

长江中下游旱涝中期预报 方法及其业务应用

金荣花 李月安 晁淑懿 任金声

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

介绍了双层多因子综合相似的长江中下游旱涝中期预报模型。该模型引入了具有明确动力学和热力学意义的地转西风动量经向输送和经向温度梯度诊断量,同时强调了西太平洋副热带高压对长江中下游夏季降水的关键作用,并考虑了对流层中、低层 500hPa 高度和 850hPa 温度的大尺度环流背景场。与过去业务应用的单层相似预报模型相比较,不仅物理意义和天气学含义明确,而且更符合对具有复杂动力和热力机制的降水预报的考虑。5 年的预报试验和业务应用结果表明,该方法对长江中下游地区旱涝的中期趋势预报有较好的预报能力。

关键词: 旱涝 中期预报 动量经向输送 经向温度梯度 业务应用

引 言

长江中下游是我国经济最发达地区,气象灾害造成的经济损失较其它地区严重。长江中下游夏季洪涝或干旱是该地区主要的气象灾害。众所周知,1954、1991 和 1998 年长江中下游大洪水,1965、1988 年的持续伏旱,

造成了巨大经济损失。大范围洪涝或干旱的中期预报是夏半年中期业务预报主要内容,也是中期预报难点之一。利用现有的数值预报产品资源,开展旱涝趋势中期预报方法 and 应用研究,并将研究成果业务化,产生气象服务社会效益,是本文工作的主要目的。

大范围较长时间尺度的降水多寡预报方法,业务上使用比较成熟的是相似预报方法。但是,目前业务应用部门大多只对单层500hPa大尺度形势制作相似预报^[1]。由于存在因子过于单一和降水机制复杂的矛盾,预报效果往往不够理想。本文利用对流层中、低层500hPa高度、850hPa温度两层大尺度环流背景信息,同时引入具有显著动力学和热力学意义的物理量场,并强调夏季对大尺度降水起主导作用的副热带高压天气系统作用,建立双层多因子综合相似预报模型。经预报试验和业务使用,取得了较好的预报效果,表明该方法对长江中下游旱涝的中期趋势预报有一定的预报能力。

1 资料和方法

分析所用的高度、温度的数据为欧洲中期预报中心(ECMWF)的 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格距的客观分析资料。降水量是来自国家气象中心逐日08:00(北京时)24小时降水量观测资料。所采用的具体诊断工具和相似分析方法为:

(1)西风动量经向输送^[2]可以表示为: uv ,本文中 u 和 v 分别是利用500hPa高度场计算得到的地转风 x 和 y 方向的分量,因此,以下 uv 记为 $u_g v_g$,称为地转西风动量经向输送。

(2)在球坐标系下温度的经向梯度可以表示为: $\frac{\partial T}{\alpha \partial \varphi}$,式中 α 为地球半径, φ 为纬度。为计算和统计方便,本文中温度的经向梯度取为经向格点温度差,记为 $\Delta_y T$ 。

(3)相似计算方法采用相似指数^[1],表达式为: $I_{ij} = r_{ij} \left(1 - \frac{E_{ij}}{n\sigma} \right)$,式中 E_{ij} 为欧氏距离, $\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_i + \sigma_j)$ 为两个气象场的均方差 σ_i 和 σ_j 的平均值, n 为正实数,用来控制 E_{ij} 的作用,本文取 $n = 15$, r_{ij} 为相关系数。相似指数的优点是可以从数值和形态两个方面

反映两个场的相似程度。

2 长江中下游旱涝划分标准

把我国 $27^{\circ} \sim 32^{\circ} \text{N}$ 纬度带内、经度 109°E 以东内陆地区作为长江中下游地区,在该地区选取41个代表站(图略)。由于预报量是旬降雨量,因此规定,用41个代表站旬降雨量(R)和旬降雨量距平百分率(ΔR)在某阈值内出现的站点数或占总站点数的百分率来确定长江中下游旱涝等级(表略)。长江中下游旱涝共分为6个等级,即严重旱、旱、正常偏少、正常偏多、涝和严重涝6个等级,分别记为1、2、3、4、5和6级。

