

黄河流域旱涝物理成因模拟与分析

赵宗慈

(国家气象局气象科学研究所)

提 要

本文分析了近 500 年黄河流域旱涝的演变特征,并且利用几个较著名的全球三维环流模式的模拟结果分析了各种物理因子对华北地区旱涝影响的大小,同时利用观测资料亦分析了这些物理因子与黄河流域旱涝的相关。

一、引 言

我国的旱涝研究工作大部分集中在长江流域,近些年来对黄河流域的旱涝研究工作也有所发展。华北地区近几十年来的干旱引起各方面的注意与重视,同时直接影响到国计民生。

作者和王绍武以前的工作^[1-2]研究了黄河中下游华北地区近 500 年春季旱涝自身演变规律;张家诚^[3]研究华北地区近 200 年与近 500 年来旱涝的变化,提出近几十年来的干旱在 500 年中并不是最干旱的阶段。

近 20 年来,全球三维环流模式在国内外均有较大发展,做了大量物理因子影响旱涝变化的模拟试验,从而有可能利用模拟结果较为定量的给出各种可能的物理因子对黄河流域降水的影响。

本文建立在以上各方面工作基础上,选取黄河流域主要农牧区华北与西北地区,建立 500 年旱涝变化指数序列进行分析。同时侧重利用数值模拟与统计相关分析结果,对影响黄河流域旱涝的物理因子做较深入的分析。

二、黄河流域近 500 年旱涝演变特征

同文献[1]、[2],选取北京、石家庄、济南、太原、郑州表示华北地区,并将近 500 余年(1470—1980 年)华北春季与夏季旱涝指数序列又延至 1988 年。根据类似方法,利用中国近 500 年旱涝图集^[4]又整理了西北地区银川、兰州、西宁近 500 年来(1483—1988 年)年

旱涝指数。

计算近 500 年华北春季、夏季与西北的年旱涝指数 50 年滑动平均曲线表明,华北地区存在准 200 年的周期。16 世纪华北春季、夏季以及西北年旱涝指数均出现一次明显的旱期。由于只有 500 年资料,这种 200 年左右的周期是否存在还有待于用更长序列进行验证。

表 1 华北、西北地区旱涝频数表

次数 年	华北春季旱涝					华北夏季旱涝					西北年旱涝				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1479—1508	1	1	12	10	6	0	5	7	14	4	0	2	11	14	3
1509—1538	0	4	11	11	4	1	10	10	7	2	0	3	10	14	3
1539—1568	1	8	6	13	2	3	12	8	5	2	1	5	15	9	0
1569—1598	0	1	12	13	4	1	9	5	11	4	1	6	12	7	4
1599—1628	1	1	8	17	3	5	5	8	10	2	0	4	12	12	2
1629—1658	0	4	10	12	4	5	7	6	7	5	0	3	11	11	5
1659—1688	2	2	7	14	5	3	6	11	6	4	0	6	10	13	1
1689—1718	2	5	12	10	1	2	11	6	9	2	1	4	7	11	7
1719—1748	3	9	5	11	2	1	8	10	8	3	1	11	7	8	3
1749—1778	3	13	9	4	1	1	12	6	11	0	0	11	7	10	2
1779—1808	3	11	7	7	2	2	11	8	9	0	2	9	9	10	0
1809—1838	1	11	9	8	1	2	8	8	9	3	0	11	9	7	3
1839—1868	3	10	6	8	3	0	12	9	7	2	1	9	6	11	3
1869—1898	2	7	7	10	4	1	17	4	5	3	0	9	7	13	1
1899—1928	1	4	9	14	2	0	6	11	11	2	1	7	4	13	5
1929—1958	1	1	9	13	6	1	2	16	8	3	4	11	1	9	5
1959—1988	2	4	7	10	7	0	6	10	9	5	4	8	3	10	5
平均	1.5	5.7	8.6	10.9	3.4	1.7	8.7	8.4	8.6	2.7	0.9	7.0	8.3	10.7	3.1

表 1 给出华北春季、夏季,西北年旱涝指数每 30 年频数表。级别 1 至 5 级分别表示涝、偏涝、正常、偏旱与旱。并给出 30 年平均各级出现的频数。从表中注意到,华北春季、夏季旱涝指数近 150 年涝级频数减小,而旱级频数增加。西北年旱涝指数近 100 年旱级频数明显增加。

