

近 60 年洪泽湖流域汛期降水特征 及其与 EASM 关系

叶正伟^{1,2}

(1. 江苏省环洪泽湖生态农业生物技术重点实验室, 江苏 淮安 223300;
2. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093)

摘要: 洪泽湖流域近 60 a 来汛期降水的综合分析表明, 汛期降水呈现总体增加的趋势, 且未来仍呈增加趋势。汛期降水在 2000 年出现突变, 此后呈现明显增加特征, 是 2000 年来洪涝频繁的主要因素。SPI 旱涝等级显示, 旱涝以 1960 s 波动最为显著, 而 2000 s 以来 SPI 值明显偏高。汛期降水与东亚夏季风(EASM)指数存在 6 a 左右和准 2 a 的共振周期。在 1960~1972 年间的 6 a 左右共振周期上, EASM 越强, 降水越少; 而在 1986~1992 年的 6 a 左右共振周期上, EASM 与汛期降水呈较弱正相关。1996~2004 年间准 2 a 左右的共振周期上, EASM 与汛期降水呈反相关关系。

关 键 词: 洪泽湖流域; 汛期降水; 标准化降水指数; 东亚夏季风

中图分类号: P468.1/7 **文章标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)11-1358-06

受人类活动和全球气候变暖的影响, 强降水事件的频率可能上升, 并导致洪涝风险的增加^[1,2], 了解诱发洪涝的降水变化特征对洪涝风险防范有重要意义。近年来, 洪泽湖流域重大洪涝灾害频发, 1991 年洪涝受灾面积 $453.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 受灾人口 90 万, 总经济损失 340 亿元。2003 年洪涝受灾面积 $267.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 总经济损失 280 亿元^[3,4]。然而, 在气候变暖的背景下, 针对洪泽湖流域降水长序列特性的研究还较缺乏, 且洪泽湖流域受东亚夏季风气候影响显著, 季风系统如何影响汛期流域降水也值得进一步探讨^[5,6]。为掌握流域旱涝变化规律, 有必要对洪泽湖流域降水特性及其与东亚夏季风(East Asia Summer Monsoon, EASM)关系进行分析, 为流域长期防灾减灾提供科学参考。

1 洪泽湖流域概况

洪泽湖位于江苏省, 是中国的第 4 大淡水湖, $33^\circ 06' \sim 33^\circ 40' \text{ N}$ 、 $118^\circ 10' \sim 118^\circ 52' \text{ E}$ 。在 12.5 m 水位时, 水面面积 $2\,069 \text{ km}^2$ (图 1)。洪泽湖南边为

低山丘陵, 北靠废黄河, 东临大运河, 西接岗波状平原。而洪泽湖流域位于淮河中下游, 南注长江, 东贯黄海, 北连沂沭水系, 承接淮河上、中游 $15.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 流域面积的来水^[7]。洪泽湖分别属于淮安、洪泽、盱眙、泗阳和泗洪 5 县市所管辖, 相应流域面积为 $18\,090 \text{ km}^2$ 。洪泽湖流域位于北亚热带与南温带过渡地带的季风气候显著。受太平洋暖湿气流和北方冷空气的影响, 汛期常有集中暴雨和连绵阴雨, 有些年份 6~7 月的梅雨在江淮停滞, 形成长时间、大范围的梅雨降水, 造成洪涝灾害。2007 年末洪泽湖流域地区人口 846 万人, 地区国民生产总值 1 108 亿元^[8]。

2 数据与方法

选取该流域蚌埠、盱眙、淮安和高邮 4 个代表气象站的 1951~2010 年间汛期降水量资料进行分析(图 1), 数据来源于国家气象局。汛期时段选择 6~8 月, 面降水量计算采用平均法, 采用 Mann-Kendall 趋势方法和突变检验方法分析汛期降水变化趋势

收稿日期: 2011-11-22; **修订日期:** 2012-01-23

基金项目: 国家自然科学基金(40801052)、教育部人文社会科学研究一般项目(10YJC790342)、江苏省教育厅高校哲社科学研究(2011SJB790005)、江苏省高校“青蓝工程”项目、江苏省洪泽湖渔业管委会合作项目资助。

