

丰满流域汛期降水变化特征分析

高峰^{1,2}, 孙力², 苏丽欣^{2,3}, 刘实^{2,3}, 沈柏竹^{2,3}

(1. 吉林省气象科技服务中心, 吉林 长春 130062; 2. 中高纬度环流系统与东亚季风研究开放实验室, 吉林 长春 130062; 3. 吉林省气象科学研究所, 吉林 长春 130062)

摘要: 利用丰满流域水文站 1936~2008 年降水资料、1948~2008 年美国国家环境预报中心(NCEP)再分析资料, 通过线性趋势分析、小波分析、M-K 检验分析和最大熵谱分析对该流域汛期降水量变化特征进行了分析。结果表明: 丰满流域汛期降水量与年降水量均呈减少趋势, 特别是近 20 a 和 30 a 降水量减少较明显, 汛期降水量下降趋势倾向值在 1989~2008 年达到 -39.2mm/10a; 年降水量下降倾向值在 1979~2008 年达到 -26.5mm/10a, 汛期降水量的减少较年降水量减少的明显。汛期 6 月、7 月降水量下降的不明显, 8 月、9 月降水量减少相对明显。最大熵谱分析和 Morlet 小波分析结果表明, 丰满流域汛期降水量的周期变化存在着一个 8~9 a 左右的降水相对短周期和一个 28 a 的降水长周期; 利用 1948~2008 年 NCEP 再分析资料对多雨、少雨的 7 月、8 月 200 hPa、700 hPa 环流形势场、850 hPa 风场进行了分析, 以分析流域汛期降水减少的可能原因。丰满流域降水减少的可能原因是汛期影响该流域的台风次数减少、冷涡影响天数的减少, 副高偏南、偏西不利于水汽向北输送和南支系统北上的影响。

关键词: 周期; 降水; 特征; 丰满流域

中图分类号: P426

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2012)10-1282-07

丰满水库位于吉林省境内的第二松花江上游, 始建于 1937 年, 1943 年第一台机组发电, 1998 年总装机容量达到 $100.25 \times 10^4 \text{ kW}$, 成为百万千瓦级的全调峰电厂。是东北电网骨干电站之一, 也是中国东北地区最大的水库; 最大蓄水量达到 $107.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。丰满水库流域面积达 $23\,500 \text{ km}^2$, 水库库区面积 554 km^2 , 水库水位高度 266.5 m。丰满流域年平均降水量 500~1000 mm, 降水集中在 6~9 月, 平均降水量 300~800 mm, 占全年降水量的 70% 以上, 且年际变化较大^[1-3], 有连续多雨和少雨的交替现象^[4-11]。丰满流域也是东北洪涝灾害频发的地区, 每隔几年就有一场中等洪水或大水^[12-16], 既要利用丰满水库拦洪, 减轻松花江下游的洪水灾害, 发挥防洪作用, 减小洪水给流域内省区经济社会发展和人民群众生命财产带来严重威胁, 同时又要发挥其具有的灌溉、发电、航运、水产、旅游等多种经济意义的大型水利工程的作用^[17, 18]; 因此分析和研究丰满水库流域降水的变化特征, 对合理利用水资源有一定的指导意义。

1 资料与方法

1.1 资料选取

本文分析采用的资料有: 1948~2008 年 200 hPa、700 hPa、850 hPa 高度场、风场 NCEP 再分析月平均资料; 1951~2008 年副热带高压指数资料; 1936~2008 年丰满流域水文站资料(丰满、蛟河、退团、桦树、民立、横道子、常山、五道沟、东丰、柳河、样子哨、磐石、辉发城、三源浦 14 个水文站)。为保证资料的有效性, 将丰满流域降水资料与同流域的气象观测站(蛟河、东丰、梅河口、柳河、桦甸、辉南、磐石)1961~2008 年的时间序列资料进行相关分析, 结果表明, 气象观测站降水资料与丰满流域降水资料的相关系数达到 0.92, 通过 0.001 显著性检验, 说明丰满流域水文站降水资料能准确地反映流域的降水变化(图 1)。根据降水的分布和水库调度, 将汛期定为 6~9 月。

