

东亚地区 500 hPa 位势高度场 NCEP/NCAR 再分析资料与 ERA-40 资料的比较^{* 1}

方之芳^{1,2} 雷俊³ 吕晓娜⁴ 瞿焯¹ 李茜⁵
FANG Zhifang^{1,2} LEI Jun³ LÜ Xiaona⁴ QU Xing¹ LI Qian⁵

1. 成都信息工程学院, 成都, 610225
2. 中国气象局成都高原气象研究所, 成都, 610071
3. 浙江省气象服务中心, 杭州, 310017
4. 河南省气象台, 郑州, 450003
5. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州, 730000

1. *Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China*
 2. *Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu 610071, China*
 3. *Zhejiang Meteorologic Service Center, Hangzhou 310017, China*
 4. *Observatory of Henan Province, Zhengzhou 450003, China*
 5. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*
- 2008-01-26 收稿, 2008-03-10 改回.

Fang Zhifang, Lei Jun, Lü Xiaona, Qu Xing, Li Qian. 2010. A comparison of 500 hPa field of East-Asia between the NCEP/NCAR reanalysis data and the ERA-40 of ECMWF data. *Acta Meteorologica Sinica*, 68(2): 270-276

Abstract In this study, the 500 hPa geopotential height fields of the Northern Hemisphere based on the NCEP/NCAR reanalysis data, the ERA-40 of the ECMWF data and the China NMC data which are compiled according to the observations from the weather stations integrated with the routine data collected by the Central Weather Service of China were compared for the period 1957–2002. The differences of these data in the four seasons were depicted and discussed using statistical analysis methods. The main purpose of this study was to reveal the NCEP data adaptability and reliability in East-Asia. The results show that some obvious differences exist in either the mean fields or the correlation fields between the NCEP/NCAR reanalysis data and ERA-40 of the ECMWF data. The largest difference centers were located in the East-Asia, especially in the area from south of the Baikal Lake to northwest and middle of China (30°–50°N, 80°–115°E). The largest differences were in summer and the most interrelated season was winter for the period 1958–1970. In the meantime, the NCEP/NCAR reanalysis data shows an unusual low value compared with the ERA-40 of the ECMWF data during 1958–1962 with a obvious increase from 1962 to 1969 followed. In contrary, both the ERA-40 of the ECMWF data and the China NMC data show no such anomalies. As a result, it is suggested that we should pay more attention to what range and season to be addressed when using the NCEP/NCAR 500 hPa reanalysis data on the East-Asia, especially on the area from south of the Baikal Lake to northwest and middle of China (30°–50°N, 80°–115°E) in Spring and Summer. As a matter of fact, the data since 1970s are the most desirable. On the other hand, the ERA-40 of the ECMWF data and the China NMC data are coincident with each other to a great extent on this area above during 1960s to 1970s, implying that both of them are more reliable.

Key words 500 hPa, NCAR/NCEP data quality, ERA-40 dataset, NMC dataset, Correlation, Difference

摘要 运用统计分析方法对 3 份 500 hPa 位势高度场资料, 即 NCEP/NCAR 全球大气再分析月平均资料和欧洲中心

* 资助课题: 国家自然科学基金项目(40675036 和 40675037)。

作者简介: 方之芳, 主要从事海冰、大尺度大气环流和气候系统的研究。E-mail: zffang@hotmail.com

通讯作者: 雷俊, 主要从事气候变化研究和气象信息服务。E-mail: leijun-1107@163.com

ERA-40 资料,国家气候中心的 NMC 资料(该资料的基础是站点观测资料的实测数据,并结合中央气象台的日常累积资料整编而成)进行比较,以讨论 NCEP/NCAR 再分析资料与 ERA-40 资料以及 NMC 资料的相关性,尤其在东亚地区的可靠性。3 份资料综合分析得到如下结论:在东亚地区,特别是贝加尔湖以南至中国西北和中西部的大部分区域内(30° — 50° N, 80° — 115° E),NCEP/NCAR 资料和 ERA-40 资料各季的平均场、相关场均存在大范围的显著性差异区,差异最大的季节在夏季,时段为 1958—1970 年,而在冬季相关较好。同时 NCEP/NCAR 资料在 20 世纪 60 年代初出现异常低值,在 60 年代中期有突然的增长,而欧洲中心的 ERA-40 资料和国家气候中心的 NMC 资料均无此现象。针对以上问题,对北半球 500 hPa 资料的使用提出如下建议:在东亚地区应用 NCEP/NCAR 资料时,如果范围涉及贝加尔湖以南至中国西北和中西部地区(30° — 50° N, 80° — 115° E),尽量应用 20 世纪 70 年代以后的资料,尤其在春、夏两季;而该区域内的 ERA-40 资料和 NMC 资料在这一时段内是基本一致,具有可信性。

