

文章编号:1004-8227(2010)12-1392-05

1951 年来洪泽湖流域面雨量变化特征与趋势分析

叶正伟^{1,3}, 李宗花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. 淮阴师范学院计算机科学与技术学院, 江苏 淮安 223300; 3. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093)

摘要:降雨是诱发洪涝灾害的主要因素,降雨特性的研究对流域洪涝风险防范具有重要意义。采用距平分析、Mann-Kendall 检验和重标极差 R/S 分形分析等方法,对 1951 年来洪泽湖流域年面雨量的变化特性和趋势进行分析。结果表明:在气候变暖的影响下,近 58 a 来流域年雨量波动幅度较大,面雨量总体呈现增加的趋势,但增加趋势不显著,面雨量异常时往往导致洪涝发生。在变化阶段上,年面雨量经历了 1950s 到 1970s 的年代际减小和 1980s 以来持续增加的两个阶段,且年雨量在 1965 年和 2003 年左右出现降雨突变异常并导致严重洪涝灾害。Hurst 分形指数为 0.538,表明未来流域年面雨量具有持续性和长程记忆效应,雨量仍然呈增加趋势,并具较大随机性,说明未来降雨变化具有较大的不确定性特征。洪泽湖流域降水变化特性和未来变化趋势的规律认识对流域风险防范具有重要意义。

关键词:降水;洪涝;洪泽湖流域;江苏
文献标识码:A

洪涝灾害及其风险研究是流域安全和可持续发展的重要保证,降水是洪涝灾害发生的主要因素,在全球气候变暖和人类活动的影响下,降水异常事件的频率和变化强度的区域性差异也较大^[1],大部分地区强降水事件发生频率可能上升,并导致洪涝风险增加^[2]。因此,了解诱发洪涝的降水变化特征和趋势对脆弱性地区的可能风险防范具有重要意义。

洪泽湖是淮河中下游的过水性湖泊,是淮河中游、支流与下游河道的联结点^[3,4]。近年来,流域重大洪涝灾害显著增多,灾情严重。1991 年洪泽湖流域洪涝受灾 453.6 万 hm^2 ,成灾 206.3 万 hm^2 ,受灾人口 90 万,总经济损失 340 亿元。2003 年,洪涝受灾 267.6 万 hm^2 ,成灾 159.5 万 hm^2 ,总经济损失 280 亿元^[5~9]。因而,诸多学者对洪泽湖流域历史洪涝灾害特征、洪涝水位变化过程、典型暴雨洪涝成灾机理以及天气系统特性都进行了较为系统的分析^[10~13]。然而,在 20 世纪的变暖背景下,对洪泽湖流域降水长序列的分析研究还较缺乏。为掌握流域降水变化规律,选择流域年面雨量进行分析,对洪泽湖流域降水特性变化过程和未来趋势进行探讨,以期

为流域的长远防灾减灾战略规划提供科学参考。

1 洪泽湖流域概况

洪泽湖是我国第 4 大淡水湖,位于江苏西北部,北纬 $33^{\circ}06' \sim 33^{\circ}40'$,东经 $118^{\circ}10' \sim 118^{\circ}52'$,在 12.5m 水位时,水面面积 2 069 km^2 (图 1)。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 万 km^2 流域面积的来水^[3]。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 km^2 。洪泽湖流域位于北亚热带与南暖温带的过渡地带,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,并常受台风暴雨影响,处在雨量丰沛的南方和干旱少雨的北方的过渡区。有些年份 6~7 月份的梅雨在江淮停滞,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 845.98 万人,地区生产总值 1 107.8 亿元^[6]。

收稿日期:2010-01-16;修回日期:2010-03-31
基金项目:江苏省教育厅自然科学研究计划基金(06KJB170029);江苏省环洪泽湖生态农业生物技术重点实验室开放基金资助项目(HZHL0825)
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net
作者简介:叶正伟(1973~),男,安徽省黄山人,副教授,博士研究生,主要从事水文水资源与洪涝灾害方面的研究。E-mail:leafyzw@163.com

