

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2011.06.003

鄱阳湖水质时空变化及其影响因素分析

李荣¹, 张颖^{2,3}

(1. 东华大学信息科学与技术学院, 上海 201620; 2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 3. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 为研究鄱阳湖水质时空变化规律及其影响因子, 连续多年对鄱阳湖的 TN、TP、NH₄⁺-N、COD、BOD 等水质指标进行监测。运用水质综合模糊评价方法对其水质参数进行分析, 运用污染物通量和 SPSS 软件研究自然因素和人为因素对水质的影响。结果表明: 鄱阳湖区综合水质评价指数枯水期高于丰水期, 平水期介于二者之间; 从 1999 年开始鄱阳湖水质呈逐渐恶化的趋势, 水质优于Ⅲ类的面积由 1999 年的 85.9% 下降至 2006 年 57.8%, 劣于Ⅲ类的面积从 2002 年至 2006 年扩大了近 50 倍; 鄱阳湖区污染物出湖通量明显高于入湖通量, 说明湖周边的污染物是鄱阳湖污染物的重要来源之一; 鄱阳湖水体受人类活动影响大, 水质与各个产业的相关系数均大于 0.807。随着城市人口密度的增大, 生活和生产污水以及工业废水的 78% 直接排入河流最终汇入鄱阳湖, 对鄱阳湖水质造成严重影响。指出应重视工农业生产中对废弃物和废水的排放指标值和排放量的限制, 以及渔业养殖生产中对水质指标值的限制。

关键词: 模糊综合评价法; 时空变化; 污染物通量; 水质; 鄱阳湖

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2011)06-0009-05

Analysis of spatial and temporal variation of water quality and its influencing factors in Poyang Lake

LI Rong-fang¹, ZHANG Ying^{2,3}

(1. School of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering Science, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to study the spatial and temporal variation of water quality and its influencing factors in Poyang Lake, water quality indices including TN, TP, NH₄⁺-N, COD, and BOD were continuously monitored for many years. The fuzzy comprehensive evaluation method was used to analyze the water quality parameters, and the pollutant flux and SPSS software were used to study the influences of natural factors and human factors on water quality. The results show that the water quality comprehensive evaluation index Y was higher in the dry season than in the wet season, and the value in the normal flow season was between those in dry and wet seasons in Poyang Lake. The water quality of Poyang Lake has shown a deteriorating trend since 1999. The area with water quality superior to grade III has decreased from 85.9% in 1999 to 57.8% in 2006, and the area with water quality inferior to grade III in 2006 has increased by 50 times since 2002. The chemical pollutant flux out of the lake was much larger than that into the lake, which indicates that the chemical pollutants around the lake are one of the main sources of the pollutants to Poyang Lake. The water quality of the lake has been significantly influenced by human activities. The coefficient of correlation with various industries is greater than 0.807. With the increase of the urban population density, 78% of the domestic, production, and industrial wastewater are directly discharged into the rivers flowing into Poyang Lake, severely affecting the water quality of the lake. It is pointed out in the paper that much attention should be given to the control of the discharge indices and amount of the industrial and agricultural waste and wastewater, and the limit of the water quality indices in fishery culture.

Key words: fuzzy comprehensive evaluation method; spatial and temporal variation; pollutant flux; water quality; Poyang Lake

护以及后期的水功能区规划提供科学基础。

1 材料与方法

1.1 研究区域及样品采集

鄱阳湖地处江西省北部,长江中下游南岸。鄱阳湖丰水期降雨量丰富,地表水径流量大,枯水期水位下降急剧,丰枯水期水体交换速度快,全年水位变化形成了“丰水一片,枯水一线”的独特水文特征。根据鄱阳湖特殊的水文条件以及布点均匀采样原则,对鄱阳湖区丰、枯水期的湖水出入口及湖区进行采样布点(图1),并连续监测。使用GPS对各监测点进行定位,按照水样采集标准进行水样采集。现场测定水样DO、pH、Con(WTW多参数水质分析仪Multi 340),同时将部分水样进行前处理保存,将水样带回实验室尽快分析。