三、华北地区夏季旱涝物理成因模拟

近二十年来,全球三维气候模式逐渐发展并进行了大量模拟试验。有关模式的模拟能力及模式的特征,在文献[5]中已有较多介绍。本文中选用的模式有 GFDL, GISS, NCAR, OSU 和 UKMO 的全球大气环流模式耦合到混合层海洋模式或全球大气环流模式。这些模式模拟结果为全球的,这里只给出在华北地区的分析结果。限于目前全球模式在模拟局部区域上的局限性,因而这里只能给出各因子影响华北地区降水的可能背景。所选用的模拟试验有:GFDL 模式^[6]模拟赤道东、中、西太平洋海面温度异常暖(中心分别为+3℃),可能造成全球降水的变化;NCAR 模式^[7]模拟西阿拉伯海异常冷(中心为-3℃),东阿拉伯海北暖南冷(中心±1℃)以及中印度洋异常暖(中心+3℃)对全球降水的影响;GFDL 模

式^[8]模拟重冰雪严寒对全球降水的影响,以距今 18000 年为例做敏感试验;该模式^[9]还对距今 9000 年轨道参数变化造成全球降水变化做了敏感试验;大气中 CO₂ 浓度增加 1 倍对全球降水的影响已有 5 个模式(GFDL, GISS, NCAR, OSU 和 UKMO)做了对比^[10];GISS 模式^[11]对地面蒸发、反照率等影响全球降水做了模拟试验以及 OSU 模式^[12]对青藏高原有地形与无地形对东亚降水的影响做了分析。

表 2 中给出粗略计算上述模式模拟的对华北地区降水影响的结果。表中数值为敏感试验值减控制试验值,用以了解各物理因子对华北 6—8 月降水多寡的影响。从表 2 中看到,所列的各种物理因子对我国华北地区 6—8 月降水都有明显影响。例如严寒重冰雪,如小冰河期对华北地区变干影响显著,降水率减小大约 2mm/d。再如下垫面的蒸发与反照率因子,当全球沙漠与半沙漠区域没有蒸发并地面反照率高时,华北地区干旱严重,其降水率减少 1~2mm/d。再看青藏高原的地形,由于有山地,使华北地区降水增加 1~2mm/d。人类活动造成大气中 CO₂ 浓度增加对华北地区夏季干旱的影响也是不容忽视的。太平洋、印度洋与阿拉伯海的海面温度异常变化对华北地区夏季降水亦有明显影响。注意到赤道东太平洋异常暖,华北地区变干旱,降水率大约下降 0.5~1mm/d。而中印度洋异常暖以及东阿拉伯海北暖南冷形势,则是使华北夏季降水率增加大约 0.5~1mm/d。此外注意到轨道参数的变化,例如距今 9000 年情况,使华北地区变湿。

表 2 华北地区旱涝物理因子模拟,降水率差值*(mm/d)

物理因子	模式	6—8 月
赤道东太平洋暖(中心+3℃)	GFDL	-0.5~-1.0
赤道中太平洋暖(中心+3℃)	GFDL	-0.5
赤道西太平洋暖(中心+3℃)	GFDL	+0.5
西阿拉伯海冷(中心-3℃)	NCAR	西-0.5,东+0.5
东阿拉伯海北暖南冷(中心±1℃)	NCAR	+0.5~+1.0
中印度洋暖(中心+3℃)	NCAR	+0.5~+1.0
严寒重冰雪(18000B. P)	GFDL	(7月)-2.0
轨道参数变化(9000B. P)	GFDL	+1.0~+1.5
人类活动(2×CO ₂)	GFDL, GISS, NCAR, OSU, UKMO	-0.5~-1.0
多蒸发小反照率(α=0.14)	GISS	(7月)+2.0
多蒸发高反照率(α=0.35)	GISS	(7月)+1.0
无蒸发高反照率(α=0.35)	GISS	(7月)-1.0~-2.0
青藏地形(有山与无山)	OSU	(8月)+1.0~+2.0

* 降水率差值指敏感试验减控制试验的差值;青藏地形试验的降水率差值指有山试验减无山试验的差值。

遗憾的是,一些模拟北太平洋海温试验没有给出降水分布,因而对华北地区的影响尚且无法估计。

四、华北、西北旱涝与各物理因子相关分析

利用观测资料来分析各种物理因子与华北、西北地区旱涝的统计相关关系,其中有些结果可与模拟结果对比。

由近 500 年(1525—1988 年)^[13]的历史资料分析中得到发生厄尔尼诺(包括连续一年、二年和三年)共 108 年。分别统计这 108 年华北春季、夏季以及西北的年旱涝指数各级出现的频数,发现在厄尔尼诺年华北春、夏及西北易发生旱涝现象,正常情况较少,相对来说发生干旱的可能性大于涝的可能性(表略)。根据[13]给出历史上发生厄尔尼诺年的可靠度,取可靠度最大的 4 与 5 度,从 1525—1988 年共有 40 次。按出现厄尔尼诺前一年,当年(其中连续两年共 17 次),后一年统计华北春、夏以及西北的年旱涝次数,列于表 3。从表 3 中注意到,西北年旱涝指数和华北春季旱涝指数在厄尔尼诺年易发生偏旱。当然厄尔尼诺年的发生及确定是极为复杂的问题,这里只粗略给出一些简单统计关系。

