

夏季风及其降水的数值模拟*

袁 重 光

(LASG, 中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文介绍利用 IAP2-L GCM 模式模拟东亚地区西南季风的的活动及长江流域的“梅雨”, 结果表明: 对于西南季风的进退; 季风向北推进时的三次集中的降水活动; 梅雨的降水; 入出梅时间; 梅雨期的高、低空环流结构; 典型的降水分布等, 都得到了较为成功的模拟. 同时发现, 在降水集中地带低频振荡现象甚为清楚.

关键词: 梅雨; 西南季风; 数值模拟.

一、引 言

东亚、南亚及东南亚地区是全球最著名的季风区, 冬季盛行东北季风, 夏季盛行西南季风; 我国地处东亚, 夏季, 受西南季风的控制, 夏季风的降水是我国最重要的降水资源, 对我国的农业生产有极为重要的影响; 一年一度的梅雨, 与江淮流域的旱、涝灾害有直接的联系; 已有许多著作对此进行了系统的研究, 请参阅陶诗言、陈隆勋著名的总结性文章^[1]; 过去研究比较偏重于天气及诊断分析, 近年来大气环流数值模拟有了足够的进展, 我国自行研制的 IAP 2-L GCM (大气物理研究所大气环流模式) 已经初步建成并投入使用, 通过数值模拟的途径来研究东亚季风, 将有助于探讨季风活动及其异常的机制, 对我国夏季风降水、旱涝的长期预报提供有益的帮助, 并逐步建立有数学、物理基础的旱、涝长期预报方法. 本文将介绍利用 IAP 2-L GCM 模拟东亚季风的第一批结果——夏季风活动及其降水的初步模拟.

二、IAP 2-L GCM 简介

IAP 2-L GCM 是一全球初始方程格点模式, 具有如下特点:

- (1) 热力学变量取相对于某种标准层结的偏差为预报量, 这样可以自然定义有效位能和有效表面位能, 有助于减少计算误差.
- (2) 使用“混合”(hybrid) σ -坐标, 引入一套变量变换, 使能量方程具有紧凑的形式.
- (3) 计算格式简单灵活, 保持了微分方程的一系列整体性质, 无外源和耗散条件下严格保证总有效能守恒及正确的能量转换关系.
- (4) 引入一套“灵活性参数”, 可以在不破坏能量守恒的前提下对模式进行某些经验订正, 并构造多时间尺度系统的加速收敛算法.

* 1989年1月17日收到, 5月10日收到修改稿.

国家自然科学基金资助项目

模式的水平差分网格取 c 网格,分辨率为经度 5° 、纬度 4° ,时间差分为 Matsuno 格式与 Leap frog 交替,加 Shuman 梯度平均,时间步长为 7.5min,取真实地形及海陆分布,下垫面土壤温度、湿度分别由地表热量和水份收支方程来预报,洋面温度和海冰由 12 个月平均气候资料内插,模式中包含了长、短波辐射;大尺度凝结和小尺度积云对流加热,以及大气和下垫面之间的热量、水份、动量的湍流交换,下垫面根据其特性分为 9 类,反照率根据地面特性及有无积雪来确定,雪量由雪量方程预报.关于 IAP 2-L GCM 的详细情况请参考文献[7].

本试验从 1 月 1 日开始积分,初始场取气候平均的一月份纬向环流的大气状态,取积分一年的 5—9 月候平均模拟结果进行分析.

从当前的气候模拟情况来看,夏季特别是大陆降水的模拟是比较困难的,下列模拟结果分析说明 IAP 2-L GCM 具有相当好的模拟性能,可以用于大气数值模拟研究.