3 旱涝物理量诊断分析

3.1 客观诊断分析

利用1986~1997年6月第1候至7月第5候共132个500hPa高度和850hPa温度欧亚范围($20^{\circ} \sim 80^{\circ} \text{N}$ 、 $10^{\circ} \text{E} \sim 180^{\circ}$)候平均资料,计算500hPa地转西风动量经向输送 $u_g v_g$ 和850hPa经向温度梯度 $\Delta_y T$ 两个物理诊断量,并统计它们与相对候候及下一候累计旬的长江中下游旱涝等级之间的相关系数,通过分析发现:(1)相关系数在0.20以上(在显著水平 $\alpha = 0.05$,通过显著性 t 检验的相关系数临界值是0.17)的格点基本集中在 $25^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$ 、 $75^{\circ} \sim 140^{\circ} \text{E}$ 范围(图1)。(2)长江中下游旬降雨量的多寡与500hPa华南北部和江南南部地转西风动量经向输送成正相关,与黄淮和西北地区东部动量输送成反相关;与850hPa长江中下游、黄海南部和东海北部海域的经向温度梯度成反相关,与渭水流域、黄淮西部等地经向温度梯度成正相关。

将图1中粗实线包围的两两南北、正负对峙的4个高相关区域定为关键区,对其与长江中下游旱涝等级再次进行相关计算得到:关键区动量输送平均值与相应旬旱涝等级的相关系数分别为0.55与-0.39,关键区经向温度梯度累计值与相应旬旱涝等级的相关系数分别为-0.34与0.22。相关系数高

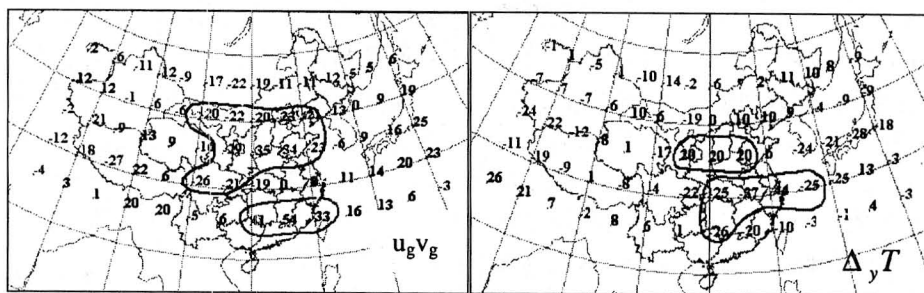


图1 诊断量与旱涝等级的相关系数分布

于所有单格点的相关系数。

4个关键区物理量场对长江中下游地区旱涝不仅统计关系显著,而且物理意义和天气学含义明显。500hPa上长江中下游地区南侧关键区正值 $u_g v_g$ 表征动量向北输送,对应的形势场上表现为西南暖湿气流向北输送强度;而北侧关键区负值 $u_g v_g$ 表征动量的向南输送,对应的形势场上表现为北支锋区上冷空气向南入侵势力。长江中下游地区恰好处于南北动量输送的辐合区,能量集中,易造成强降雨。850hPa上长江中下游有强的负温度经向梯度时,对应的温度场上表现为有冷槽或强锋区维持,易发生长江中下游持续性降雨。相反,在该地区有正温度梯度时,正是副热带高压控制长江中下游的温度梯度分布形势,此时是该地区晴热少雨的伏旱季节。

3.2 诊断量分类

通过3.1节中的分析,将 $u_g v_g$ 和 $\Delta_y T$ 两个诊断量根据500hPa西南暖湿急流强度和北支锋区冷空气南下势力以及850hPa长江中下游是否有强锋区活动等分为4类(见表1),并将这4类诊断量样本对应的预报量按旱涝等级归类(见表2)。由表得到:(1)当500hPa $u_g v_g$ 第1类即影响长江中下游的西南暖湿急流和冷空气均较活跃时,旬降雨量明显偏多的情况占优势,占53%;当第2、3类,尤其第3类即北支锋区上冷空气势力较弱或西南暖湿气流不够旺盛时,明显少雨占优势,占79%。(2)850hPa $\Delta_y T$ 在第1、2类