1.2 样品分析方法

TP采用GB11893—1989《钼酸铵分光光度法》进行测定;TN采用GB11894—1989《碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》进行测定; NH_4^+-N 采用GBT7479—1987《纳式试剂比色法》进行测定;COD采用GB11892—1989《高锰酸盐指数法》进行测定;BOD采用GBT7489—1987《碘量法》进行测定。

1.3 水质评价模型

模糊综合评判法^[17]是利用模糊变换原理和最大隶属度原则,考虑与被评价事物相关的各个因素或主要因素,对其进行综合评价。模糊综合评价模型能够结合多个水质指标,给出一个综合的评价结果,直接和我国地表水环境质量标准相对应,并可在电子地图中用不同的颜色表示水质级别,可视化效

水质是由水的物理、化学和生物诸因素所决定的,是反映水体质量状况的指标,其内容包括各种水体中的天然本底值、河流挟带的悬浮物、水中污染物等的含量和成分及其时空变化。水环境受大气降水^[1]、水体的透明度以及水位的变化^[2]等影响,同时水体环境容量的大小也制约着水环境质量^[3]。人类活动通过大气污染、污染排放、农药化肥使用、土壤侵蚀和土地利用等方式对水环境产生作用^[4,5],而浅水湖泊更易受人类活动的影响。杨文斌等^[6]针对常熟市昆承湖水质时空变异特征进行工业点源污染、城市生活污染和农业面源污染等环境压力分析;Chang^[7]针对汉河水质的空间差异指出其主要影响因素是土地利用和自然因素,如气候和土壤特性等,地区的水环境管理政策和点源污染控制也影响汉河水质的空间分布;张婷等^[5]对白洋淀水质的影响因子进行评价时发现,水质受自然和社会因素共同影响,其中人口增长和经济发展对白洋淀水质的影响较为显著,此外淀区内渔业和农业发展为淀区主要污染来源。

鄱阳湖是我国最大的淡水湖,其水质变化主要受自然因素的控制,人类活动对鄱阳湖水质的影响也比较严重。研究表明,鄱阳湖水体中的COD、TN、TP主要来源于城镇生活污水和非点源污染^[8,9],农业生产中氮、磷等营养盐的输入^[10-12],以及五大水系的主要营养盐的输入和水体水动力条件是影响水体富营养化的重要因素^[13-16]。笔者针对鄱阳湖的水环境现状及其变化趋势,运用模糊综合水质评价法以及相关系数分析法从时间、空间以及自然人为影响因素等对鄱阳湖水质的关键影响因子进行探讨,对鄱阳湖水水质影响因素进行量化分析,为鄱阳湖水环境的保