三、夏季风的进退

冬季,东南亚地区盛行东北季风,夏季风尚退缩在南半球,随着季节的转换,太阳逐渐移至北半球,暖空气开始活跃,赤道北的风逐渐出现微弱的偏南分量,但直至 4 月份,模拟

的月平均 850hPa 风场上,西南风的前沿只到达南海南部,且风速只有 1m/s ,5 月份,暖空气明显增强,西南风到达华南,图 1 是模拟的月平均 850hPa 面上 5—10 月西南风北界的位置,5 月份,西南风北界从缅甸到长江口一线,风速为 3m/s ,6 月份北移至云、贵至山东半岛一线,风速为 7m/s ,7、8 月份继续向北推进,是西南风的极盛时期,风速达 10m/s ;盛极而衰,9 月份,西南季风已经向南撤退,10 月份,已退至南海中部.在西南风北进时,西部推进比较缓慢,东部比较早,7、8 月最盛期,西部只略超过 30°N ,东部可到达我国东北及苏联的滨海地区;南退时,也是西部比东部慢,9 月份,南海东北部已经出现东北风;9 月份的南退出现比较复杂的现象,东、西两翼,退得比较多,而中部只退到长江流域,10 月份,西南风已退到南海中部.

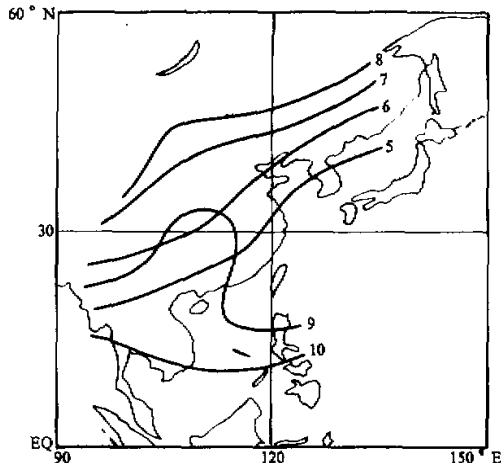


图 1 模拟的 5—10 月 850hPa 面上西南风北界位置

根据朱抱真等^[2],西南季风于 5 月 20 日在缅甸建立,6 月到达缅甸北面,这和模拟的西南风北界西端较为符合;陶诗言、陈隆勋^[1]用“季风指数”来定义夏季风建立日期,6 月底,夏季风的北界在江淮流域,模拟的结果也大致相符;但是,9 月份西南风的南撤,在大陆中部撤退较慢,西南风的北界仍在 30°N ,较其两侧为北,这似乎与一般的概念不符,其原因可能有二:其一是模拟失真,模式的某些环节需要加以改进;其二是,模拟分析是个别年份的,不是多年平均,长江流域在某些年份,冷空气活动的路径出现一些异常,而这—

地区的暖空气仍然活跃,与多年平均情况相比,出现一些差异是可能的,长江流域,在某些年份会出现秋雨连绵,可能与此有一定联系,这个问题需要进一步加以探索。

四、夏季风降水的模拟

1987 年,杨广基、刘家铭^[3]用中国东部 38 个站的 10 天总降水量资料分析了 4—9 月 25—45°N 降水的纬度、时间变化,见图 2(a),按照曾庆存等^[4]选取 10 天总降水 50mm