作者简介: 叶正伟(1973-), 男, 安徽黄山人, 博士, 副教授, 主要从事水文水资源与自然灾害方面的研究。E-mail: leafyzw@163.com

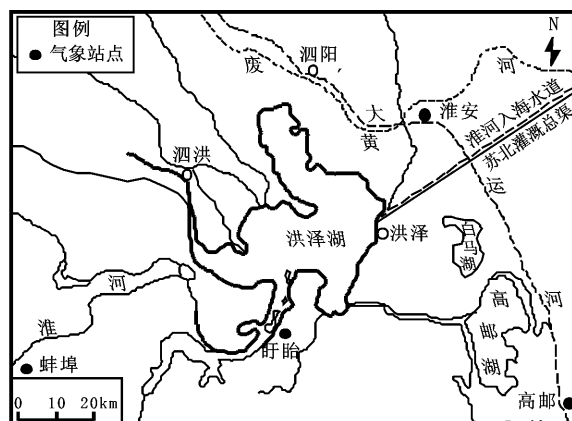


图1 洪泽湖流域地理位置及气象站点分布
Fig. 1 Location of Hongze Lake catchments (HLC) and the meteorological stations

及突变与否,该方法具体步骤请参考文献[8]。同时,采用重标极差 R/S 分形分析方法(Rescaled Range Analysis, R/S)判断未来汛期降水的变化趋势,该方法步骤详见文献[9,10]。应用标准化降水指数(Standardized Precipitation Index, SPI)分析汛期降水的旱涝等级变化,计算方法详见文献[11, 12],标准化降水指数旱涝等级标准的 SPI 值见表 1。采用交叉小波和小波相干方法探讨汛期降水与东亚夏季风强度的关系,方法详见文献[13, 14]。EASM 指数来源于李建平博士主页,网址为: <http://www.lasg.ac.cn/staff/ljp/data-monsoon/EASM.htm>。该指数主要反映东亚夏季风的强弱变化,其核心是基于 1、7 月风场差异而得^[15]。

3 洪泽湖流域汛期降水特征分析

3.1 汛期降水的变化特性

近 60 a 来,洪泽湖流域汛期降水量具有较大的离散性特征(图 2),最大值为 1965 年的 886.6 mm,其次为 2007 年的 850.4 mm 和 1991 年的 836 mm。最小值为 1966 年的 193.4 mm,汛期降水极值

表 1 标准化降水指数的旱涝等级标准

Table 1 Flood and drought grade and its corresponding Standardized Precipitation Index(SPI) value

标准化降水指数(SPI)	旱涝等级	标准化降水指数(SPI)	旱涝等级
<-1.96	极旱	0.5~1.0	微涝
-1.96~-1.48	重旱	1.0~1.48	中涝
-1.48~-1.0	中旱	1.48~1.96	重涝
-1.0~-0.5	微旱	>1.96	极涝
-0.5~0.5	接近正常		

年较差为 693.2 mm,表明汛期降水具有较大的变幅。从汛期降水线性拟合也可以看出,降水呈微弱的增加趋势。而年代际变化上(图 2),1990 s 间年汛期降水量最低,而 2000 s 以来为降水量的年代最高值,年代变化上呈现较明显的增加趋势,较多年平均值偏高 86 mm,且最近 10 a 来中有 6 a 显著高于多年平均值,这与 2000 s 以来洪泽湖流域出现 2003、2005、2006、2007 年较为频繁的洪涝实际是一致的^[12,16]。

但同时也应该看到,1990 s 是汛期降水量最少的时代,却出现 1991 年极端降水而导致洪涝的出现,说明流域降水年际分布的差异显著,表明汛期降水异常偏大是流域洪涝的主要因素。并且,2006 年汛期降水仅为 691.2 mm,但也出现了较严重的洪涝,说明除降水因素外,流域洪涝可能还与近年来人类对地表下垫面性质的改变所产生的负面水文效应有关^[6,17,18]。

同时,从汛期降水量距平及距平累积变化也可以看出(以 1971~2000 年为基准期,图 3),降水距平显著偏大的年份为 1956、1965、1991、2003、2007,以 1965 年最大,而 1966 年降水负距平值最大,可见,1960 s 是汛期降水变幅最大的时代,此间 1965 年出现较为严重的洪涝灾害。距平累积曲线自 2000 年以来,处于一个大幅升高的过程,亦表明