表 3 可靠厄尔尼诺年对应华北、西北发生旱涝次数

地区		西北年旱涝				华北春旱涝				华北夏旱涝			
旱涝	次数 时间	前一	当年	当年*	后一	前一	当年	当年*	后一	前一	当年	当年*	后一
		涝(1,2级)	11	9	3	11	13	10	0	9	12	17	6
正常(3级)		11	11	2	10	9	9	5	17	12	9	5	10
旱(4,5级)		18	20	12	19	18	21	12	14	16	14	6	17
总和		40	40	17	40	40	40	17	40	40	40	17	40

* 表示连续两年发生厄尔尼诺的第二年

在近 350 年(1641—1983 年)^[14]中大火山活动共 20 次,统计次年华北春、夏与西北年旱涝情况,注意到亦是正常情况较少,易发生旱或涝(见表 4)。

表 4 火山活动(次年)与黄河流域旱涝

地区	次数 级别	1~2	3	4~5
		华北春季	6	5
华北夏季		9	3	8
西北年度		7	3	10

计算各季与年南方涛动指数(1857—1987)^[15]和华北春、夏季与西北年旱涝指数的相关系数,表 5 给出这些相关系数值。满足 5% 信度水平(相关系数为 0.17)的冬季南方涛动指数与华北夏季旱涝指数为负相关。此外春季、年南方涛动指数与华北夏季旱涝指数以及西北年旱涝指数相关也接近 5% 信度水平。即年、冬、春季南方涛动指数强时,华北夏季易出现多水;反之,华北夏季易出现干旱。西北年旱涝与春季南方涛动指数有类似关系。

表 5 南方涛动指数(1857—1987)与黄河流域旱涝相关系数

相 关 地 区	季	冬	春	夏	秋	年
西北年度		0.01	-0.15	0.01	-0.12	-0.09
华北春季		-0.02	-0.12	-0.03	-0.02	-0.05
华北夏季		-0.18	-0.15	-0.10	-0.13	-0.17

表 6 全球积雪与黄河流域旱涝相关系数

欧亚积雪(1967—1989)

相 关 地 区	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
华北春季		-0.07	0.34	0.14	-0.37	-0.01	0.20	-0.01	-0.03	0.38	0.33	0.07	0.11
华北夏季		-0.14	0.21	-0.14	-0.06	-0.36	-0.01	-0.23	-0.19	0.09	-0.28	-0.17	-0.11
西北年度		-0.15	0.06	0.03	0.35	-0.10	-0.04	-0.29	0.08	0.44	-0.03	0.03	-0.12

北美积雪(1967—1989)

相 关 地 区	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
华北春季		-0.41	-0.28	-0.32	-0.40	-0.05	-0.03	-0.04	0.26	0.27	0.40	0.11	-0.09
华北夏季		-0.21	-0.10	-0.14	0.15	0.17	-0.16	-0.18	-0.08	-0.01	0.18	0.12	-0.03
西北年度		-0.28	-0.05	0.01	0.02	-0.23	-0.35	-0.46	-0.14	0.25	0.24	-0.09	-0.17

北冰洋海冰(1973—1989)

相 关 地 区	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
西北年度		0.03	-0.14	-0.18	-0.45	-0.08	0.19	0.42	0.20	0.20	0.02	-0.11	0.21
华北春季		0.04	-0.14	-0.29	0.08	-0.04	-0.03	0.31	0.24	0.18	0.18	0.15	0.26
华北夏季		-0.23	-0.28	-0.34	-0.49	-0.20	0.06	0.58	0.21	0.34	-0.19	-0.18	-0.06

南极区域海冰(1973—1989)

相 关 地 区	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
西北年度		-0.26	-0.53	-0.29	-0.29	-0.14	-0.24	-0.37	0.15	0.17	0.08	0.16	0.38
华北春季		0.42	0.49	0.21	0.46	0.40	0.19	0.16	-0.27	-0.08	-0.37	-0.20	-0.16
华北夏季		-0.41	-0.51	-0.23	-0.10	-0.04	-0.06	0.16	0.39	0.25	0.20	0.30	0.28

分别计算欧亚、北美积雪(1967—1989年)*, 北冰洋与南极区域海冰(1973—1989

年)*与华北春、夏、西北年旱涝指数相关,给在表6中。序列长度为23年与17年时满足5%信度标准的相关系数应是0.40与0.47。从表6中注意到达到信度标准的有华北春季旱涝与10月(0.40),1月(-0.41),4月(-0.40)北美积雪以及2月(0.49)南极海冰相关明显;华北夏季旱涝与4月(-0.49),7月(0.58)北冰洋海冰以及2月(-0.51)南极海冰相关明显;西北年旱涝则与9月(0.44)欧亚积雪,7月北美积雪(-0.46)相关显著。