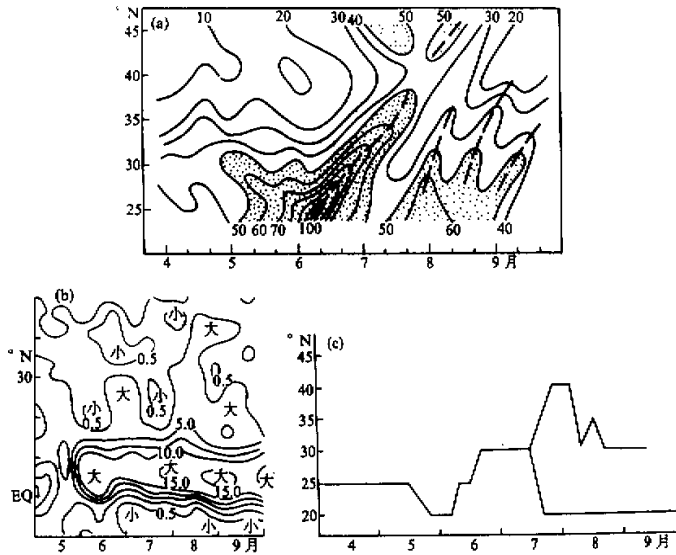


图 2 中国东部降水的纬度时间剖面 (a) 实况, (b) 模拟, (c) 实况降水中心活动。

的等值线作为标志,此等值线在 5 月份到达 30°N,在此纬度上摆动,降水主要集中在 30°N 以南,在我国的华南地区,这段时期的降水称为前汛期,在江南地区又名桃花水;6 月初,降水有一次减弱,然后又一次增强且越过 30°N,从 6 月中维持至 7 月初,雨量也比 5 月份增大,30°N 处 10 天总降水超过 70mm,7 月中旬前后,降水出现一次间歇,此时雨带向北移动到 45°N,开始了华北的雨季,25°N 也维持一支雨带,在 30°N 及其北,降水明显减少,雨带的这两次北移,比较迅速,称为雨带的北跃,是东亚季风降水的特点之一。雨带的这两次北跃,从降水中心的活动可以看得更为清楚,图 2(c) 是缪锦海用中国 58 个站 30 年的候降水量分析而得的降水中心活动,图上的线表示降水中心的时间、纬度变化,由图可见:5 月初至 5 月的第 4 候,降水中心一直在 25°N,第 5 候,中心向南退,退至 20°N 及以南,6 月的第三候,又北上至 25°N,至第 5 候,中心已北进至 30°N,一直维持至 7 月的第 4 候,然后出现两个降水中心,一个向北跃进至 40°N,一个向南退至 20°N,此后 20°N 的降水区维持,40°N 的降水中心维持至 8 月的第 3 候,逐渐减弱消失;由此可见,降水中心清楚地出现了两次北跃,第一次出现在 6 月中旬,降水中心迅速由 20°N 北推至 30°N,第二次出现在 7 月下旬;5 月底至 6 月上旬,中心南退,出现一次相对少雨,7 月下旬,降水中心分裂,长江流域又出现一次少雨的时段。

图 2(b) 是模拟的 110—130°E、10 天平均降水的纬度、时间变化,图上清楚地出现了

三次集中的降水过程,第一次在 5 月份,对应于华南前汛期降水,6 月上半月,出现一次相对少雨的时段,6 月下半月至 7 月上旬,出现第二次集中的降水,对应于长江流域的梅雨,此时, 40°N 附近有一片相对干旱区,正对应于华北的干旱少雨季节,此后长江流域又出现一次少雨时段,7 月底,出现第三次集中的降水,降水北进至长江流域后不久,迅速分裂为两个降水带,一个推进到 40°N 以北,一个则南退到 20°N 稍北;模拟的降水最大值,前汛期降水为 10 天总降水量 42mm,实况为 60mm,梅雨时段 10 天总降水量为 50mm,实况为超过 70mm,华北降水,模拟的为 41mm,实况为 50mm.从模拟的降水活动与实况的对比来看,雨带的两次北跃模拟得比较成功,模拟的降水量比实况为小,梅雨时段的降水中心比实况稍南了一些,华北的降水比实况稍迟,两段相对少雨时段,模拟的降水出现两段对比更为鲜明的少雨时段.由以上对比分析可见,对于夏季风活动期的降水,模拟基本成功,但也存在一些不足之处,有待进一步探讨.

五、长江流域梅雨的模拟

按图 2(b),模拟出的长江流域梅雨,入梅时间为 6 月的第 4 候,出梅时间为 7 月的第 3 候,梅雨持续约 25 天,在图上还可以看到,雨带的北移是很迅速的;据南京气象学院实