1.2 研究方法

本文用研究气象要素在长期气候变化中升降

收稿日期: 2012-01-05; **修订日期:** 2012-01-30

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41175083)资助。

作者简介: 高峰(1959-), 女, 吉林长春人, 高级工程师, 主要研究方向为应用气象及气象服务。E-mail: gaofeng585985@126.com

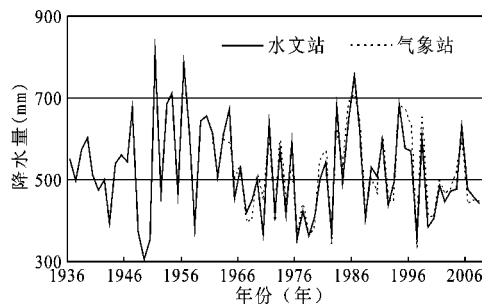


图1 丰满流域水文站与气象站汛期降水量

Fig.1 Precipitation of hydrologic and meteorological stations over Fengman basin in flood season

的定量程度,计算其线性趋势^[19]。用 x_i 表示样本量为 n 的某一气候变量,用 t_i 表示 x_i 所对应的时间,建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归:

$$\hat{x}_i = a + bt_i \quad (i=1,2,\cdots,n) \quad (1)$$

式(1)中 a 为回归常数, b 为回归系数(即倾向值)。

为研究丰满流域降水周期性,采用小波分析方法^[20,21]。小波分析是在Fouier变换的基础上引入窗口函数,其变换公式为:

$$W_f(t_0, a) = |a|^{-1/2} \int f(t) g\left(\frac{t-t_0}{a}\right) dt \quad (2)$$

式(2)中, t_0 是平移因子,表示波动在时间上的平移,其变化范围是 $0 \sim n$; a 称为尺度参数,反映了小波的周期长度, $1/a$ 相当于频率, $g(t)$ 为小波函数。另外,还采用了文献[21]中的分析方法。

2 降水的时间分布特征

2.1 降水趋势倾向分析

表1是丰满流域各月、汛期、年降水趋势倾向,计算了1936~2008年、1939~2008年每10 a的降水趋势。从各月的降水趋势看,6月降水趋势在1979~2008年下降趋势达到最大值,其值为 -9.6 mm/10a ; 7月降水在1989~2008年下降趋势达到最大,其值为 -25.4 mm/10a ; 8月降水在20世纪70年代以前呈下降趋势,近40 a均呈上升趋势; 9月近10 a的降水趋势是上升的,其它各年代际均呈下降趋势,而且在1989~2008年20 a趋势中下降最明显,达到 -17.7 mm/10a ; 汛期降水趋势除在1969~2008年和1999~2008年是上升外,其它各年代际均呈下降趋势,在1989~2008年趋势下降最明显,达到 -39.2 mm/10a ; 年降水趋势分布与汛期趋势分布基本相同,在1979~2008年降水下降最明显,达到 -26.5 mm/10a 。

表1 丰满流域降水趋势倾向值(mm/10a)

Table 1 The precipitation trends tend value in Fengman basin (mm/10a)

时间(年)	6月	7月	8月	9月	6~9月	年
1936~2008	-0.3	1.4	-1.7	-5.9	-6.9	-9.3
1939~2008	-0.8	0.3	-1.2	-5.4	-7	-9.2
1949~2008	-0.6	-0.5	-1.8	-3.5	-6.3	-9
1959~2008	2.4	-0.5	-5.5	-7.2	-10.8	-9.9
1969~2008	-3.1	0.51	0.6	-5.6	2.5	1.8
1979~2008	-9.6	-5.7	1.1	-9.9	-24	-26.5
1989~2008	-2.1	-25.4	5.7	-17.7	-39.2	-20.9
1999~2008	-0.6	6.3	0.4	2.4	8.6	10.4

2.2 汛期降水特征

从丰满流域汛期(6~9月)降水变化(图2a)和汛期累积降水距平百分率(图2b)的变化情况看,有2个多雨期,3个少雨期。第一个多雨期从20世纪40年代中后期开始到60年代中期,曲线处于上升阶段,汛期降水距平百分率达到最大值;第二个多雨期出现在80年代初期到90年代中期,曲线表现为上升和维持基本不变。第一个少雨期出现在20世纪50年代以前,曲线呈下降趋势,且累积降水距平百分率达到最低值 -70% ,第二个少雨期出现在60年代中期到80年代初,少雨强度不如第一个少雨期明显;从90年代中后期开始降水呈现下降趋势。汛期降水的最大值与最小值都出现在20世纪60年代以前,80年代以后降水波动幅度减小。