关键词 500 hPa 位势高度场, NCEP/NCAR 资料质量, ERA-40 资料, NMC 资料, 相关性, 差异性

中图法分类号 P468

1 引言

自 20 世纪 90 年代初以来,美国国家大气科学研究中心和环境预报中心(NCEP/NCAR)建立了大气位势高度场再分析资料库,简称为 NCEP/NCAR 资料(Kistler, et al, 2001; Masao, et al, 2002)。该数据库已被全球气象界广泛应用于研究对流层中上层大气运动的形势转变和垂直环流结构的变化,以讨论气候和环流的年际和年代际气候变化(Chang, et al, 2000; Wu, et al, 2002)。

Yang 等(2002)应用 12 月—次年 2 月 NCEP/NCAR 海平面气压场再分析资料,讨论冬季东亚急流和亚洲-太平洋-北美洲的气候异常变化,发现 1968 年以前的所有年份,亚洲 25° — 60° N 区域都出现气压场异常增大的现象;而在夏季,气压场则为异常减小。他们在附录中将 NCAR/NCEP 资料与 Trenberth/Paolino 资料(1980)做了对比,提出 20 世纪 60 年代冬季 NCEP/NCAR 资料存在质量问题。

Tomoshige 等(2004)应用 4 份不同来源的气象资料,对夏季(6—8 月)东亚的海平面气压场进行对比分析,发现在 20 世纪 60 和 70 年代夏季,仅 NCEP/NCAR 资料在蒙古附近(40° — 60° N, 90° — 120° E)出现明显的上升趋势,而其他资料都未出现这种异常的上升现象,再次强调了夏季 NCEP/NCAR 资料的质量问题。

方之芳等(2006)在研究夏季东亚热低压突变时,发现 20 世纪 60 年代 NCEP/NCAR 再分析资料在亚洲对流层有异常低值出现。应用欧洲中心 ERA-40 资料和中国国家气候中心(NMC)的 500 hPa 资料与之对比,结果表明,1958—1967 年夏季东亚地区(35° — 55° N, 70° — 110° E)的 NCEP/NCAR 资料值远小于 ERA-40 和 NMC 资料,文中指出夏季东亚地区的

NCEP/NCAR 资料可能存在质量问题,在应用中必须引起重视。

目前各国气象部门均广泛应用 NCEP/NCAR 资料(郭其蕴等, 2003; 张庆云等, 2003; 咸鹏等, 2003; 柳艳香等, 2005; 杜银等, 2008; 赵勇等, 2008; 慕建利等, 2008),而亚洲中高纬度区域正是研究的重点区域;对中国而言,东亚地区的环流变化与中国气候和天气变化有着极为密切的联系。因此,讨论该区域 NCEP/NCAR 资料质量问题,研究它的稳定性和可靠性,分析其中存在的问题是十分必要的。

2 资料与分析方法

本文应用 3 份来源不同的月平均 500 hPa 北半球平均位势高度场资料,探讨东亚地区 NCEP/NCAR 再分析资料的可靠性。

选取北半球 1957—2002 年的 NCEP/NCAR 和欧洲中心 ERA-40 资料月平均 500 hPa 位势高度场资料(格距是 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 北半球共 144×37 个格点),分季节进行对比,即春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、冬季(12 月—次年 2 月)是 1958—2002 年,秋季(9—11 月)是 1957—2001 年,均为 45 年。

应用中国国家气候中心(NMC)的北半球 500 hPa 月平均资料予以对照(简称为 NMC 资料)。该资料是中央气象台在日常业务工作中逐年积累所得,时段为 1951—1990 年。其中 1951—1963 年资料是根据已出版的有关图集和资料,并结合中央气象台的日常累积资料整编而成;1964 年以后的资料是应用中央气象台绘制的每日 20 时(北京时)北半球 500 hPa 高度图,按指定的经-纬线交点进行内插读数,然后计算月平均值,所以其基础是站点观测资料的实测数据。1951—1980 年的资料已在 1982 年正式出版;1981—1990 年的资料由中央气象台每月予以补充。

该资料的格距是 5° (纬度) \times 10° (经度)。在 5° — 65° N 为交叉格点;在 70° N 以北为方型格点。本文选取其中 1957—1990 年共 34 年资料。