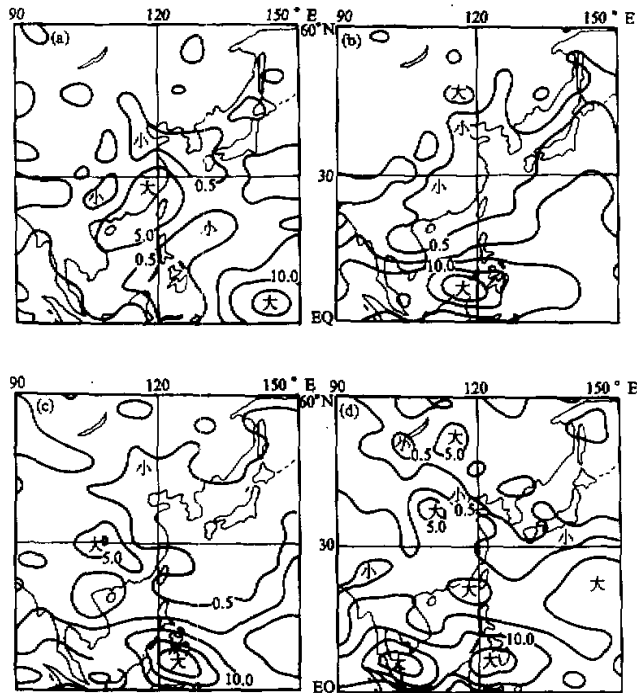


图 3 模拟的不同时期典型降水分布

(a)5月第5候,(b)6月第2候,(c)6月第4候,(d)7月第6候

习台对 1961—1977 年长江中、下游 12 个台站日雨量资料统计^[5],入梅时间最早为 6 月 6 日,最迟为 6 月 30 日,梅雨持续时间最长为 39 天,最短只有 8 天,平均为 23 天;按图 2

(a)上 50mm 降水等值线与 30°N 纬圈相交的时间计,入梅时间为 6 月 10 日,出梅时间为 7 月 10 日,雨期 30 天;陶诗言、陈隆勋^[1]用季风指数算得的梅雨期为 6 月 18 日至 7 月 18 日;由不同年限、不同方法得出的结果,出现一些不大的差异是正常的,模拟的入、出梅时间及梅雨持续长度都接近平均情况,梅雨时段降水中心的 10 天降水量为 50mm,由前面图 2(a),实况的降水量超过 70mm,模拟的雨量比实况偏小;这个数值是一个大面积上 10 天平均的数字,因而雨量并不大,实际情况是,短时间、局部地区的暴雨中心,雨量可以较大,而大范围地区却是连绵不断的“蒙蒙细雨”,日降水量只有几个毫米,目前,模式的分辨率不高,着眼于气候状态的模拟,对于暴雨的模拟力不能及,模拟的雨量偏低是可以预料的。