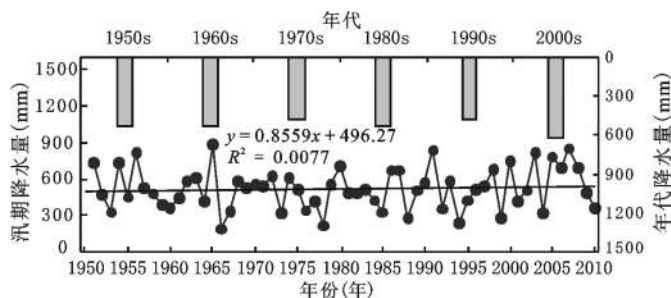


图2 洪泽湖流域汛期降水及其年代变化

Fig. 2 Precipitation in flood season and its decadal change in the HLC

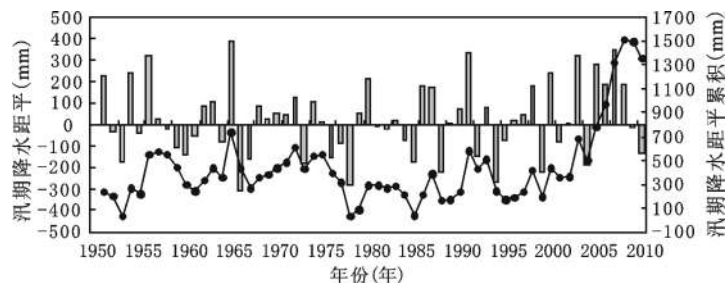


图3 洪泽湖流域汛期降水量距平及距平累积变化

Fig. 3 Precipitation anomalies in flood season and its accumulated change in flood season in the HLC

2000年以来为降水偏多的时代,也反映了2000 s以来降水偏多的事实。

3.2 汛期降水的趋势与周期

汛期降水的Mann-Kendall单调趋势检验 Z 值为0.62,为正值,表明汛期降水呈增加的趋势,但增加趋势不显著,其增加倾向率为 $0.077 \text{ mm}/10 \text{ a}$,幅度偏小。而采用Mann-Kendall突变检验分析流域汛期降水量的突变特征显示(图4a),UF-UB统计量变化曲线在2000年时相交,但位于置信度水平区间以内,表明汛期降水在2000年左右出现突变,也即流域降水出现异常,但并不显著。而UF曲线自2000年后呈显著的上升趋势,表明降水量的增加,说明这一突变过程反映的是降水量由少到多增加的突变,这也反映了前述2000 s较1990 s降水的年代值偏高的变化特征(图2)。这一突变过程很好地说明流域2003、2005、2006和2007年等由于降水偏多而出现严重洪涝的原因。

为分析未来降水变化的可能趋势,采用R/S(图4中 R/S 为 R/S 值)分形分析的汛期降水未来变化趋势(图4b)显示,Hurst指数 H 值为0.518 9,大于0.5,表明汛期降水未来变化趋势与过去降水变化趋势具有持久性和长程记忆效应的联系^[9,10],而近60 a来汛期降水为增加趋势,因此判断,未来汛期降水仍然存在增加的趋势。又由于 H 值接近0.5,

因此未来汛期降水随机增长的态势较为明显,表明在气候变暖的影响下,流域降水量的变化具有较大的不确定性^[16,17]。

周期变化上,汛期降水量变化的Morlet小波分析显示(图5),洪泽湖流域汛期降水的周期存在典型的2~3 a周期变化,均达到0.05的显著性水平。此外,在1960~1963年间还存在一个准6~7 a左右的次周期。2~3 a的周期出现在1960 s的中期以及1990 s末及2000 s初,而1965、2003年的大洪涝和1966、2004年的干旱恰好处于这一变化周期上。

3.3 汛期降水的SPI旱涝变化

旱涝等级划分可以有效分析流域降水的洪涝特征,对洪泽湖流域汛期降水量进行标准化降水指数分析,得到汛期近60 a的SPI旱涝变化过程(图6)。从图6可以看出,洪泽湖汛期旱涝等级波动显著,以1960 s波动最为显著,1980 s波动总体较为平稳但总体偏旱,而2000 s以来SPI值明显偏高,也即洪涝更为频繁和加剧。SPI分析结果显示,中等级以上的洪涝年份为1965、1951、1954、1956、1991、2000、2003、2005、2007年,干旱年份则为1966、1953、1973、1978、1985、1988、1994、1999、2004年,这一结果与洪泽湖流域近年来旱涝实际一致^[3,4]。而对上述典型旱涝年分析可知,1990s以来典型洪涝年为1991、2000、2003、2006、2007年,