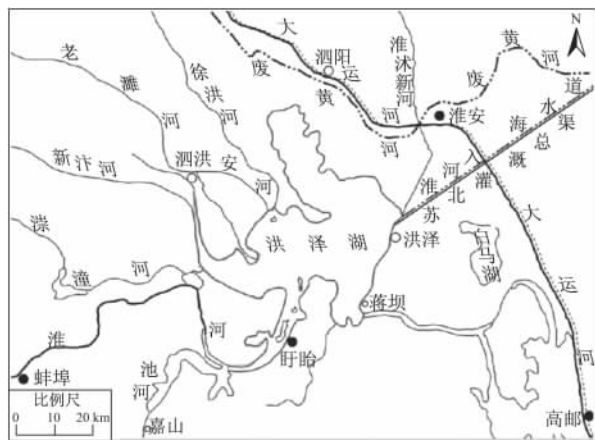


图 1 研究区洪泽湖流域地理位置及水系图

Fig. 1 Location of Hongze Lake Catchment and Its River System

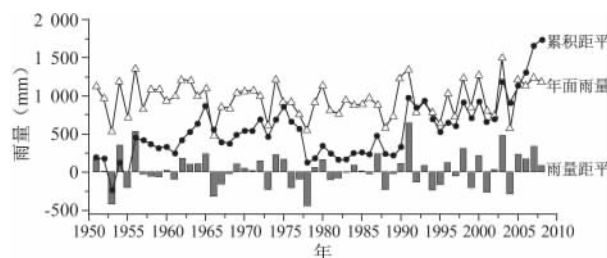
2 数据处理与分析方法

为分析洪泽湖流域降水变化特性,选取流域周边气象站雨量资料进行分析,综合考虑洪泽湖流域水系组成和水量来源,确定选取周边 1951~2008 年间 4 个站点蚌埠、盱眙、淮安和高邮站雨量资料(图 1)。由于 4 站大气降水形势大体一致^[10~12],地形影响较弱,故面雨量采用平均法计算,并据此计算面雨量距平和距平累积值。对年雨量变化趋势采用 Mann-Kendall 非参数趋势检验方法。Mann-Kendall 分析方法是基于秩的非参数检验方法,由于其不要求所分析数据服从某一概率分布,同时也不受个别异常值的干扰,能够客观地表征样本序列的整体变化趋势,且其趋势检测能力与参数趋势检测方法相同,因而广泛应用于气候和水文序列的分析。采用 Mann-Kendall 统计量 U_f-U_b 曲线判断序列是否出现突变以及突变时间,该方法具体步骤请参考文献^[14~16],本文中显著性水平取 0.05,从标准正态分布函数查得 $Z_{1-\alpha/2}$ 值为 1.96^[14~16]。而对年雨量未来趋势的判断则采用重标极差方法 R/S 方法 (Rescaled Range Analysis),该方法通常用来分析时间序列的分形特征和长期记忆过程,最初是由英国水文学家赫斯特于 1951 年在分析尼罗河水文资料时提出的一种时间序列方法^[17,18]。后来,它被应用于各种时间序列的分析之中,其核心过程在于求解 Hurst 指数 H 值,其具体步骤请参考文献^[17,18]。

3 洪泽湖流域面雨量分析

3.1 面雨量总体呈波动上升趋势

以 1961~1990 年作为 58 a 序列的基准期^[2],获得洪泽湖流域面雨量基准期的均值为 942.5 mm,从而计算面雨量距平和距平累积曲线,三者变化曲线见图 2。从图 2 可以看出,洪泽湖流域面雨量的变化总体波动幅度较大,并且 1951~1956 年和 1991 年以来两个时段波动频繁,而 1957~1990 年则属于总体平稳中的波动。1951 年来,雨量最大年份为 1991 年的 1584.4 mm,较基准期偏多 641.9 mm;雨量最小年份为 1978 年的 497.2 mm,较基准期偏少 445.3 mm。而洪泽湖流域面雨量的 Mann-Kendall 非参数单调趋势检验 Z 值为 0.550 1,为正值,说明面雨量表现为上升的趋势,但由于其绝对值小于 1.96,因此拒绝显著性假设,则表明年雨量上升趋势不显著,并且由线性拟合得到流域年雨量的线性增长倾向率为 11.932/10a,表明上升趋势相对较弱,因而可以看出,面雨量总体呈波动上升的趋势。

图 2 洪泽湖流域面雨量、面雨量距平和距平累积曲线
Fig. 2 Areal Rainfall, Anomalies and Cumulate Anomalies of the Areal Precipitation in the Hongze Lake Catchment