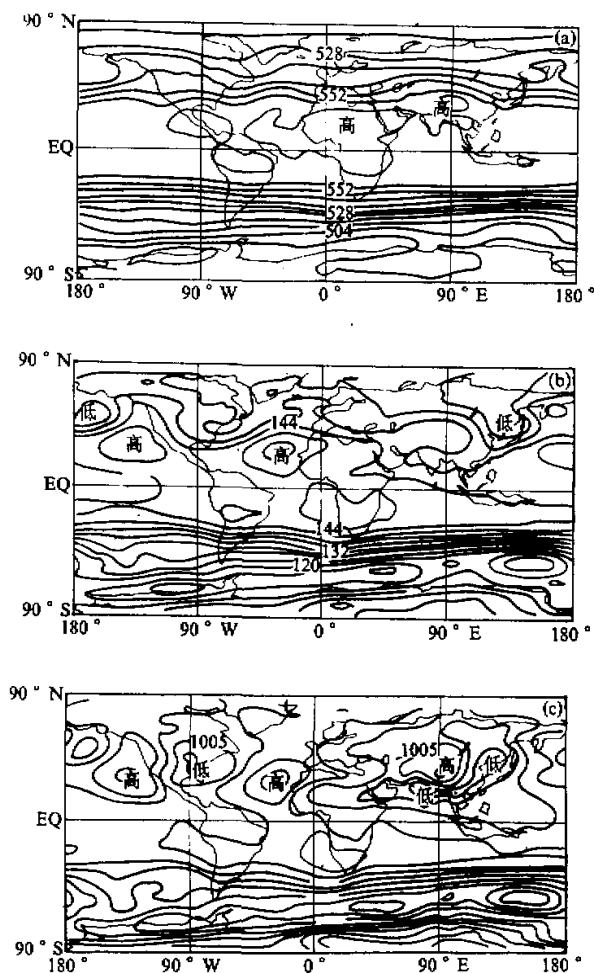


图 4 模拟的 6 月份高低空形势

(a)500hPa 位势场, (b)850hPa 位势场, (c)海平面气压场。

图 3 是不同时段典型候降水分布图,图 3(a)是梅雨前的前汛期降水(5 月第 5 候)分布图,大陆上有两个降水带,一在华南地区,一在北方,两个雨带之间有一个相对的少雨区,南边的雨带比较集中,雨量也比较大,5 天平均日降水量接近 10mm,对应于华南的前汛期降水,北边的雨带比较分散,有多个中心,平均日降水超过 5mm;图 3(b)是 6 月第二候的降水分布,相应于一次季风中断,整个大陆东部都相对少雨,但在 45°N 附近的相对多雨带仍有降水;图 3(c)是模拟的梅雨期(6 月第 4 候)降水分布,在大陆上 30°N 处有一个降水区,降水中心正位于长江流域,候平均日雨量超过 10mm,比较符合梅雨的典型降水形势;图 3(d)是 7 月第 6 候的降水分布,对应于华北雨季的降水形势,此时长江流域的梅雨已过,雨带的一支由长江流域推向北方,候平均日雨量大于 5mm;杨广基、刘家铭^[3]对中国东部 38 个站、10 年的 4—10 月 10 天降水资料作了 EOF 分析,前汛期降水(图 3(a))的降水分布类似于 EOF 分析中第一特征向量的降水分布,特点是南高北低,梅雨期(图 3(c))的降水分布类似于 EOF 分布中第三特征向量的降水分布,为南、北低中间高,华北雨季(图 3(d))的降水分布则类似于第二特征向量的降水分布,为南、北高中间低;可见:模拟出的不同时期大范围降水分布形势,与实际资料分析的结果甚为一致。

图 4 是模拟的 6 月份平均海平面气压、500hPa 及 850hPa 形势图,可以代表梅雨期的高、低空环流形势,由于模式目前只有两层,我们用 500hPa 代表对流层中、上层,850hPa 代表低层,图 4(a)是模拟的 6 月份平均 500hPa 位势场形势,图 4(b)是 850hPa 的位势场,图 4(c)则是同时的海平面气压场,由图可见:在 30°N 为中心的大陆上空,中、上层是一个广阔的反气旋环流,低层有一个接近东西向伸展的狭长槽区,与风场相配合,具有切变线的性质,海平面气压场上则是季风低压的活动区,低层的气流向低压、切变线地区辐合,中、高层处于反气旋环流的辐散区,有利于对流活动的发展和大范围降水活动的维持;此外,还可注意到,在 500hPa 形势上,鄂霍茨克海附近有一个很清楚的高压脊,虽然没有形成阻塞高压的闭合中心,在月平均图上出现如此形势,加上上半月环流形势尚未突变,环流较为平直,说明下半月常有高压在此徘徊,也有利于梅雨的维持;邱炳焕、丁一汇^[6]通过观测资料的分析,研究了梅雨时期的高、低空环流结构,低层是低压、切变的辐合区,上层是高压辐散区,由此可见:模拟所得梅雨时期高、低空环流的结构,与实际是十分一致的。

六、降水带的低频振荡

将各个纬度上 110°E — 130°E 、5—9 月的候降水资料作谱分析,求出其功率谱的分布,见表 1。由表可见:在所有纬度上,30—60 天的振荡都占有很大的比重;在 18°N — 30°N 的纬度带上,40 天周期的振荡占有最大的比重,次大的比重是 60 天的振荡,同时,第二个较大比重在 12—15 天周期处;在这个纬度带的南北则以 60 天周期较多。最近缪锦海* 用 30 年实测降水资料分析发现,在长江流域的梅雨期间,低频振荡十分清楚,而在其他季节则远不如梅雨季节清楚;近来发现,低频振荡是一个全球性的现象,但是,在降水集中的时段,显得最为清楚,必有其相互反馈的作用,对此,本文不拟讨论。