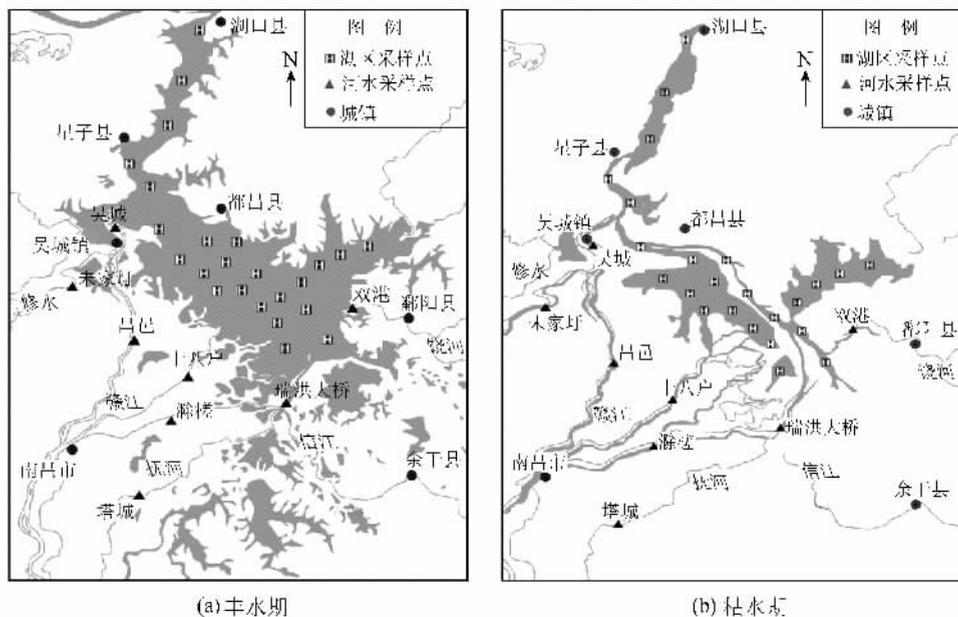


图1 鄱阳湖区丰、枯水期湖水出入湖口以及湖区采样布点

果好。模糊综合水质评价模型(FCWQA模型):

$$Y = \sum_{j=1}^6 jY_j / \sum_{j=1}^6 Y_j \quad (1)$$

$$Y_j = \sum_{i=1}^n Y_{ij} \quad (2)$$

式中:Y为模糊综合水质评价指数;j=1,2,...,6,分别代表I~V类和劣V类水质级别;Y_j为各种水质指标在j类水质标准的隶属度值的和;i为第i种水质指标,i=1,2,...,n;Y_{ij}为第i种水质指标对j类水质标准的隶属度值。

对各污染指标分指数经过不同方法的数学运算得到一个综合指数,以此可以达到对河流水污染状况进行综合评述的目的。

2 结果与分析

2.1 鄱阳湖水水质时空变化评价分析

2.1.1 时间变化

a. 年际变化。由图2可见,鄱阳湖水水质总体呈现恶化趋势。在鄱阳湖历年水质评价2184km²面积中,水质优于Ⅲ类的面积逐渐缩减,由1999年的85.9%到2006年的57.8%,共缩减28.1%;从2002年开始优于Ⅲ类的面积急剧下降,2003—2006年优于Ⅲ类的面积趋于稳定。鄱阳湖Ⅲ类水和劣于Ⅲ类水的面积正在逐步扩大,而且近年来有飞速扩张的趋势,特别是劣于Ⅲ类水面积的扩大;从2000年的未监测出,到2002年占总面积的0.3%,直至2005、2006年占总面积的14.9%和17.9%,其扩大面积接近原来的50倍。Ⅲ类水的面积由13.9%上升到24.3%,且2003年和2005年的面积已经超过了30%,鄱阳湖水水质的不断恶化,再考虑到全球淡水危机,对鄱阳湖输入水的水质控制以及对鄱阳湖采取相关保护政策已刻不容缓。

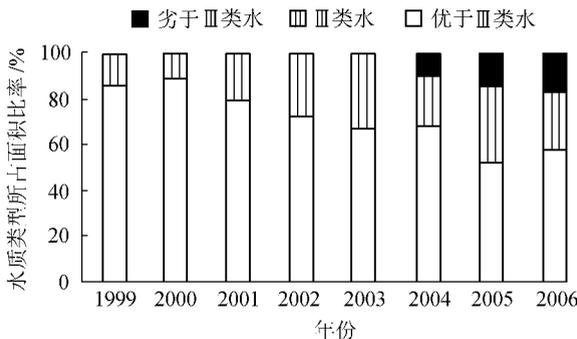


图2 鄱阳湖区水质类型所占比例年际变化

b. 季节变化。图3为鄱阳湖从2007年开始各个水期水质污染评价指数变化情况。水质污染评价指数Y值由模糊综合水质评价法得出,TN、TP、NH₄⁺-N、COD、BOD为其污染评价指标。总体来看,