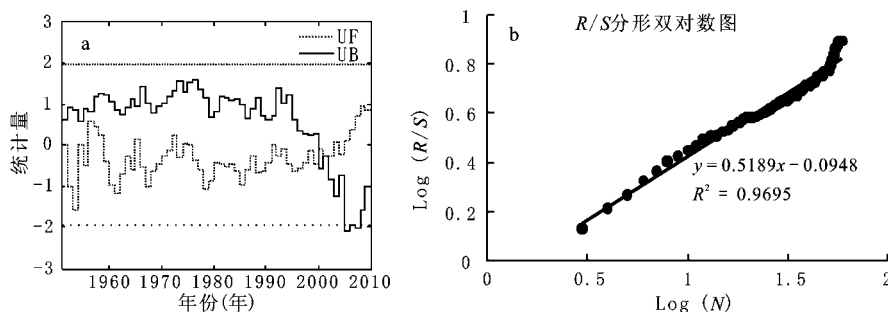


图4 洪泽湖流域汛期降水Mann-Kendall突变检验(a)和未来趋势的R/S分形分析(b)

Fig. 4 Mann-Kendall abrupt change detection(a) and the R/S analysis(b) for flood season precipitation in the HLC

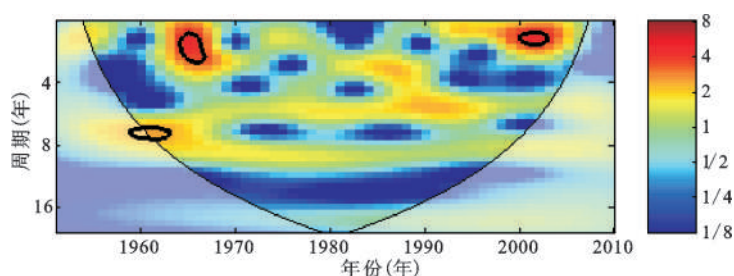


图5 洪泽湖流域汛期降水量的的小波周期分析

Fig. 5 Morlet wavelet analysis of the precipitation in flood season in the HLC

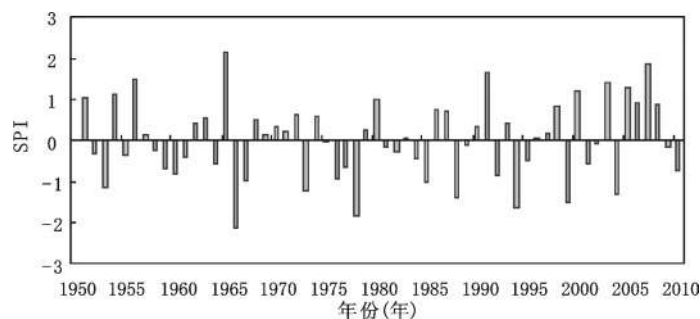


图6 洪泽湖流域汛期降水量 SPI 变化

Fig. 6 SPI value of the precipitation in flood season in the HLC

干旱年份为 1994、1999、2004 年,其旱涝年份约占典型旱涝年份的比例为 45%,这一结果很好地反应 IPCC 第 4 次评估报告和中国气候变化评估报告所指出的 20 世纪 1980 s 末以来降水变异趋大及早涝频率增加的结论,表明洪泽湖流域降水特性的变化显示了全球气候变化下的区域响应^[1,2]。

4 汛期降水与 EASM 关系

EASM 存在不同的波动周期,以 3~6 a 左右振荡周期为主^[17],而前述研究区汛期降水量的变化周期分析中也显示出了较好的类似周期。图 7 即为

EASM 指数与汛期降水量的交叉小波和小波相干图,可以看出,EASM 与汛期降水量在 3~6 a 左右的周期具有较高的谱能量(图 7a),同时还存在 2 a 左右的高能量区,这与已有研究的结果基本一致^[4]。3~6 a 左右的高能量谱区存在于 1980~1991 年间,2 a 左右的高能量谱区位于 1995~2004 年间。

而小波相干分析(图 7b)则更清楚的显示两者的共振周期关系,在交叉小波高能量谱区,具有通过显著性检验的 6 a 左右的共振周期。同时,还在准 2 a 左右的共振周期。