3 降水量的时频特征

3.1 最大熵谱分析

对1936~2008年丰满流域汛期降水量进行了最大熵谱分析(图3)。从分析结果可以看出:丰满流域汛期降水量存在着9 a左右和28 a左右的准周期。

3.2 Morlet小波分析

取Morlet小波作为母函数,对1936~2008年丰满流域的年 and 汛期降水量进行小波分析(图4)。从丰满流域年降水量Morlet小波分析图可以看出:1936~2008年丰满流域年、汛期降水量存在着8~9 a左右的短周期和28 a的长周期,这与前文最大熵谱分析的结果是一致的。

3.3 突变分析

采用Yamamoto的气候突变分析方法^[21]对丰满流域年平均和汛期平均降水量的分析显示,

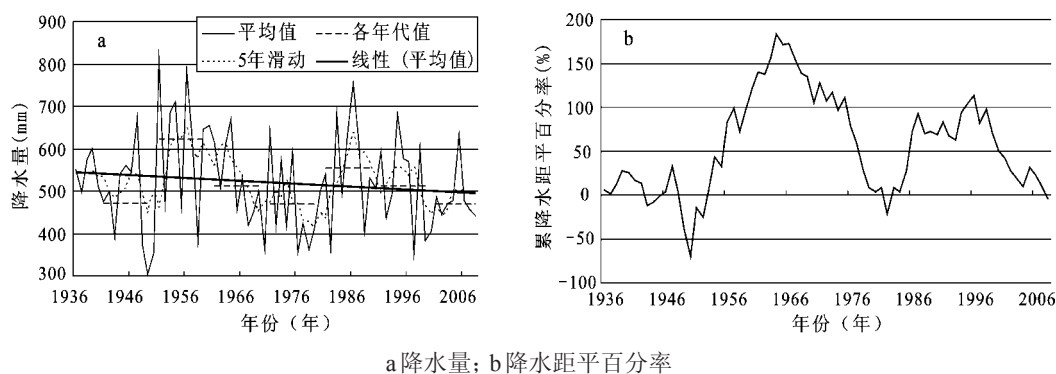


图 2 1936~2008 年丰满流域汛期降水变化

Fig.2 The variation of precipitation over Fengman basin in flood season from 1936 to 2008

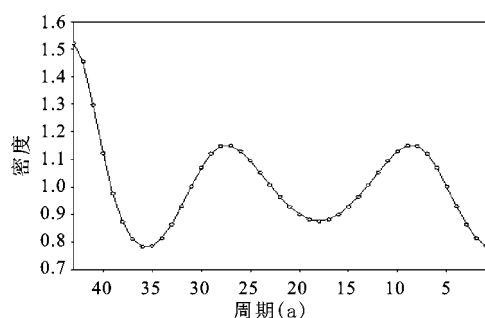


图 3 1936~2008 年丰满流域汛期降水量最大熵谱分析

Fig.3 Maximum entropy spectral analysis of precipitation over Fengman basin in flood season from 1936 to 2008

1936~2008 年两者均未出现气候突变(图略)。

4 天气尺度环流背景分析

丰满流域汛期降水的多少对水库水位变化及水库调度有直接影响,因此根据需要把月降水量减去月多年平均降水量与月多年平均降水量之比 $\geq 50\%$ 定义为多雨, $< 50\%$ 为少雨(表略)。降水的

多少必然伴有相应的环流背景,本文用多雨(少雨)平均场与多年平均场之差计算距平场,对主汛期 7、8 月多雨、少雨 200 hPa、700 hPa 距平高度场和 850 hPa 距平风场进行分析。