本文首先应用两组样本平均值显著性差异和相关分析的方法,分季节讨论 NCEP/NCAR 和欧洲中心 500 hPa 位势高度的显著性差异,并分析具体季节和地域特征。然后在此基础上,引入 NMC 资料作为参照,比较各季东亚区域内 NCEP/NCAR 资料、ERA-40 资料和 NMC 资料的年际变化差异,指出 NCEP/NCAR 再分析资料可能存在质量问题的区域范围和出现年代,为该资料的应用提出具体建议。

3 东亚地区 NCEP/NCAR 资料和 ERA-40 资料的比较

3.1 平均场的比较

应用 NCEP/NCAR 资料和 ERA-40 资料,计算北半球各季多年平均 500 hPa 的位势高度场,并求算其差值场。两份资料各季位势高度多年平均场十分相似,均显示出 500 hPa 场的季节特征,等值线的走向、槽脊的位置等都很一致(图略)。但在两份资料的差值场中可见,春、秋、冬 3 季(图 1a, c, d)在东亚地区,特别是贝加尔湖以南至中国西北和中西部

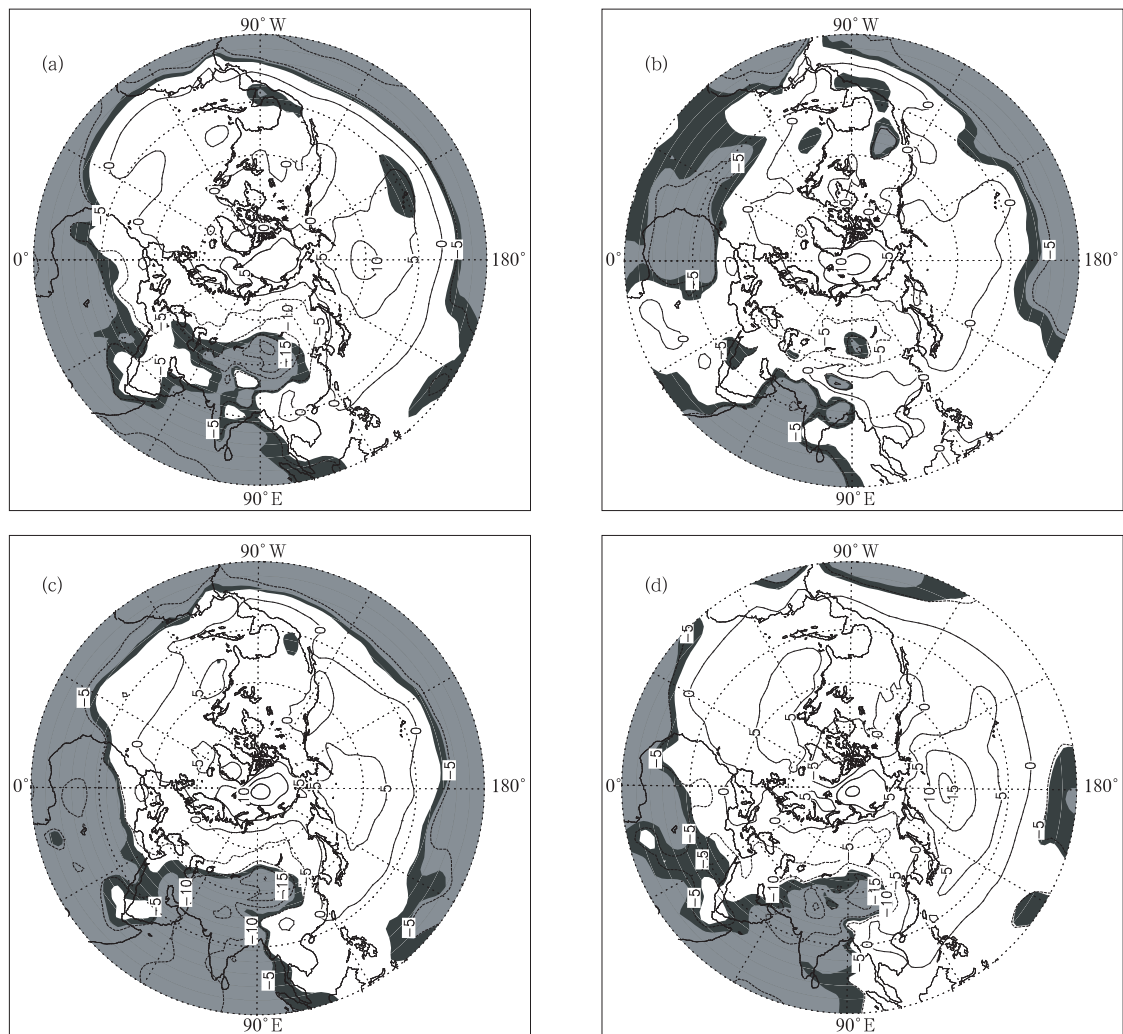


图 1 NCEP/NCAR 与 ERA-40 的北半球 500 hPa 位势高度平均场的差值场

(a. 春季, b. 夏季, c. 秋季, d. 冬季; 浅阴影区表示学生 t 信度通过 99% 的区域,

深阴影区表示通过 95% 信度的区域, 白色则未通过信度检验, 单位: gpm, 等值线间隔 5)

Fig. 1 Differences of 500 hPa mean geopotential height fields between the data from the NCEP/NCAR and ERA-40 in the Northern Hemisphere for (a) Spring, (b) Summer, (c) Autumn, and (d) Winter (light shaded areas have