* 个人通讯材料,尚未发表。1) 1)

表1 模拟的各纬度带5—9月候降水功率谱

功 率 谱 纬 度 带 (°N)	周 期 (天)	00	120	60	40	30	24	20	17.1	15	13.3	12	10.9	10
52		0.123	0.180	0.063	0.062	0.107	0.076	0.062	0.073	0.048	0.043	0.084	0.066	0.013
46		0.061	0.105	0.121	0.165	0.152	0.110	0.067	0.050	0.053	0.039	0.033	0.030	0.014
42		0.084	0.204	0.198	0.093	0.034	0.082	0.111	0.060	0.022	0.035	0.039	0.026	0.012
38		0.167	0.343	0.196	0.020	0.004	0.014	0.023	0.018	0.012	0.037	0.065	0.068	0.033
34		0.058	0.211	0.206	0.062	0.015	0.028	0.078	0.119	0.090	0.046	0.040	0.035	0.013
30		0.016	0.068	0.160	0.181	0.091	0.038	0.028	0.036	0.083	0.094	0.062	0.084	0.060
26		0.010	0.074	0.241	0.279	0.106	0.005	0.006	0.035	0.064	0.060	0.052	0.048	0.021
22		0.029	0.098	0.200	0.253	0.157	0.046	0.014	0.016	0.050	0.066	0.039	0.021	0.011
18		0.053	0.097	0.147	0.248	0.176	0.057	0.059	0.045	0.031	0.025	0.010	0.028	0.024
14		0.143	0.269	0.146	0.035	0.030	0.046	0.053	0.046	0.040	0.027	0.047	0.078	0.040
10		0.129	0.235	0.143	0.057	0.062	0.075	0.053	0.029	0.023	0.047	0.059	0.057	0.031
6		0.146	0.222	0.111	0.069	0.068	0.056	0.049	0.046	0.051	0.069	0.052	0.039	0.024
2		0.120	0.179	0.128	0.146	0.101	0.037	0.040	0.045	0.051	0.069	0.054	0.023	0.007

七、结 语

西南季风的活动及其降水是东亚区域天气、气候的一个重大特色,梅雨与我国江淮流域大面积、长时期的旱、涝更有着直接联系;从初步模拟结果的分析来看,对于西南季风的一些重要特色,如:西南季风的进退、三次集中的降水时段、雨带的进退、雨带的两次跳跃、降水的分布特征、梅雨时期高低空的环流形势等大尺度特征都得到了较好的不同程度的模拟;对于季风活动的年际变化、降水的异常、以及产生这些异常的物理因子的探讨,我们将在下一步工作中进行。

参 考 文 献

- [1] Tao S. Y., and L. X. Chen, 1987, A Review of Recent Research on the East Asian Summer Monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, 60—92, Oxford University Press.
- [2] 朱抱真等, 1966, 东南亚和南亚的大气环流和天气, 科学出版社.
- [3] K. M. Lau, G. J. Yang and S. H. Shen, 1988; Seasonal and Intraseasonal Climatology of Monsoon Rainfall over East Asia, *Mon. Wea. Rev.* Vol. 116, No. 1, 18—37.
- [4] 曾庆存, 梁信忠, 张明华, 1988, 季风和大气环流季节突变的数值模拟, *大气科学*, 特刊, 22—42.
- [5] 南京气象学院实习台, 1979, 100毫巴单站高空风与长江中下游地区入(出)梅关系, 中长期水文气象预报文集第一集, 水利电力出版社, 74—77.
- [6] 邱炳焱, 丁一汇, 1979, 1973年我国梅雨时期的环流结构, 夏季梅雨期降水的形成和预报, 科学出版社, 23—32.
- [7] Zeng Qing-cun et al., 1989, Documentation of IAP Two-Level Atmospheric General Circulation Model, DOE/ER/60314-H1, TR044, Prepared for United States Department of Energy, Feb. 383pp.