即长江中下游为较强暖气团控制时,旬降雨量明显偏少占优势,尤其是第1类,占83%,而在第3类即长江中下游有强锋区维持时,旬降雨量接近常年或明显偏多。(3)两个诊断量在第4类时,对降雨量多寡无明显指示意义。

表1 诊断量分类标准

类别	$u_g v_g$		$\Delta_y T$	
	关键区1	关键区2	关键区1	关键区2
1	>5	<-5	≥ 4	
2	>5	≥ -5	$4 > \Delta T > 0$	
3	≤ 5	≥ -5	≤ 0	≥ 5
4	≤ 5	<-5	≤ 0	
相关系数	0.55	-0.39	-0.34	0.22

注: $u_g v_g$ 为500hPa地转西风动量经向输送(单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$), $\Delta_y T$ 为850hPa经向温度梯度(单位: $^{\circ}\text{C}$)

表2 各类诊断量的旱涝历史样本统计

类别	$u_g v_g$			$\Delta_y T$		
	1,2级	3,4级	5,6级	1,2级	3,4级	5,6级
1	6(13)	16(34)	25(53)	24(83)	4(14)	1(3)
2	9(53)	6(35)	2(12)	10(53)	4(21)	5(26)
3	27(79)	6(18)	1(3)	8(16)	23(46)	19(38)
4	13(38)	14(38)	7(21)	13(38)	11(32)	10(29)

注: $u_g v_g$ 为500hPa地转西风动量经向输送(单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$), $\Delta_y T$ 为850hPa经向温度梯度(单位: $^{\circ}\text{C}$)

括号中数值为旱、正常和涝的历史样本百分数

4 双层多因子综合相似方案设计

4.1 基本思路

上述分析表明长江中下游未来10天降雨量的多寡,与第1候500hPa该地区地转西风动量经向输送的辐合和850hPa强锋区维持有较密切关系。同时,根据统计分析和预报实践经验,长江中下游地区未来10天降雨

量的多寡也与第1候500hPa亚洲环流形势和850hPa亚洲温度场有一定相关性(图略),与夏季主导环流系统西太平洋副热带高压的位置、面积和强度有紧密联系。因此,利用对流层中、低层即500hPa高度场和850hPa温度场候平均资料,设计了地转西风动量经向输送、经向温度梯度、高度场、温度场、副高面积和位置5个因子综合相似预报模型。

预报量是未来10天降雨量等级预报,在时效上比预报因子时间尺度延长5天,因此,在计算各要素相似时,假定相似的两个大尺度形势后期演变基本相同,并着重考虑上游系统对预报区域的后期影响,各因子相似区域选取该地区向西、向北扩展的大尺度范围的亚洲区域($20^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$ 、 $50^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$,以下简称大范围)。为突出高相关区域 $u_g v_g$ 和 $\Delta_y T$ 两个物理量对长江中下游旱涝作用,对于 $u_g v_g$ 和 $\Delta_y T$ 增加计算小范围($25^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $75^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$,以下简称小范围)区域相似。

4.2 相似模型设计

由4.1的基本思路,设计了如图2的双层多因子综合相似模型。其中各因子相似指数临界值,由132个样本的统计得到。物理量诊断场在小范围内相似指数 $I \geq 0.60$,在大范围内 $I \geq 0.40$;500hPa高度场和850hPa温度场相似指数 $I \geq 0.80$;副高面积预报样本与相似样本之差值 ≤ 3 。相似预报模型的预报流程由以下四个步骤组成:

第一,500hPa $u_g v_g$ 和形势场两个因子综合相似

(a) 预报样本关键区 $u_g v_g$ 分类并在该类历史样本中进行小范围 $u_g v_g$ 相似指数 I_{11} 计算,取相似指数前10名样本为基本相似样本。(b) 计算这10个基本相似样本大范围 $u_g v_g$ 相似指数 I_{12} 和500hPa形势场相似指数 I_{13} 。(c) 判断相似样本各单项相似指数是否通过临界值条件,有两个单项或以上满足相

似条件的样本确定为筛选相似样本。(d) 合计筛选相似样本的 I_{11} 、 I_{12} 、 I_{13} 值为 I_1 ,取前三位筛选相似样本,将它们对应的旱涝等级中多数或中间等级定为预报旱涝等级 R_1 。