passed the student t test at the confidence level of 99%, dark shaded areas have passed the test at the confidence level of 95%, and white areas haven't passed the test; unit: gpm, and the contours are in the interval of 5)

的大部分区域(30°—50°N,80°—115°E),均存在明显的负差值中心区。即 NCEP/NCAR 资料小于 ERA-40 资料,春季差值最大,达 -21.87gpm。夏季(图 1 b)东亚地区的差值相对较弱,为 -15.52 gpm,范围也较小。

应用 *t* 检验方法,检验该两份资料各季平均值的显著性差异,其结果也显示在图 1 中。在亚洲中东部,特别是贝加尔湖以南至中国西北和中东部的大部分区域,各季均通过 99% 信度的平均值差异检验。

3.2 NCEP/NCAR 资料和 ERA-40 资料的相关场

应用相关分析方法,计算北半球 NCEP/NCAR 和 ERA-40 资料各季格点相关场,并进行相关系数的显著性 *t* 检验。本文应用 45 年资料,信度为 95%

和 99% 的临界相关系数值分别是 0.2937 和 0.3796 (图 2)。

图 2a 是春季的相关场,最小相关值仅为 0.1745,相关未达 99% 和 95% 信度的范围但很接近,均位于中国北部和西北地区,即(30°—45°N,80°—110°E),包括新疆、青海、甘肃、宁夏、陕西以及内蒙古的大部分地区和蒙古国南部。

在夏季两份资料的相关场中(图 2b),相关系数比较小的区域呈狭长带状分布。其中蒙古国中部和南部,以及中国西北部和中西部(30°—45°N,95°—115°E)相关系数中心值为 0.3522,未能通过 99% 的信度检验。