1951 年来的 58 a 面雨量中,正距平年份 32 a,负距平年份 26 a,但在 32 a 正距平值中,正距平数大于 300 mm 的年份都出现了较大洪涝灾害,如 1954、1956、1991、2003 和 2007 年^[3~6,8]。图 3 为洪泽湖流域面雨量和洪泽湖代表站蒋坝站年最高水位过程线,可以看出降水正距平显著偏大的面雨量偏多年份往往对应洪泽湖流域洪涝灾害暴发,蒋坝站水位明显偏高,说明雨量异常偏大是流域洪涝灾害的主要因素。然而 2006 年的降水距平仅为 177 mm,但却也出现了较为严重的洪涝灾害,这说明除降水因素外,洪泽湖流域的洪涝灾害可能还与近年来人类围垦活动以及对地表下垫面性质的改变所产生的负面水文效应有关^[19,20],出现同等雨情但洪涝风险加大的形势。这表明人类活动的不利影响正在

加剧流域洪涝灾害的脆弱性程度,导致洪涝风险加大,我国长江流域中下游地区和珠江流域降雨洪涝关系的相关研究也都表现出了这种类似特性^[21~24]。

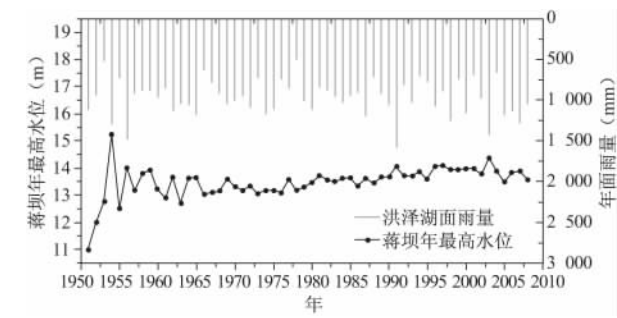


图 3 洪泽湖流域面雨量和蒋坝站年最高水位的过程线

Fig. 3 A Comparison Between Areal Rainfall and the Annual Maximum Water Level in Jiangba Hydrological station

3.2 面雨量的年代际特征

从面雨量变化阶段上来看,距平累积曲线可直观而准确地确定雨量年际变化的阶段性特征,当距平累积值持续增大时,表明该时段内雨量距平持续为正;当距平累积值持续不变,表明该时段距平持续为零即保持平均;当距平累积值持续减小时,表明时段雨量距平持续为负^[15]。结合累积距平变化、面雨量和距平的综合分析(图 2),并从洪泽湖流域年面雨量年代际变化上(图 4)可以看出,洪泽湖流域面雨量经历了从 1950s 到 1970s 间减少的阶段和自 1980s 来持续增加的两大阶段性变化过程,这种变化过程同我国气候变化报告认为 1980s 是我国增暖主要开始阶段的结论较为一致,说明自 1980s 以来雨量增加可能是气候变暖的地区响应结果^[2]。

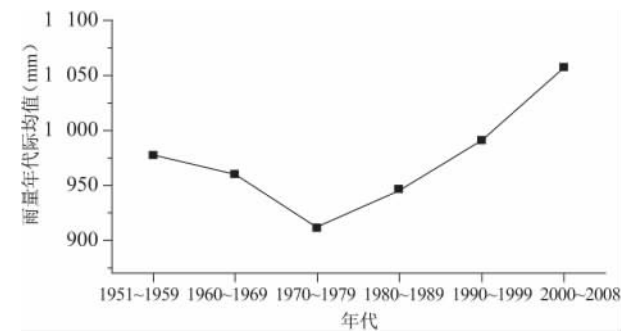


图 4 洪泽湖流域面雨量年代际变化过程

Fig. 4 Average Areal Rainfall of Each Decade Since 1951

从洪泽湖流域年面雨量年代际变化曲线可以看出(图 4),1951~1959 年年降雨量均值为 977.4 mm,较基准期偏多 34.9 mm,属于降水偏多时期,其中 1956 年为近 58 a 的第二高值;到了 1960 s,降雨