4.1 多雨的高空环流背景

7 月 200 hPa 高度距平场(图 5a)显示,欧亚大陆受正距平控制,正距平中心位于吉林省北部,说明在吉林省的上空存在一个强大的辐散区,对降水十分有利。在 700 hPa 高度距平场(图 5b),在 130°E 以东是正距平区,以西是负距平区,负距平中心位于贝加尔湖南部,由于负距平范围广,易生成影响系统,受东部高压阻挡易产生降水,配合 850 hPa 高度上的风场(图 5c)在 110°E 到 125°E 之间有一支由南向北的低空急流带向北输送着南方的水汽造成丰满流域降水偏多。

8 月 200 hPa 高度距平场(图略)在 40°N 以南为负距平区, 40°N 以北为正距平区,吉林省的东北部存在一个正距平区,强度比较强,在东南部是负

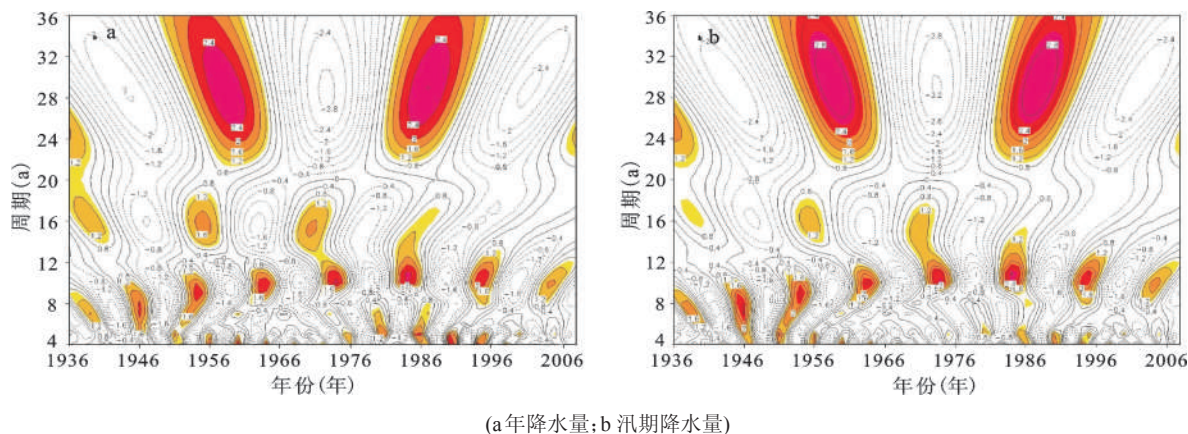


图 4 1936~2008 年丰满流域降水量 Morlet 小波分析

Fig. 4 Morlet wavelet analysis of precipitation over Fengman basin from 1936 to 2008