在秋季的相关场中(图 2c),相关系数比较小的

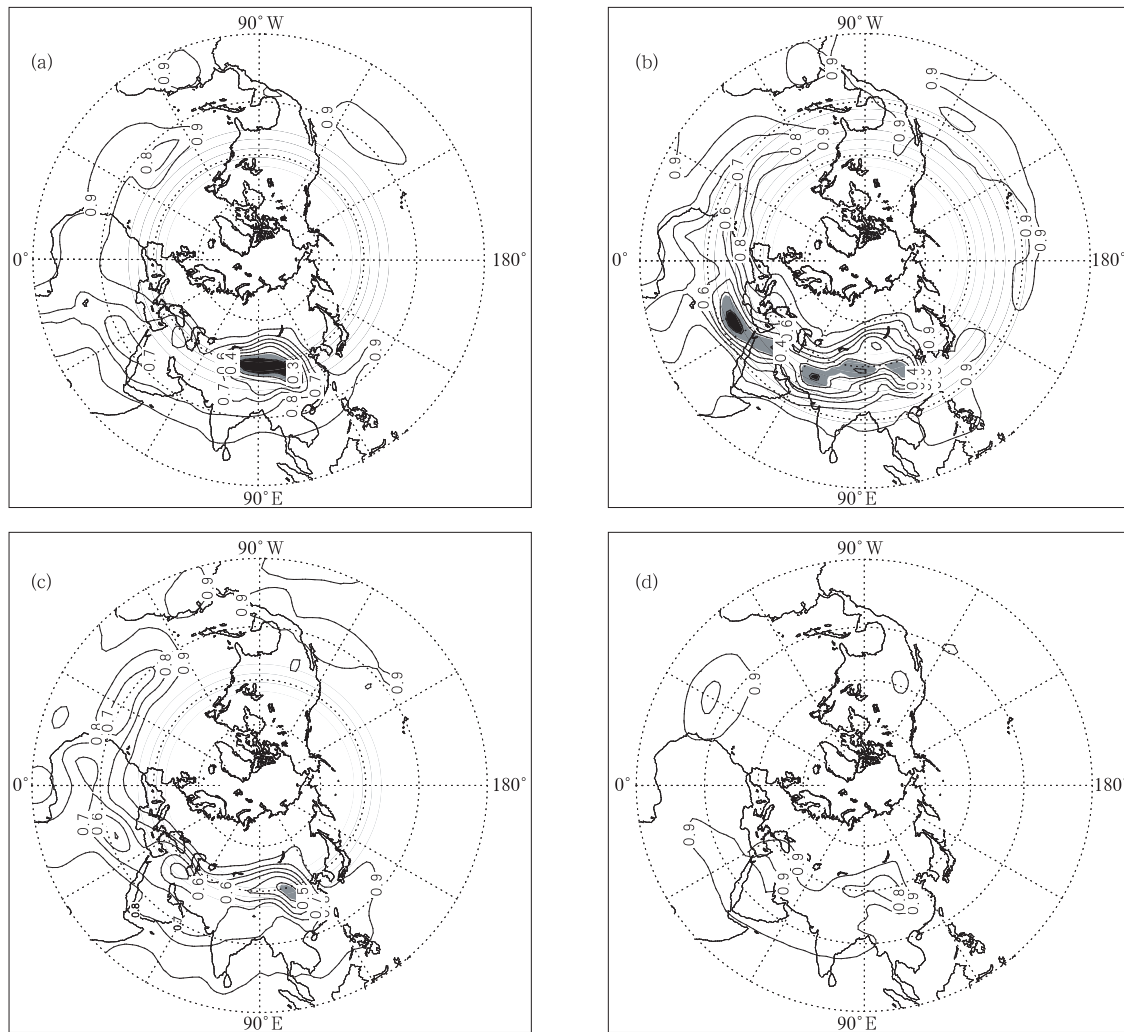


图 2 NCEP/NCAR 与 ERA-40 的北半球 500 hPa 位势高度相关场(a. 春季, b. 夏季, c. 秋季, d. 冬季; 白色区域表示学生 *t* 信度通过 99% 的区域, 浅阴影表示通过 95% 信度的区域, 深阴影则未通过信度检验; 等值线间隔 0.1)

Fig. 2 As in Fig. 1 but for correlation coefficients and the interval of 0.1

区域与夏季相似。未通过 99% 信度检验的区域仍然位于中国西北地区 ($35^{\circ}\text{--}45^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\text{--}112.5^{\circ}\text{E}$), 最小值是 0.3314。

冬季 NCEP/NCAR 资料和 ERA-40 资料相关场关系密切, 全部达到 99% 的显著性水平; 最小的相关系数值是 0.7549, 仍然位于 ($35^{\circ}\text{--}45^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\text{--}112.5^{\circ}\text{E}$) 的东亚地区。

综上所述, 贝加尔湖以南的蒙古国至中国西北和中西部的广大区域 ($30^{\circ}\text{--}45^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\text{--}115^{\circ}\text{E}$) 春、夏、秋 3 季的 NCEP/NCAR 资料和 ERA-40 资料均存在显著差异, 以春季最为明显; 冬季则为相同。

值得注意的是, 欧亚大陆夏季的主要环流系统是东亚热带低压, 在海平面气压场中, 它也是全球最主要的大气活动中心之一, 它的位置和强度决定了夏季风的强弱, 也决定雨带位置和分布。夏季东亚热带低压活动范围约为 ($10^{\circ}\text{--}50^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\text{--}120^{\circ}\text{E}$) (章基嘉等, 1980; 朱乾根等, 2000; 方之芳等, 2006)。

然而, 上述分析指出, 正是在这范围内, NCEP/NCAR 资料却与 ERA-40 资料无关, 因此, 对该范围内的上述两份资料的分析结果, 均需要慎重对待, 也有必要引入第 3 种位势高度场资料进行进一步比较研究。

4 东亚地区 3 份资料年际变化对比

应用 NMC 的北半球 500 hPa 资料为参考, 与 NCEP/NCAR 资料和 ERA-40 资料进行比较。因为 NMC 资料是中国气象局资料室日常业务工作中逐年积累的资料, 其基础来自于台站的实测数据, 可视为观测资料。根据图 3 的分析结果, 选取 NCEP/NCAR 资料和 ERA-40 资料相关较小的区域, 即贝加尔湖以南至中国西北和中西部的大部分区域 ($30^{\circ}\text{--}50^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\text{--}115^{\circ}\text{E}$)。分季节求算该区域内逐年 3 份资料 500 hPa 位势高度的平均值, 以讨论东亚地区各季节 500 hPa 位势高度的年际变化特征。