量均值为 960.1 mm,较基准期雨量均值偏多 17.6 mm,是一个雨量相对偏多的时段,但累积距平以 1965 年为界,经历了前期增加而后减少的变化趋势,表明前一阶段雨量偏多,而后期相对减少;而在 1970s,降雨量均值为 911.6 mm,较基准期雨量均值减少 30.9 mm,是雨量显著减少的年代,尤其 1978 年雨量为 1951 年的最低值,导致干旱严重,且距平值也反映出 1970s 雨量波动幅度较大的特征,累积距平也总体下降;而 1980s 降雨量均值为 946.5 mm,仅较基准期雨量均值多 4 mm,为一相对平水时段,但较 1970s 雨量均值增加了 34.9 mm,累积距平保持总体平稳的变化局势,并且距平值波动较小;在 1990s 间,降雨量均值为 991.1 mm,较基准期增加 48.6 mm,表明雨量的明显增加趋势,其中 1991 年的面雨量达到了 1951 年来的最高值,因此距平累积也表现为显著增加并波动上升的趋势;自 2000 年以来的 9 a 间,面雨量均值为 1 057 mm,均较基准期偏多 114.5 mm,是年雨量剧增的时段,为 1950s 以来雨量最大的时间段,且距平累积曲线也显示出总体上升的趋势,表明雨量持续偏多。结合 Mann-Kendall 非趋势检验所反映洪泽湖流域年雨量呈增加趋势的结果,说明流域年面雨量总体呈上升的趋势是洪泽湖流域近年来洪涝频繁的大背景条件。流域雨量呈增加趋势的结论同其他学者对淮河流域雨量研究所得结论基本一致^[11,12],这可能是全球变暖的区域响应,说明在气候变暖的影响下,流域雨量的增加可能导致洪泽湖流域洪涝风险脆弱性的增加^[1,2]。

3.3 面雨量的突变分析

1951 年来的年面雨量虽然总体呈增加趋势,但却经历了由多到少和持续增加的变化过程,而洪涝灾害是水文过程对强降水事件的响应,因此洪泽湖流域在近 58 a 中是否出现了降水突变和异常对于防洪减灾具有重要参考意义。图 5 是流域年雨量的 Mann-Kendall 检验 U_f-U_b 曲线,可以看出, U_f 和 U_b 曲线在 1956 年、2003 年时相交,由此可以判断,洪泽湖流域年雨量在 1956 年和 2003 年左右出现了突变,也即流域出现降雨异常。而从洪泽湖流域历史洪涝灾害来看,1956 年和 2003 年都出现了严重的洪涝灾害,年雨量分别为 1 478.3 和 1 424.4 mm,分别较基准期均值偏多 535.8 和 481.9 mm,说明 1956 年和 2003 年年雨量异常偏多,反映的是极端降雨事件。从图 4 也可以看出,自 1956 年以来, U_f 曲线波动较为平稳,以 1978 年为分割,前期波动相

对幅度较大,后期幅度偏小。而 2003 年后,Uf 曲线除 2004 年外,总体在呈上升趋势,说明尤其近年来年面雨量的增加趋势。同时,结合图 2 中雨量距平也可以看出,年雨量在 2000 年以来以正距平偏多,反映了近年来雨量增加的事实。而图 3 中年雨量自 2000 年以来年代均值显著偏大的年代际变化也证明了流域雨量呈增加的趋势。因此,自 2000 年以来,洪泽湖流域降雨显著偏多的特征也很好的说明了该流域 2003、2006 和 2007 年出现严重洪涝灾害的原因。

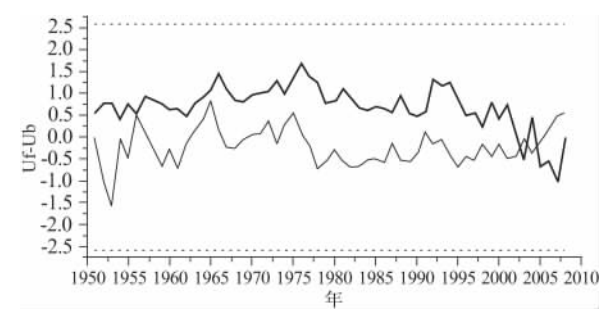


图 5 洪泽湖流域面雨量 Mann-Kendall 统计量 Uf-Ub 曲线 (虚线为 $\alpha=0.01$ 显著性水平临界值)

Fig. 5 Uf-Ub of the Mann-Kendall Statistics for the Areal Rainfall in the Hongze Lake Catchment($\alpha=0.01$)