五、结论与讨论

从建立的黄河流域华北春、夏与西北年旱涝指数近500年长序列的分析注意到近百年来我国华北、西北变干的趋势。几个全球三维环流模式对各种物理因子的敏感试验结果以及从观测资料做相关计算的结果表明,影响黄河流域旱涝的因子是多方面的,其中,赤道东太平洋海温,中高纬度的冰雪,轨道参数变化及下垫面的状况更是不容忽视的因子。

分析表明,全球气候模式具有对气候变化的模拟能力^[14]。同时作者的另一研究中注意到^[16],上述选用的各种气候模式控制试验所模拟的夏季降水在中国地区的分布与观测场对比大致相近。因而各种模式的敏感试验在中国地区还是有一定意义的。但是限于模式的目前水平,特别在模拟局部区域上的弱点,因而文中表2所给的各种数值结果只具有参考意义。随着模式的改进以及计算机的发展,将会得到更有益的结果。

感 谢

本工作是在国家自然科学基金“长江黄河旱涝的长期预报”项目以及国家气象局“长期数值预报”项目资助下完成的,在此表示感谢。

作者由衷感谢 C. F. Ropelewski(NMC, NOAA, 美国)提供了各月全球冰雪资料并感谢衣育红等(北京大学)提供 NCAR 绘图程序在 VAX 机上工作。

参 考 文 献

- [1] Wang Shao-wu and Zhao Zong-ci, Droughts and floods in China, 1470—1979. Climate and History, Cambridge University Press, 1981.
- [2] 赵宗慈、王绍武,华北春季干旱及发展,北方天气文集,北大出版社,5,1984.
- [3] 张家诚,二氧化碳的气候效应与华北干旱问题,气象,3,3—9,1989.
- [4] 中国近五百年旱涝分布图集,中央气象局气象科学研究所主编,地图出版社,1981年.
- [5] 赵宗慈,全球三维环流模式模拟短期气候变化的能力,气象科技,2,1989.
- [6] Keshavamurty, R. N., Response of the atmosphere to sea-surface temperature anomalies over the equatorial Pacific and the teleconnection of the southern oscillation. *J. Atmos. Sci.*, 39, 1241—1259, 1982.
- [7] Washington, W. M., R. M. Chervin and G. V. Rao, Effects of a variety of India ocean surface temperature anomaly patterns on the summer monsoon circulation: Experiments with the NCAR general circulation model. *Pure and Applied Geophysics*, 115, 1335—1356, 1977.
- [8] Manabe, S. and A. J. Broccoli, A comparison of climate model sensitivity with data from the last glacial maximum. *J. Atmos. Sci.*, 42, 2643—2651, 1985b.

* 积雪与海冰资料由 C. F. Ropelewski(NMC, NOAA)提供。

- [9] Kutzbach, J. E. and R. G. Gallimore, Sensitivity of a coupled atmosphere/mixed-layer ocean model to changes in orbital forcing at 9000 years B. P., *J. Geophys. Res.*, **93**, 803—821, 1988.
- [10] 赵宗慈, 模拟温室效应对我国气候变化的影响, *气象*, 3, 1989.
- [11] Charney, J. G., Dynamics of deserts and drought in the Sahel, *Q. J. R. M. Soc.*, **101**, 193—202, 1975.
- [12] Gates, W. L., The effects of large-scale mountains on the atmospheric general circulation and climate with special reference to Eastern Asia, Climate Research Institute, Report 50, OSU, US, 1984.
- [13] Quinn, W. H. and V. T. Neal, EL Nino occurrences over the past four and a half centuries, *J. Geophys. Res.*, **92**, 14449—14461, 1987.
- [14] Bradley, R. S. and P. D. Jones, Data bases for isolating the effects of the increasing CO₂ concentration, 1985.
- [15] 石伟, 王绍武, 1857—1987年南方涛动指数, *气象*, 5, 29—33, 1989.
- [16] 赵宗慈, 气候模式在中国部分模拟能力的评估, *气象* (待发表).

ANALYSES AND SIMULATIONS FOR THE PHYSICAL REASONS OF DROUGHT AND FLOOD IN THE YELLOW RIVER VALLEY

Zhao Zongci

(Academy of Meteorological Science, SMA)

Abstract

The evolution of drought and flood in the Yellow River Valley for the last 500 years has been analysed. Sensitivity experiments as simulated by several famous GCMs to examine the influences of the physical factors on the climatic change in north China have been summarized. Statistic correlation analysis between the drought and flood in the Yellow River Valley and some physical factors for the observed data have been calculated.