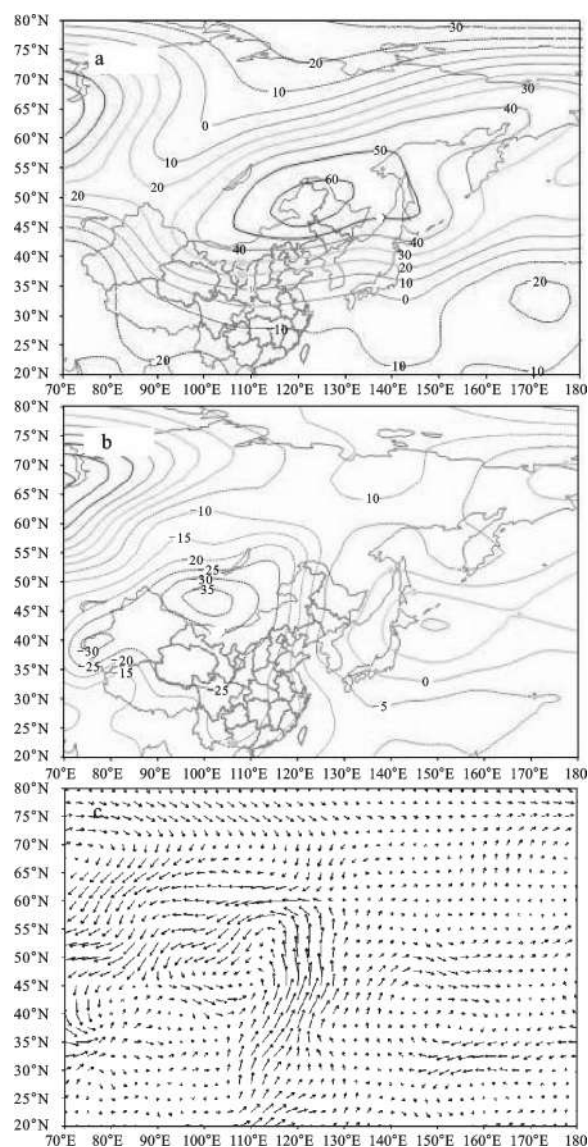


图5 多雨年高空环流形势高度距平场(a: 200hPa; b: 700hPa; 单位: 位势什米)和距平风场(c: 850hPa)

Fig.5 Anomalies of geopotential height (a:200 hPa; b:700 hPa; unit:dagpm) and wind field (c: 850hPa) during rainy years

距平区,这种结构也有利于吉林省的降水天气发生。在700 hPa高度上存在2个负距平中心,一个位于贝加尔湖南部,另一个位于日本海东部,正距平区位于堪加察半岛附近,吉林省位于负距平区内,配合850 hPa高度上从南向东北偏的低空急流,造成该流域降雨偏多。

4.2 少雨的高空环流背景

7月200 hPa高度距平场在欧亚大陆同样受正距平控制(图6a),正距平中心位于日本海的东部地区,强度相对较弱,在700 hPa高度距平场(图6b)正距平区呈西北东南向带状分布,负距平与正

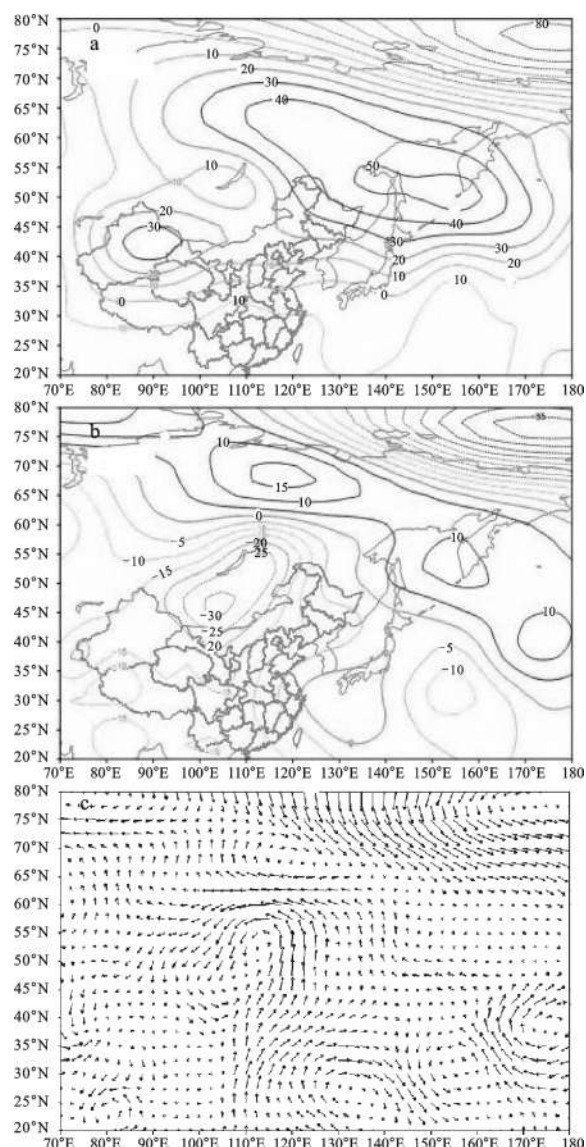


图6 少雨年高空环流形势高度距平场(a: 200hPa; b: 700hPa)和距平风场(c: 850hPa)

Fig.6 Anomalies of geopotential height (a:200 hPa b:700 hPa) and wind field (c: 850hPa) during rainless years

距平有同样的分布,区域比正距平区范围广;850 hPa高度上急流位于40°N以南,该流域没有明显的西南急流,不利水汽向东北方向输送。

8月200 hPa高度距平场(图略)呈南北向分布,强度相对较弱,700 hPa高度上负距平中心有两个,一个位于贝加尔湖南部,另一个位于日本海东部,该流域位于弱的正距平区内。