4 面雨量未来仍呈增加趋势

Mann-Kendall 单调性趋势检验表明,洪泽湖流域年雨量 1951 年以来为不显著的增加趋势,但未来这种增加的趋势是否具有持续性和长程记忆特征,对流域长期风险防范策略的制定具有重要意义。为分析未来雨量变化的可能性,采用重标极差 R/S 分形方法探讨降水未来变化趋势,应用双对数方法求 Hurst 指数 H 值。Hurst 指数 H 值具有以下重要特点^[17,18]: (1) 当 $H=0.5$ 时,表明过去和未来的增量之间不存在任何联系,增量的波动完全是一个随机过程,是呈现正态分布的; (2) $0.5 < H < 1.0$ 时,增量的变化具有持久性效应,如果过去是一直增长的,那么未来也将持续增长态势, H 越接近 1,这种持久性的效应就更加明显, H 越接近 0.5,就出现随机增长的态势; (3) $0 < H < 0.5$ 时,增量间的变化是呈现反持续性效应的,如果过去是增长的,那么未来下降的可能性更大, H 的数值越接近 0,这种反持续性效应越强。

图 6 即为洪泽湖流域年雨量时间序列的 R/S 分形双对数曲线,由线性拟合方程系数可知,Hurst

指数 H 值为 0.538, > 0.5 ,表明年雨量未来变化趋势与过去雨量变化趋势存在联系,并具有持久性和长程记忆效应,而近 58 a 来雨量为不显著的增加趋势,因此判断,未来洪泽湖流域年雨量仍然存在增加的趋势。又由于 H 值 0.538 接近 0.5,因此未来年雨量随机增长的态势较为明显,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,因而洪涝风险防范仍然是流域安全和可持续发展的重要内容,这同洪泽湖和淮河流域相关研究的结论是基本一致的^[11~13]。

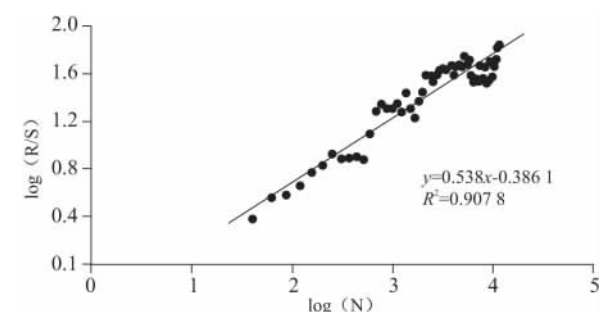


图 6 洪泽湖流域年雨量 R/S 时间序列分形的双对数曲线
Fig. 6 Double Logarithm Graph of the R/S for the Areal Rainfall in the Hongze Lake Catchment

5 结论

降雨量变化特性的认识是流域洪涝风险防范的重要前提,对洪泽湖流域 1951 年来年面雨量的多方法分析表明,流域面雨量呈现总体波动增加的趋势,但增加趋势不显著。年雨量变化波动幅度较大,面雨量异常偏大时洪泽湖流域往往爆发洪涝灾害,且洪涝水位偏高,可见雨量异常偏大是流域洪涝的主要因素。在年代际变化阶段上,流域年雨量经历了从 1950s 到 1970s 减小和自 1980s 以来持续增加的两个主要阶段。Mann-Kendall 统计量 Uf-Ub 曲线表明,年雨量在 1965 年和 2003 年左右出现了降雨异常,导致洪涝严重。洪泽湖面雨量的变化特征说明,在气候变暖背景下,流域面雨量的变化是气候变暖的区域响应,并且雨量的年代际变化也体现了我国自 1980s 开始增暖的总体趋势^[2]。而重标极差 R/S 分形 Hurst 指数也显示,未来流域年面雨量具有正向持续性长程记忆效应,仍然存在增加的趋势,说明未来流域面雨量的变化还具有较大的不确定性。因而,未来洪泽湖流域洪涝灾害的风险也仍然具有较大的随机性和复杂性,对洪泽湖流域降水变