6 a 左右的共振周期主要出现在 1960~1972 年

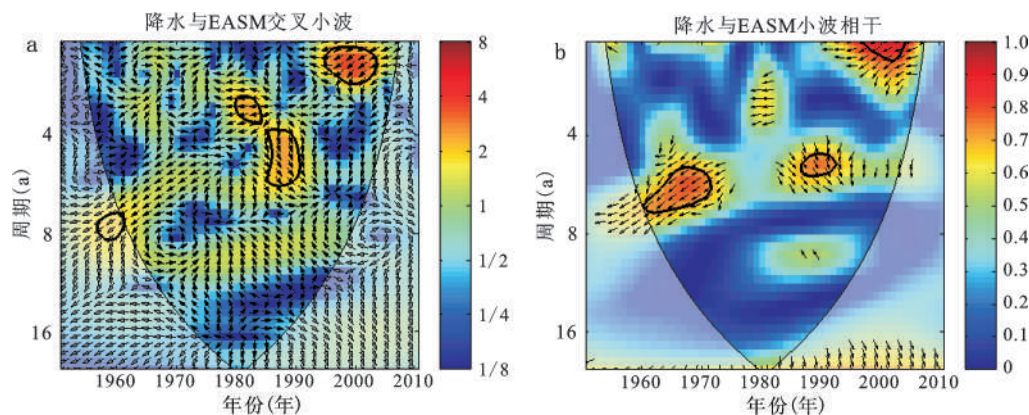


图7 洪泽湖流域汛期降水与东亚夏季风EASM的交叉小波(a)及小波相干(b)分析

Fig. 7 Cross Wavelet (a) and Wavelet Coherence (b) for the EASMI and flood season rainfall in the HLC

间以及1986~1992年左右。在1960~1972年间,EASM与汛期降水趋于反相位关系,也即东亚夏季风越强,降水量趋少。1965年为弱季风(EASM指数为-0.133),汛期SPI值为2.135 1,属于极端洪涝,很好的显示了这种季风与降水的对应关系;在1986~1992年约6 a左右的共振周期上,EASM与汛期降水量趋向于同位相关关系,表明季风与流域汛期降水呈同相正相关关系,但这种相关关系较弱,因而出现1991年中尽管季风为较弱的强夏季风(EASM指数为-0.146),但仍然出现强降水,SPI值为1.653 2。而1988年为显著的弱夏季风(EASM指数为-1.888),汛期SPI值为-1.392 2,出现了中等干旱,也表明这一时期汛期降水同东亚夏季风正相关明显偏弱的特性。

准2 a左右的共振周期出现在1996~2004年间,此共振周期上EASM趋向优于汛期降水量 180° ,能量谱较强,表明东亚夏季风与汛期降水量呈反相位关系,即季风越弱,降水相对偏多。此间2003年弱夏季风(EASM指数为-1.19)却出现强降水洪涝,1999、2004年强季风(EASM指数分别为0.632、0.514)但出现弱降水干旱的事实也说明这一特征。

5 结 论

洪泽湖流域近60 a来汛期降水的综合分析表明,在全球气候变暖的影响下,流域汛期降水呈现总体增加的趋势,但增加趋势不显著,且未来仍然存在增加的趋势。汛期降水年际波动幅度较大,降水量异常是流域旱涝灾害的主要因素。汛期降水在2000年出现突变,表现为降水明显的增加特征,且2000 s是降水量的年代最高值,增加幅度最大,这是2000年来洪涝频繁的主要因素。近60 a来洪泽湖流域旱涝等级呈频繁波动特征,以1960 s波动最为显著,2000 s以来SPI值偏高。中等级以上的旱涝年份与洪泽湖流域近年来旱涝实际一致。

小波相干分析表明,汛期降水与东亚夏季风指数存在6 a左右和准2 a的共振周期。在1960~1972年间6 a共振周期上,东亚夏季风越强,降水趋少,1965年即为弱季风强降水洪涝;而在1986~1992年的6 a共振周期上,EASM与汛期降水呈较弱正相关,1991年尽管季风较弱但仍然出现了强降水洪涝,而1988年弱夏季风则对应于汛期降水