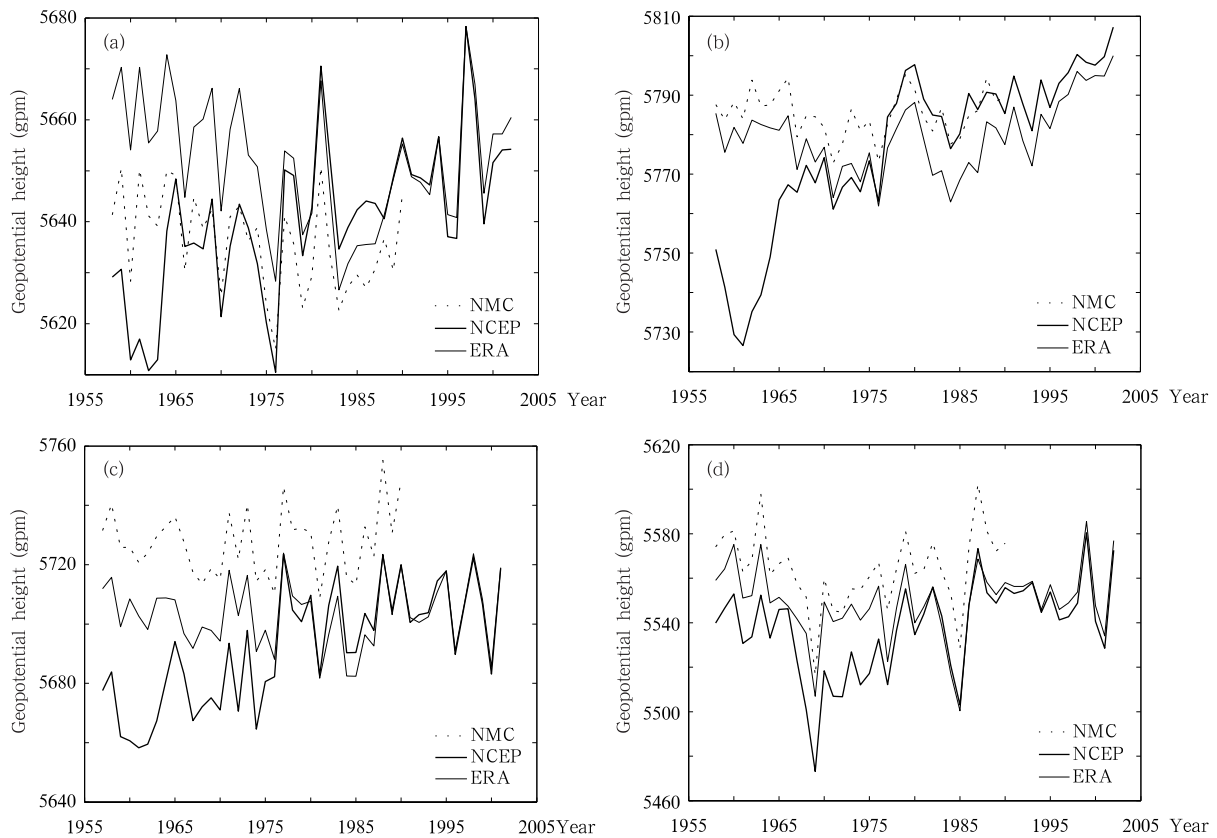


图 3 ($30^{\circ}\text{--}50^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\text{--}115^{\circ}\text{E}$) 各季 NCEP/NCAR、ERA-40、NMC 的 500 hPa 位势高度平均值的年际变化 (a. 春季, b. 夏季, c. 秋季, d. 冬季; 单位: gpm)

Fig. 3 Interannual changes in the 500 hPa mean geopotential heights based on the NCEP/NCAR, ERA-40 and NMC data for the area ($30^{\circ}\text{--}45^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\text{--}115^{\circ}\text{E}$) in (a) Spring, (b) Summer, (c) Autumn, and (d) Winter (Unit: gpm)

图 3 是东亚地区的 3 份资料的年际变化曲线。总体而言,1966 年以后,各季节的 NCEP/NCAR 资料和 ERA-40 资料的数值和年际变化趋势均十分一致,与 NMC 资料也基本相仿;但在 20 世纪 60 年代中期以前,春、夏两季则差异明显,尤以夏季最为突出。