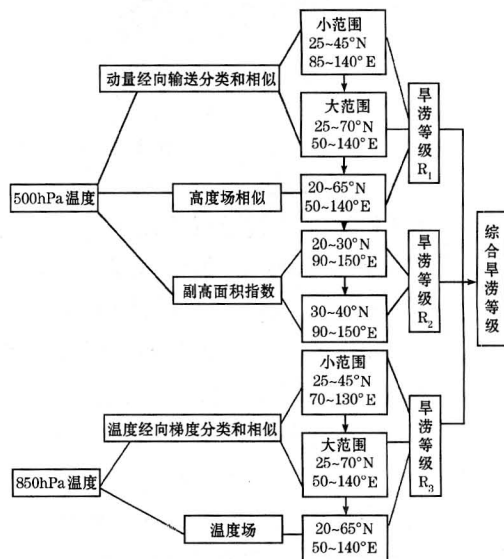


图2 双层多因子综合相似预报模型

第二,500hPa副高面积和位置相似

计算上述10个基本相似样本的 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 和 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 范围内副高面积指数,与预报样本差值 ≤ 3 的为相似样本,该样本的旱涝等级为 R_2 。若有2个以上样本满足条件,则其 I_1 值大的为相似样本。

第三,850hPa $\Delta_y T$ 和温度场两因子综合相似

方法同500hPa $u_g v_g$ 和形势场两因子综合相似,预报旱涝等级为 R_3 。

第四,旱涝等级的综合预报

对 R_1 、 R_2 、 R_3 在不同的旱涝等级情况下综合预报规则为:(a)若 R_1 、 R_2 和 R_3 各不相同,基本采用等权重方法;若 R_1 、 R_2 和 R_3 中有两个相同,另一个只差一级,则取两个相同的旱涝等级;若另一个差 ± 2 级以上,则取两个相同等级 ± 1 为综合预报。(b)当 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 地带预报样本的副高面积 > 15 或

30~40°N 地带副高面积 ≥ 10 ,即副高面积较大时,副高因子作用较大。在这种情况下,副高面积相似样本的旬旱涝等级 R_2 的权重要增加。例如,1988 年 6 月第 1 候相似模型预报结果是 $R_1 = R_3 = 4$ 级, $R_2 = 1$ 级,预报样本 20~30°N 地带副高面积为 16,满足(b)所述条件,综合预报等级定为 2 级,而不是按(a)所述定为 3 级。相反,若副高很弱,面积指数在 20~30°N 内 < 10 ,在 30~40°N 内 ≤ 5 时,可不考虑副高相似预报结果 R_2 。例如,1999 年 R_1 无相似, $R_2 = 1$ 、 $R_3 = 4$,副高

面积分别为 7 和 2,最终综合相似等级为 4,而不是按(a)所述定为 2 级。

5 试报与业务预报

长江中下游旱涝等级预报的双层多因子综合相似预报模型,经过 1998、1999 和 2000 年 6、7 月份试报,与 2001 和 2002 年 6、7 月份每旬前一天中期会商中的业务应用,取得了较好的业务预报效果。由 5 年的综合预报评分、前三年试报中分别对 R_1 、 R_2 和 R_3 三项预报评分以及单层形势场相似预报评分,进行对比分析(见表 3)得到:

表 3 1998~2002 年 6~7 月长江中下游旱涝等级预报评分情况

年	候/月	1/6	2	3	4	5	6	1/7	2	3	4	5	预报准确率
1998	$u_g v_g$	4		4		无		2		1		无	0.70
	副高	1		5		5		3		1		5	0.83
	$\Delta_y T$	4		3		5		6		1		5	0.60
	综合 1	2		4		5		3		1		5	0.77
	实况	1		6		6		2		2		6	
1999	$u_g v_g$	无		4		4		4		无		无	0.87
	副高	3		3		4		2		1		1	0.70
	$\Delta_y T$	4		4		4		4		4		3	0.83
	综合 1	4		4		4		3		4		2	0.87
	综合 2	6		1		1		4		2		1	0.60
	实况	4		4		6		4		4		1	
2000	$u_g v_g$	5	3	4	无	6	3	无	无	无	无	2	0.83
	副高	5	5	1	6	6	2	2	2	1	2	无	0.76
	$\Delta_y T$	4	5	4	4	3	1	1	4	1	1	1	0.73
	综合 1	5	5	3	5	5	2	1	3	1	2	1	0.80
	综合 2	3	2	5	4	6	2	2	2	3	3	3	0.76
	实况	5	5	3	4	4	3	3	1	3	3	2	
2001	综合 1	5	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	0.82
	综合 2	6	2	4	4	2	4	1	2	3	3	3	0.78
	实况	4	2	2	4	3	1	1	4	3	1	3	
2002	综合 1	4	2	4	4	5	5	3	3	2	5	4	0.87
	综合 2	4	3	4	3	5	3	3	2	4	5	4	0.74
	实况	3	2	2	4	6	5	2	3	2	6	5	
合计评分		$u_g v_g$	副高	$\Delta_y T$	综合 1	综合 2	涝	旱					
		0.80	0.76	0.75	0.82	0.72	0.83	0.85					

注:综合 1 代表双层多因子综合相似预报模型,综合 2 代表单层相似预报模型

(1) 本综合相似预报模型预报评分为 0.82,说明该预报模型对长江中下游旱涝具有较高的预报能力。

(2) 预报模型对旱(1~3 级)和涝(4~6 级)预报的 TS 评分为 0.85 和 0.83,说明该

模型对旱涝预报空漏报率较低,效果非常好。

(3) 综合 1 预报评分分数比综合 2(单层相似预报)高出 10 百分点,表明考虑大气多层结构建模,预报效果有显著提高。

(4) 综合预报分数高于各单项预报分

数,可见,引入多因子的集成预报方法是有效的。

(5) 副高较强的年份,如1998年和2000年,副高项预报对综合预报的贡献最大;相反,副高明显偏弱年份,如1999年,副高项预报评分很低,而此时地转西风动量经向输送项和经向温度梯度项预报效果显著。

6 小结和讨论

(1) 本文设计的500hPa候平均地转西风动量经向输送和850hPa候平均经向温度梯度物理意义明确,是对长江中下游旬降雨量偏多(涝)和偏少(旱)有较好指示意义的客观诊断量。

(2) 双层多因子综合相似的长江中下游地区旱涝中期预报模型,综合考虑了对流层中、低层500hPa高度形势场和850hPa温度场,引入具有明确动力学和热力学意义的地转西风动量经向输送和经向温度梯度诊断

量,同时强调西北太平洋副热带高压对长江中下游夏季降水的关键作用。与单层相似预报模型比较,预报能力有明显提高。

(3) 在历史样本普查中,500hPa地转西风动量经向输送表现了很好的相关性,然而在23次试验预报中有10次不满足相似指数 $I \geq 0.60$ 相似条件,这有待于进一步研究和改善。

参考文献

- 1 晁淑懿,金荣花.一种综合相似中期预报模型.应用气象学报,1996,7(3):300~307.
- 2 丁一汇.现代天气学中的诊断分析方法.北京:科学出版社,1989:221~222.
- 3 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法.北京:气象出版社,2000:8~11,24~25.
- 4 赵振国.中国夏季旱涝及环境场.北京:气象出版社,1999.

An Operational Medium-range Forecast Model for the Drought/Flood in the Middle and Lower Reaches of the Changjiang River

Jin Ronghua Li Yue'an Chao Shuyi Ren Jinsheng

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

A double-level multi-factor synthetic analogue prediction model is given for the coming 10-day forecasting of the drought/flood in the middle and lower reaches of the Changjiang River in flood season. It takes into account of the following five predictors: the meridional transmission of geotropic west wind momentum, area index and location of the subtropical high in the west Pacific and the geopotential height filed at 500hPa level, the meridional temperature gradient and temperature field at 850hPa level. Compared with the former single-level analogue prediction model, it has more specific physical meaning and is more competent for the complex dynamic mechanics precipitation forecast. Five-year forecast experiment and operational application shows that this method has good performance in the medium-range tendency forecast for the drought/flood of the middle and lower reaches of the Changjiang River.

Key Words: drought/flood medium-range forecast meridional transmission of west wind momentum meridional temperature gradient operational application