5 丰满流域汛期降水与影响系统分析

丰满流域汛期降水呈现下降趋势,与大尺度环流形势有一定的关系,本文重点分析影响丰满

汛期降水的副热带高压及影响系统的变化。

5.1 副热带高压的变化

图 7a、7b、7c 是 1951~2008 年汛期副高脊线指数、副高北界指数、副高西伸点指数变化图。从图中可以看到, 3 个指数均呈下降趋势, 副高脊线指数 1951~2008 年的趋势值为 $-0.1^{\circ}/10a$, 副高北界指数的趋势值为 $-0.19^{\circ}/10a$, 副高西伸点指数的趋势值为 $-0.76^{\circ}/10a$, 说明副高脊线和副高北界的位置偏南、副高脊线西伸点的位置呈自东向西偏移趋势, 从以上 3 个指数配置情况看, 说明副高的位置呈偏南、偏西发展趋势, 由于副高位置偏南, 沿副高边缘向北输送的水汽到达的北界也偏南, 由于丰满流域处在 $40^{\circ}N$ 以北地区, 不利于丰满流域产生副高边缘的降水, 致使丰满流域汛期降水呈下降趋势。

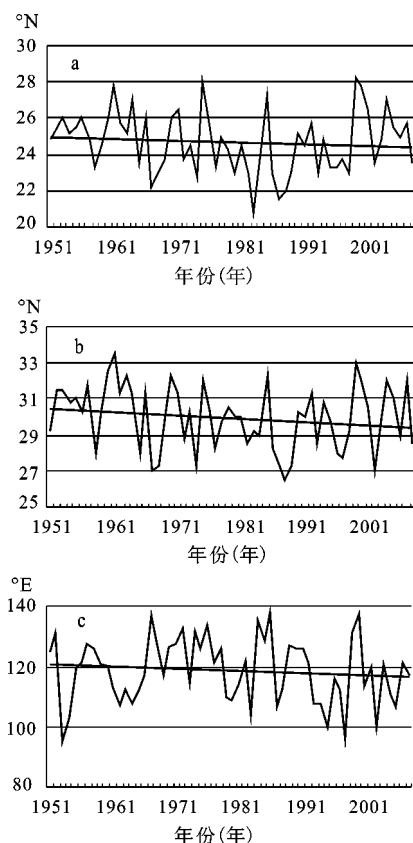


图 7 1951~2008 年丰满流域副高指数变化曲线及趋势

(a:副高脊线指数;b:副高北界指数;c:副高西伸指数)

Fig.7 Change and trend of subtropical high index from 1951 to 2008
(a:charts a Index of subtropical high ridge; b: Index of the northern of the subtropical high; c: Index of subtropical high extends westward)

5.2 东北冷涡的变化

东北冷涡是东北地区的主要天气系统之一, 具有持续时间长、降水强度大, 降水分布不均的特

点, 对丰满流域的降水有直接影响。图 8 是 1951 年至 2008 年东北冷涡出现天数变化图。从图 8 中可以看到, 东北冷涡出现天数最多的时段在 20 世纪 50 年代中期到 60 年代, 最多天数出现在 1957 年, 达到 68 d, 最少天数出现在 2008 年, 只有 19 d; 东北冷涡影响天数呈下降趋势。1951~2008 年降水趋势值达到 $-1.27 d/10a$, 1979~2008 年降水趋势值达到 $-4.48 d/10a$, 与丰满流域降水趋势有较好的一致性; 对丰满流域降水与东北冷涡出现天数进行同期相关分析, 相关系数为 0.36, 通过了 0.05 的检验。说明丰满流域降水减少与冷涡天数减少有一定的关系。

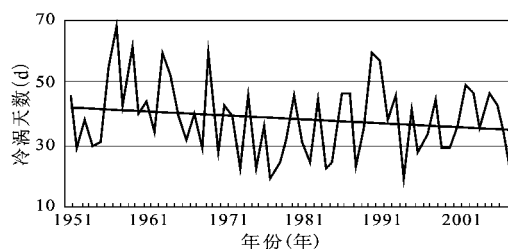


图 8 1951~2008 年东北冷涡影响天数及趋势

Fig.8 The number and trend of effect days of Northeast cold vortex from 1951 to 2008