春季(图 3a)NCEP/NCAR 资料与 ERA-40 资料最大差异出现在 1958—1966 年,NCEP/NCAR 资料数值远小于 ERA-40 资料,最大差值出现在 1961 年,达 53 gpm;比 NMC 资料也小 33 gpm。1965 年后,3 份资料年际变化趋势基本一致;1977 年以后,它们的数值差异小于 10 gpm,变化趋势几乎完全相同。1962—1965 年,NCEP/NCAR 资料有明显的上升趋势,升幅达 38 gpm;而另两份资料则无此趋势。

夏季(图 3b),1958—1991 年,ERA-40 资料和 NMC 资料的年际变化和数值基本一致,而 NCEP/NCAR 资料与它们恰有最明显的差异。1961—1966 年,该区域的 NCEP/NCAR 资料位势高度值从 5727 gpm 增大达 5768 gpm,升幅为 41 gpm,而 ERA-40 和 NMC 资料均无此特征。与春季相仿,最大差值也出现在 1961 年,NCEP/NCAR 资料比 ERA-40 资料小 52 gpm,比 NMC 资料小 58 gpm。1966 年以后,3 份资料的年际变化趋势基本一致。

秋季(图 3c),3 份资料的年际变化总体趋势基本一致,在 1976 年以后,NCEP/NCAR 和 ERA-40 的值几乎相同;但在此之前,仍然存在 NCEP/NCAR 值小于 ERA-40 资料和 NMC 资料的现象,与 ERA-40 的差值约为 30 gpm。1960 年,差值达 47 gpm。NCEP/NCAR 与 NMC 的最大差值也是出现在 1960 年,达 61 gpm。

冬季(图 3d)3 份资料的年际变化曲线基本一致,尤其在 1976 年以后,NCEP/NCAR 资料与 ERA-40 资料的年际变化曲线几乎完全重合。在 1976 年前,NCEP/NCAR 资料小于 ERA-40 和 NMC 资料,差值 22—35 gpm,但年际变化还是一致的。

从图 3 中可见,NCEP/NCAR 资料与 ERA-40 资料的年际变化最大差异主要出现在 20 世纪 60 年代初期的春季、夏季和秋季,NCEP/NCAR 资料远小于 ERA-40 资料,差值约 50 gpm;NCEP/NCAR 资料也小于 NMC 资料,夏、秋两季最为明显,差值 60 gpm 左右。而一年四季的 ERA-40 资料均小于

NMC 资料,年际变化基本一致,差异值相对较小,几乎都在 30 gpm 以下。

综上所述,可见在东亚地区,特别是贝加尔湖以南至中国西北和中西部的大部分区域,NCEP/NCAR 资料与 ERA-40 资料和 NMC 资料的年际变化最大差异出现在 20 世纪 60—70 年代的春季、夏季和秋季;NCEP/NCAR 资料远远小于另两份资料,在 20 世纪 60 年代中期,仅 NCEP/NCAR 资料出现非常异常的上升现象。中国中央气象台的 NMC 资料四季的年际变化均与 ERA-40 相当一致,但略大于 ERA-40 值,均无 20 世纪 60 年代中期至 70 年代的异常的上升。

因此,在应用 NCEP/NCAR 资料讨论东亚范围时,特别是贝加尔湖以南的蒙古国至中国西北部和中西部的广大区域,尽量应用 1966 以后的资料,尤其夏季;春季和秋季的 20 世纪 60 年代资料也需谨慎考虑;相对而言,冬季 60 年代的 NCEP/NCAR 资料则是比较可信的。

5 NCEP/NCAR 再分析资料质量的总结和讨论

本文分季节分析比较东亚地区 NCEP/NCAR 和 ERA-40 的 500 hPa 位势高度资料的差异,并以 NMC 资料予以对照,得出如下结论:

(1) 从空间角度分析,500 hPa 位势高度场的两份再分析资料,即北半球 NCEP/NCAR 资料和 ERA-40 资料,各季的平均场和相关场均存在大范围的显著性差异区域,差异区域位于东亚地区,特别是贝加尔湖以南的蒙古国至中国西北和中东部的大部分区域(30° — 50° N, 80° — 115° E)。

(2) 从季节角度讨论,上述两份再分析资料在冬季相关较好,而春、夏、秋季则存在明显差异。

(3) 从年际变化角度讨论,1957—1970 年,春、夏两季东亚地区的 NCEP/NCAR 资料远小于另两份资料。1960—1965 年,NCEP/NCAR 资料出现非常异常的上升现象:夏季升值达 46 gpm,春季达 38 gpm。

