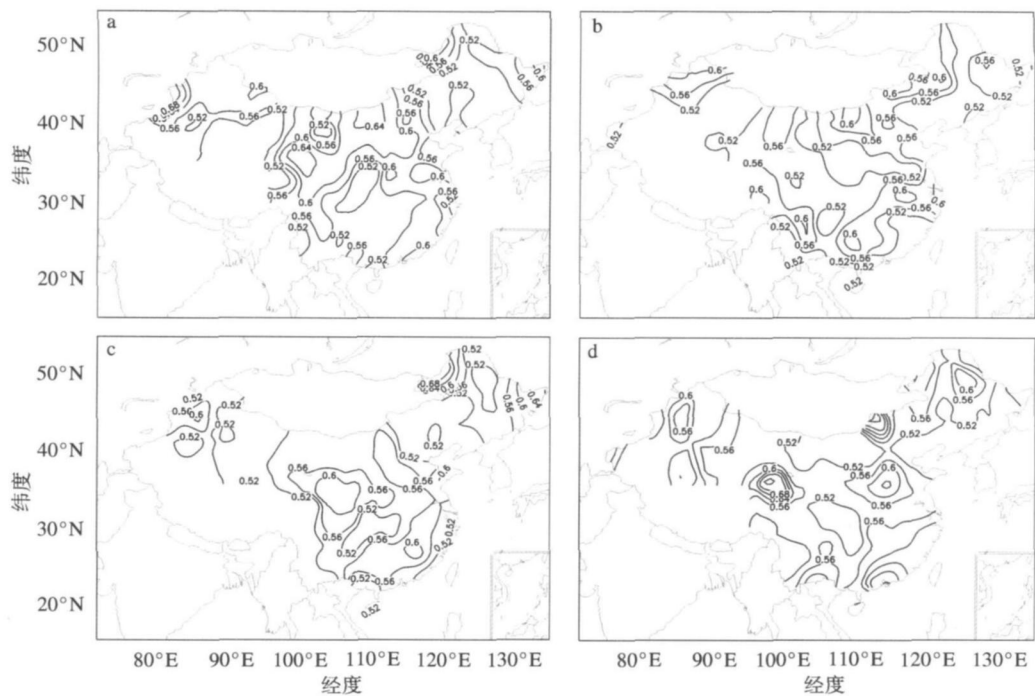


图 6 季降水量的预报正确率上限 p 的分布

a 春季; h 夏季; c 秋季; d 冬季

Fig 6 The distribution of the upper limit of prediction accuracy of seasonal precipitation in (a) spring (b) summer (c) autumn and (d) winter

的季节变化比东南沿海的季节变化显著。

(2) 低频白噪声延伸法估计的气候噪声方差大于日际独立假设下的方差分析法估计的气候噪声方差, 使得低频白噪声延伸法估计的信噪比小于日际独立假设下的方差分析法估计的信噪比。对季降水量的潜在可预报性的估计, 低频白噪声延伸法和日际相关假设下的方差分析法估计的结果很接近, 而日际独立假设下的方差分析法过高地估计了季降水量的潜在可预报性。

(3) 全国大部分地区季降水量的信噪比在 1~2 之间, 有气候信号存在。不同季节不同地区季降水量的信噪比不同, 但大部分地区冬季的信噪比最大, 其次是春季、秋季, 夏季最小。

(4) 季降水量的潜在可预报性有较大的季节和区域差异, 但大部分地区冬季存在可预报气候信号的可信程度最好, 其次是春季、秋季, 夏季最差。

(5) 以预测的绝对误差小于均方差 0.68 倍作为预测正确标准, 全国大部分地区季降水量的预报正确率上限为 50% ~ 60%。季降水量的预报正确率上限有较大的季节和区域差异, 但大部分地区冬季的预报正确率上限较高, 其次是春季、秋季, 夏季较低。

应该指出, 在估计气候噪声时, 假设气候信号与气候噪声相互独立, 而实际上两者存在相关, 这会对估计结果产生影响。另外, 方法中还假定天气振荡对季平均量的作用是不可预报的, 而理论上还可采用统计方法考虑它们对季平均量的总体效应, 因此, 可以认为估计结果是相对的。实际的短期气候预测方法如果既能充分考虑外源强迫的作用, 又同时能考虑天气尺度扰动对季平均量的总体效应, 则突破上述预报正确率上限还是有可能的。

参考文献:

[1] Madden R A. A quantitative approach to long-range prediction [J]. J Geophys Res 1981, 86(C10): 9817-9825.