化特性和未来变化趋势规律的认识对洪泽湖流域风险防范和减灾规划具有重要意义。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007. The physical science basis: Summary for policymakers[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] 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.
- [4] 叶正伟, 朱国传, 江波. 过去 100 年来洪泽湖洪涝灾害特性分析[J]. 水利水电技术, 2005, 36(3): 62~65.
- [5] 叶正伟. 洪泽湖流域洪涝灾害的成灾机理分析与探讨[J]. 水文, 2006, 4: 85~87, 42.
- [6] 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): 1 086~1 092.
- [7] 叶正伟. 洪泽湖湿地生态脆弱性的驱动力系统与评价[J]. 水土保持研究, 2008, 15(6): 245~249.
- [8] 姜加虎, 袁静秀, 黄群. 洪泽湖历史洪水分析(1736—1992 年)[J]. 湖泊科学, 1997, 9(3): 231~236.
- [9] 李波, 濮培民. 淮河流域及洪泽湖水质的演变趋势分析[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(1): 67~73.
- [10] 王慧, 王谦谦. 近 49 年来淮河流域降水异常及其环流特征[J]. 气象科学, 2002, 22(2): 149~158.
- [11] 毕宝贵, 矫梅燕, 廖要明, 等. 2003 年淮河流域大洪水的雨情、水情特征分析[J]. 应用气象学报, 2004, 15(6): 681~686.
- [12] 魏凤英, 张婷. 淮河流域夏季降水的振荡特征及其与气候背景的联系[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(10): 1 360~1 374.
- [13] 岑思弦, 巩远发, 王霄. 2007 年夏季淮河流域洪涝与亚洲地区大气低频振荡的关系[J]. 大气科学, 2009, 33(6): 1 286~1 296.
- [14] MANN H B. Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica, 1945, 13: 245~259.
- [15] 陈亚宁, 徐长春, 杨余辉, 等. 新疆水文水资源变化及对区域气候变化的响应[J]. 地理学报, 2009, 64(11): 1 131~1 134.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 69~72.
- [17] HURST H E. Long-term storage capacity of reservoirs[J]. Transactions of the American Society of Civil, 1951: 770~779.
- [18] MANDELBR B B, WALLIS J R. Robustness of rescaled range R/S in measurement of noncyclic long run statistical dependence[J]. Water Resources Research, 1969, 5(5): 967~988.
- [19] 袁雯, 杨凯, 吴建平. 城市化进程中平原河网地区河流结构特征及其分类方法探讨[J]. 地理科学, 2007, 27(3): 401~407.
- [20] 张奇, 李恒鹏, 徐力刚. 西苕溪流域径流过程的模拟[J]. 湖泊科学, 2006, 18(4): 401~406.
- [21] 袁艺, 史培军, 刘颖慧, 等. 土地利用变化对城市洪涝灾害的影响[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 6~13.
- [22] 万荣荣, 杨桂山. 流域土地利用覆被变化的水文效应与洪水响应研究[J]. 湖泊科学, 2004, 16(3): 258~264.
- [23] 高俊峰, 闻余华. 太湖流域土地利用变化对流域产水量的影响[J]. 地理学报, 2002, 57(2): 194~202.
- [24] 陈晓宏, 陈永勤. 珠江三角洲河网水文与地貌特征变异及其成因[J]. 地理学报, 2002, 57(4): 429~436.

CHARACTERISTICS AND TREND OF AREAL PRECIPITATION IN THE HONGZE LAKE CATCHMENT SINCE 1951

YE Zheng-wei^{1,3}, LI Zong-hua²

(1. Jiangsu Key Laboratory for Eco-Agricultural Biotechnology Around Hongze Lake, Huai'an 223300, China;

2. School of Computer Science and Technology, Huaiyin Normal University, Huai'an 223300, China;

3. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The precipitation is the main factor of the flood, thus the characteristics of areal precipitation plays an important role in the flood risk mitigation for a river basin. The method of anomaly analysis, Mann-Kendall test and Rescaled Range Analysis were applied to detect the changing characteristics and the future trend of the areal rainfall in the Hongze Lake catchment. Results show that the areal rainfall fluctuated greatly and underwent an insignificant upward trend in the recent 58 years since 1951. The areal rainfall in the Hongze Lake catchment decreased from 1950s to 1970s firstly, and then increased from 1980s to the present which could be a regional response to the global warming. Climatic jump occurred in 1956 and 2003 which resulted in a big catchments wide flood, indicating that the anomalies of the rainfall might be responsible for the flood in the Hongze Lake catchment. Furthermore, Hurst index of Rescaled Range Analysis is 0.538, which implies that the future tendency will maintain its current upward trend and it may have a random increasing trend demonstrating the uncertainty of the future precipitation. The understanding of the characteristics of precipitation and its future trend may be of great importance for the flood risk reduction in the Hongze Lake catchment.

Key words: precipitation; flood; Hongze Lake catchment; Jiangsu