针对以上问题,对 500 hPa 资料的使用提出如下建议:

(1) 在东亚地区应用 NCEP/NCAR 资料时,如果范围涉及贝加尔湖以南至中国西北和中西部地区(30° — 50° N, 80° — 115° E),尽量应用 20 世纪 70 年代以后的资料。如果需应用 20 世纪 50 和 60 年代

资料,可考虑应用 ERA-40 资料。对中国而言,尤其在讨论亚洲蒙古高原和中国北部地区春季和夏季 500 hPa 环流时,必须注意 NCEP/NCAR 资料质量中存在的问题。

(2) 中国在 20 世纪 80 和 90 年代经常应用的国家气候中心(NMC)的北半球 500 hPa 资料,在东亚区域是可信的。

致谢:感谢国家气候中心何敏研究员对 NMC 北半球 500 hPa 资料来源的查找和帮助,感谢中国科学院大气物理研究所张丽博士的有益讨论。感谢 Yang Song、Tomoshige INOUE 和 Jun MATSUMOTO 先生的讨论和支持。

参考文献

- 中央气象台. 1982. 1951—1980 年北半球 500 毫巴月平均高度及距平图(1—3 册). 北京:气象出版社,3-362
- 中央气象局资料室. 1960. 历年逐月平均气压形势图(第五分册). 北京:气象出版社,1-120
- 北京大学地球物理系气象专业. 1976. 北半球 500 毫巴高度资料. 北京:气象出版社,1-300
- 杜银,张耀存,谢志清. 2008. 高空西风急流东西向形态变化对梅雨期降水空间分布的影响. 气象学报,66(4):566-576
- 黄嘉佑. 1990. 气象统计分析与预报方法. 北京:气象出版社,21-24
- 方之芳,张丽. 2006. 夏季 NCEP 资料质量和二十世纪 70 年代东亚热低压的突变. 高原气象,25(2):179-189
- 郭其蕴,蔡静宁,邵雪梅等. 2003. 东亚夏季风的年代际变率对中国气候的影响. 地理学报,58(4):569-576
- 柳艳香,郭裕福. 2005 中高纬度气压系统异常对东亚夏季风年代际变化的影响. 高原气象,24(2):129-135
- 慕建利,王建捷,李泽椿. 2008. 2005 年 6 月华南特大连续性暴雨的环境条件和中尺度扰动分析. 气象学报,66(3):437-451
- 上海中心气象台. 1965. 亚欧平均环流图. 北京:气象出版社,1-180
- 咸鹏,李崇银. 2003. 北太平洋海温变化的年代际模及其演变特征. 大气科学,27(5):861-868
- 章基嘉,葛玲. 1983. 中长期天气预报基础. 北京:气象出版社,18
- 张庆云,彭京备. 2003. 夏季东亚环流年际和年代际变化对登陆中国台风的影响. 大气科学,27(1):97-106
- 赵勇,钱永甫. 2008. 北非地区海-陆热力差异与夏季江淮流域旱涝的关系. 气象学报,66(2):203-212
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文. 2000. 天气学原理与方法. 北京:气象出版社,147-149
- Chang C P, Zhang Yongsheng, Li Tim. 2000. Interannual and interdecadal variations of the East Asian summer monsoon and tropical Pacific SSTs. Part I: Role of the subtropical ridge. J Climate,13:4310-4325
- Inoue Tomoshige, Jun Matsumoto. 2004. A comparison of summer sea level pressure over East Eurasia between NCEP/NCAR reanalysis and ERA-40 for the period 1960-99. J Meteor Soc Japan, 82 (3): 951-958
- Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al. 2001. The NCEP/NCAR 50 year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. Bull Amer Meteor Soc, 82(2): 247-267
- Masao Kanamitsu, Wesley Ebisuzaki, Jack Woollbn, et al. 2002. NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2). Amer Meteor Soc, 83 (11): 1631-1643
- Trenberth K E, Paolino D A. 1980. The Northern Hemisphere sea level pressure data set—Trends, errors and discussions. Mon Wea Rev, 108: 855-872
- Wu Renguang, Wang Bing. 2002. A contrast of the East Asian summer monsoon-ENSO relationship between 1962-77 and 1978-93. J Climate, 15, 3266-3279
- Yang Song, Lau K M, Kim K M. 2002. Variations of the East Asian jet stream and Asian-Pacific-American winter climate anomalies. J Climate, 15: 306-325