显著偏少的干旱。1996~2004年间准2 a左右的共振周期上,东亚夏季风与汛期降水呈反相关关系,出现2003年弱夏季风但为强降水洪涝以及1999、2004年强季风但弱降水干旱的结果。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policy Makers[M]. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 丁一汇,任国玉,石广玉,等.气候变化国家评估报告(1):中国气候变化的历史和未来趋势[J].气候变化研究进展,2006,2(1):3~8.
- [3] 叶正伟,朱国传.洪泽湖流域洪涝灾害演变趋势及其与El Niño事件关系[J].长江流域资源与环境,2009,18(11):1086~1092.
- [4] 章国材,毕宝贵,鲍媛媛,等.2003年淮河流域强降水大尺度环流特征及成因分析[J].地理研究,2004,23(6):795~804.
- [5] 崔林丽,史军,周伟东.上海极端气温变化特征及其对城市化的响应[J].地理科学,2009,29(1):93~97.
- [6] 叶正伟,许有鹏,徐金涛.江苏里下河地区洪涝灾害演变趋势与成灾机理分析[J].地理科学,2009,29(6):880~885.
- [7] 朱松泉,窦鸿身.洪泽湖[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1993:71~93.
- [8] Mann H B. Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica, 1945, 13: 245~259.
- [9] Hurst H E. Long-term storage capacity of reservoirs[J]. Transactions of the American Society of Civil, 1951, 116: 770~808.
- [10] Mandelbr B B, J R Wallis. Robustness of rescaled range R/S in measurement of noncyclic long run statistical dependence [J]. Water Resources Research, 1969, 5(5): 967~988.
- [11] Lloyd-Hughes B, Saunders M A. A drought climatology for Europe[J]. Int. J. Climatol., 2002, 22: 1571~1592.
- [12] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration of time scales[C]//Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, 1993, January, 17-23, Anaheim CA: 179~186.
- [13] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79: 61~78.
- [14] Grinsted A, Moore J C, Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series[J]. Nonlinear Processes in Geophysics, 2004, 11: 561~566.
- [15] 李建平,曾庆存.一个新的季风指数及其年际变化和与雨量的关系[J].气候与环境研究,2005,10(3):351~365.
- [16] 杨素英,孙凤华,马建中.增暖背景下中国东北地区极端降水事件的演变特征[J].地理科学,2008,28(2):224~228.
- [17] 李子君,李秀彬.近45年来降水变化和人类活动对潮河流域年径流量的影响[J].地理科学,2008,28(6):809~813.
- [18] 于兴修,杨桂山,王瑶.土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向[J].地理科学,2004,24(5):627~633.

Precipitation Change in Flood Season and Its Relationship with EASM in the Hongze Lake Catchments in Recent 60 Years

YE Zheng-wei^{1,2}

(1. *Jiangsu Key Laboratory for Eco-agricultural Biotechnology Around Hongze Lake, Huaian, Jiangsu 223300, China;*
2. *School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China*)

Abstract: The methods of anomaly analysis, Mann-Kendall analysis, Rescaled Range Analysis, Standardized Precipitation Index and the wavelet analysis are applied to detect the characteristics of the precipitation in flood season in the Hongze Lake catchments. Result shows that the precipitation in flood season undergoes an insignificant upward trend in the recent 60 years, and it would continue to be an increasing trend in the near future. Abrupt change of precipitation in flood season occurred in 2000 and it increased greatly in the nearest 10 years which resulted in more flood in 2000s. Result of the Standardized Precipitation Index analysis also confirmed that the 1960s experienced the greatest fluctuations for the precipitation while the 1980s was quite steady and the 2000s had a higher SPI value in general. 1965, 1951, 1954, 1956, 1991, 2000, 2003, 2005 and 2007 are the years in which the SPI value is larger than 1.0, which means a flood year. While in 1966, 1953, 1973, 1978, 1985, 1988, 1994, 1999 and 2004, the SPI value is smaller than -1.0, which implied a drought year accordingly. Wavelet coherence analysis suggests that a syntonetic period of about 2 a and 6 a can be found between East Asia summer monsoon and precipitation in flood season. At period of about 6 a in 1960-1972, it appears to be a stronger monsoon accompanied by less precipitation, but in 1986-1992, it is demonstrated to be a stronger monsoon with more precipitation relatively. The flood year of 1991 and the drought year of 1988 are the typical in phase years. However, at period of about 2 a in 1996-2004, anti-phase between the East Asia summer monsoon and precipitation in flood season resulted in flood year in 2003 and drought year in 1999 and 2004 respectively.

Key words: Hongze Lake catchments; precipitation in flood season; Standardized Precipitation Index(SPI); East Asia summer monsoon (EASM)