5.3 台风的影响

台风水汽充足, 产生暴雨和大暴雨的天气过程经常发生, 是丰满流域产生降水的主要天气系统之一, 本文统计了 1951~2008 年台风直接影响或间接影响该流域产生的降水过程次数(图略)。在 58 a 中平均每年约有 1 个台风影响, 都发生在 20 世纪 90 年代以前, 进入 21 世纪丰满流域没有受台风影响产生的降水; 在各年代际中, 20 世纪 50 年代是丰满流域降水最多时期, 也是台风影响最多时期, 共有 12 个台风直接或间接影响; 20 世纪 80 年代也是丰满流域降水较多的时期, 共有 13 个台风直接或间接影响, 20 世纪 70 年代和 21 世纪的 8 a 中, 丰满流域降水相对较少, 也是台风影响相对较少时间, 20 世纪 70 年代共有 6 个台风直接或间接影响, 而 21 世纪的 8 a 中, 该流域没有受台风影响产生的降水。

6 结 论

1) 丰满流域汛期降水趋势倾向呈下降趋势, 1989~2008 年达到最大, 其值为 $-39.2 mm/10a$; 年降水趋势倾向值在 1979~2008 年下降达到最大, 其

值为 $-26.5\text{ mm}/10\text{ a}$,汛期降水量的减少较年降水量减少的明显。

2) 丰满流域汛期和年降水量的周期变化具有较好的一致性,同样存在着一个8~9 a左右的降水相对短周期和一个28 a的降水长周期。

3) 多雨的环流形势在200 hPa高度上欧亚大陆受正距平控制,正距平中心位于吉林省的北部,说明在吉林省的上空存在一个强大的辐散区,对降水十分有利。在700 hPa高度上,吉林省的东部是正距平区,在以西是负距平区,负距平中心位于贝加尔湖南部,由于负距平范围广,强度强,生成的低值系统,受东部高压的阻挡配合850 hPa高度上在吉林省南部有一支由南向北的低空急流带向北输送着南方的水汽造成该流域多雨。

4) 少雨的环流形势是200 hPa正距平中心位于日本海的东部地区,强度相对较弱;在700 hPa高度距平场正距平区呈西北东南向带状分布,正距平区范围广;850 hPa高度上急流位于 40°N 以南,该流域没有明显的西南急流,不利水汽向东北方向输送。

5) 造成丰满流域汛期降水减少的可能原因是东北冷涡影响天数减少,特别是近20 a东北冷涡影响天数明显减少,其趋势值达到 $-4.48\text{ d}/10\text{ a}$;台风影响个数也在减少,在20世纪80年代以前,平均每年有1~2个台风直接或间接影响该流域,80年代以后平均每年不到1个台风影响,特别是21世纪初的8 a中,台风没有影响该流域;副高脊线指数、副高北界指数和副高西伸指数均呈下降趋势,说明副高位置偏南、偏西,不利于水汽向北输送和南支系统北上影响该流域。丰满流域降水减少的机制还需作进一步的研究。

致 谢: 本文写作过程中得到廉毅先生的悉心指导,在此谨表感谢!

参考文献:

- [1] 唐 蕴,王 浩,严登华,等.近50年来东北地区降水的时空变异研究[J].地理科学,2005,25(2): 172~176.
- [2] 孙 力,安 刚,廉 毅,等.中国东北地区夏季旱涝的大尺度环流异常特征[J].气候与环境研究,2002,7(1):103~113.
- [3] 廉 毅,沈柏竹,高枫亭,等.中国气候过渡带干旱化发展趋势与东亚夏季风、极涡活动相关研究[J].气象学报,2005,63(5):740~749.
- [4] 孙 力.中国东北地区空中水资源的时空分布特征[J].地理科学,2007,27(增刊):2~9.
- [5] 王富强,许士国. ENOS事件对松花江流域夏季降水影响[J].华北水利水电学院学报,2009,30(1),1~4.
- [6] 董满宇,吴正方.近50年吉林省气温和降水变化趋势分析[J].东北师范大学学报,2007,39(3):114~119.
- [7] 廉 毅.北太平洋涛动与东亚夏季风的相关研究[J].地理科学,2007,27(增刊):19~27.864~868.
- [8] 唐 蕴,王 浩,严登华,等.嫩江流域近45年来径流演变规律研究[J].地理科学,2009,29(6):864~868.
- [9] 王东海,钟水新,刘 英,等.东北暴雨研究[J].地球科学进展,2007,22(6):549~560.
- [10] 高枫亭.东北地区大气水汽输送与收支[J].地理科学,2007,27(增刊):28~38.
- [11] 张 文,张天宇,刘 剑.东北降水过程集中度和集中期时空变化特征[J].南京气象学院学报,2008,31(3):403~410.
- [12] 方勤生.松花江流域丰枯水规律的再认识[J].水利学报,1990,6:28~31.
- [13] 李 帅,白人海,陈 莉.嫩江、松花江流域夏季降水与水位变化分析[J].黑龙江气象,2002,3:7~11.
- [14] 白人海,李 帅,王明洁.松花江、嫩江流域降水异常对水位变化的影响[J].气象,2000,26(10):29~34.
- [15] 张天云,陶诗言,张顺利.1998年嫩江、松花江流域持续性暴雨的环流条件[J].大气科学,2001,25(4):567~756.
- [16] 刘景涛,孟亚里,康 玲,等.1998年嫩江松花江流域大暴雨成因分析[J].气象,2000,26(2):20~24.
- [17] 闫敏华.东北地区器测时期气候变化及地域差异研究[M].北京:科学出版社,2007:214.
- [18] 李 想,李维京,赵振国.我国松花江流域和辽河流域降水的长期变化规律和未来趋势分析[J].应用气象学报,2005,16(2):593~598.
- [19] 丁裕国,江志红.气象数据时间序列信号处理[M].北京:气象出版社,1998:194~201.
- [20] 谢 庄,曹鸿兴.近百余年北京气候变化的小波分析[J].气象学报,2000,58(3):362~369.
- [21] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术(第2版)[M].北京:气象出版社,2007:63~66,71~76.

The Characteristic Analysis of Precipitation Variation in Fengman Basin

GAO Feng^{1,2}, SUN Li², SU Li-xin^{2,3}, LIU Shi^{2,3}, SHEN Bai-zhu^{2,3}

(1. *Jilin Meteorological Science and Technology Service Center, Changchun, Jilin 130062, China*; 2. *Laboratory of Research for Middle-High Latitude Circulation System and East Asian Monsoon, Changchun, Jilin 130062, China*;

3. *Institute of Meteorological Science of Jilin Province, Changchun, Jilin 130062, China*)

Abstract: By use of the precipitation data from hydrological station at Fengman basin in 1936-2008, as well as the reanalysis data from National Center for Environmental Prediction (NCEP) in 1948-2008, the characteristics associated with the precipitation variation in flood season at this basin were discussed by means of linear trend analysis, wavelet analysis, M-K analysis and maximum entropy spectrum analysis. The results show that, both the total amounts of precipitation at flood season and the whole year are decreased with time in Fengman basin, especially in the recent 20 and 30 years. The precipitation at flood season decreases more than the annual precipitation, for the precipitation decrease trend values in flood season reach -39.2 mm/10a from 1989 to 2008, but those of annual precipitation are only -26.5 mm/10a from 1979 to 2008. The total amounts of precipitation decrease sharply in August and September, while little in June and July during flood season. Results from analysis of maximum entropy spectrum and Morlet wavelet show that, there are two kinds of precipitation cycles in flood season at Fengman basin. One is the relative short cycle with eight to nine years, the other is the long cycle with twenty eight years. In order to study the possible reasons about the decrease trend in flood season at Fengman basin, the circulation fields in 200 hPa and 700 hPa, and the wind fields in 850 hPa were analyzed by use of the NCEP data from 1948 to 2008. It shows that, the main reasons about the decrease trend in flood season at Fengman basin are the co-effects of the reduced amounts of Typhoon and the days of cold vortex in Northeast of China affecting this basin, as well as the unfavorable condition for water vapor conveying northwards as the subtropical high is more southerly and westerly than usual, and the northward movement of the weather systems on the south.

Key words: cycle; precipitation; characteristics; Fengman basin