[2] Madden R A. Estimate of the natural variability of time-averaged sea-level pressure [J]. Mon Wea Rev. 1976, 104(7): 942-951.

[3] Shukla J. Comments on " Natural variability and predictability" [J]. Mon Wea Rev. 1983, 111(3): 581-585.

[4] Shukla J, Gutzler D. Interannual variability and predictability of 500 mb geopotential heights over the Northern Hemisphere [J]. Mon Wea Rev. 1983, 111(6): 1273-1279.

[5] Trenberth K E. Some effects of finite sample size and persistence on meteorological statistics Part I : Autocorrelations [J]. Mon Wea Rev. 1984, 112(12): 2359-2368

[6] Trenberth K E. Some effects of finite sample size and persistence

- on meteorological statistics. Part II: Potential predictability [J]. *Mon Wea Rev*, 1984, 112(12): 2369-2379
- [7] Yamamoto R, Iwashina T, Kuzadi S N. An estimate of climatic noise [J]. *J Meteor Soc Japan* 1985, 63(6): 1147-1156
- [8] Zwiers FW. Interannual variability and predictability in an ensemble of AMIP climate simulations conducted with the CCC GCM2 [J]. *Climate Dyn*, 1996, 12(12): 825-847
- [9] Zheng X iogu, Nakamura H, Renwick J. Potential predictability of seasonal means based on monthly time series of meteorological variables [J]. *J Climate* 2000, 13(7): 2591-2604.
- [10] K lughan M R. Evidence of climate change in United States seasonal precipitation data 1948—76 [J]. *J Climate Appl Meteor* 1983, 22(8): 1367-1376.
- [11] Wang X L, Zwiers FW. Interannual variability of precipitation in an ensemble of AMIP climate simulations conducted with the CCC GCM2 [J]. *J Climate* 1999, 12(5): 1322-1335
- [12] K lughan M R, K lughan S A. A method for determining change in precipitation data [J]. *J Appl Meteor* 1981, 20(12): 1506-1509
- [13] Katz R W. Precipitation as a chain-dependent process [J]. *J Appl Meteor* 1977, 16(7): 671-676.
- [14] Ma Kaiyu. Estimates of climatic noises of annual mean temperature over China [J]. *Acta Meteorological Sinica* 1994, 8(4): 461-467
- [15] 柳艳菊, 马开玉, 林振山. 我国月降水量气候噪声的估计 [J]. *应用气象学报*, 2000, 11(2): 165-172
- [16] 董谢琼, 马开玉. 我国的降水资源及其稳定性与潜在可预报性 (II) 潜在可预报性 [J]. *气象科学*, 1995, 15(1): 72-79
- [17] 吴洪宝. 青海省月平均气温潜在长期可预报性估计 [J]. *南京气象学院学报*, 1995, 18(2): 282-287
- [18] 乐群, 曹俊武, 林振山, 等. 中国月平均温度的气候噪声和潜在可预报性 [J]. *气象学报*, 1999, 57(5): 604-612
- [19] 吴洪宝, 王盘兴, 林开平. 广西夏季降水量潜在可预报性估计 [J]. *应用气象学报*, 2005, 16(4): 445-452
- [20] Zwiers FW, Kharin V V. Intercomparison of interannual variability and potential predictability: An AMIP diagnostic subproject [J]. *Climate Dyn*, 1998, 14(7/8): 517-528