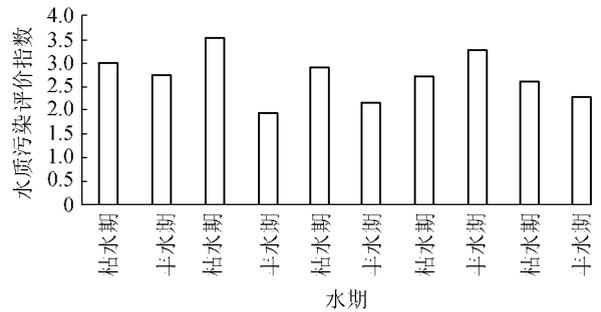


图3 鄱阳湖区各个水期水质污染评价指数变化

水质评价指数丰水期的明显低于枯水期的。枯水期(2009年为Ⅲ类水)的水质均达到Ⅳ类水标准,丰水期(2008年为Ⅱ类水)的水质均为Ⅲ类水标准;枯水期Y的变化范围为2.92~3.53,2008年的最大;丰水期Y的变化范围为1.97~2.78,2007年丰水期的Y值最大。从2009年丰水期至2010年丰水期,丰水期的水质污染评价指数最小(Y₂₀₀₉=2.18,Y₂₀₁₀=2.31),枯水期水质污染评价指数最大(Y_枯=3.30),而平水期的水质处于一个过渡阶段。2009—2010年之间除枯水期属于Ⅳ类水外,其他时期的水质均属于Ⅲ类水,且Y_{2009丰}<Y_{2010丰}<Y_{2009平}<Y_{2010平}<Y_枯。丰水期鄱阳湖的水流量大,水体交换速度快,其污染指数小;枯水期和平水期水量减退,其污染指数明显增大。由此可见,水量可能是影响水质的关键因素。

2.1.2 空间变化

对鄱阳湖各个入湖口的水质进行监测分析,结果见表1。枯、平、丰3个时期鄱阳湖入湖口水质的空间分布特征基本一致,双港Y值最高,水质污染最为严重;枯水期(Y=4.22)水质达到Ⅴ类水标准;宋家圩丰水期,水质污染指数(Y=1.98)最小,达到Ⅱ类水质标准。修河沿岸工业企业分布较少,工业废水排放量相对于其他河流较少,而饶河的分支(乐安江)沿岸有丰富的矿产资源,大型工业企业每年排入河流的污染物较其他河流多。由枯、平、丰不同时期的水质级别空间分布可见,枯水期整个鄱阳湖总体水质最差(Y值最大,2.40<Y<4.22),丰水期水质最好(Y值最小,Y<2.88)。综上可知,饶河、信

表1 鄱阳湖水水质综合污染指数级别

入湖口	枯水期		平水期		丰水期	
	Y值	水质综合指数级别	Y值	水质综合指数级别	Y值	水质综合指数级别
吴城	3.70	Ⅳ	2.68	Ⅲ	2.74	Ⅲ
宋家圩(修水)	2.40	Ⅲ	2.95	Ⅲ	1.98	Ⅱ
瑞洪(信江)	3.28	Ⅳ	3.03	Ⅳ	2.06	Ⅲ
昌邑(北支)	3.89	Ⅳ	2.76	Ⅲ	2.49	Ⅲ
十八户(中支)	2.55	Ⅲ	2.48	Ⅲ	2.47	Ⅲ
滁槎(南支)	4.00	Ⅳ	3.53	Ⅳ	2.88	Ⅲ
塔城(抚河)	2.77	Ⅲ	2.45	Ⅲ	2.57	Ⅲ
双港(饶河)	4.22	Ⅴ	3.56	Ⅳ	2.34	Ⅲ

江、赣江南支的水质污染指数较大,而修水抚河的水质污染指数较小,因此,工业的高度发展以及人口的密集(人类活动频繁)是影响水质的因素之一。

2.2 影响因素分析

2.2.1 自然因素

通过鄱阳湖出入湖口的污染物的量来表征鄱阳湖水量的变化以及鄱阳湖水交换过程对鄱阳湖水质的影响,计算结果见表2。具体过程为:

a. 利用式(3)计算湖泊污染物出入口的质量浓度

$$\rho = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{s=1}^m \rho_i Q_s / \sum_{s=1}^m Q_s \right) \quad (3)$$

式中: ρ 为污染物总的质量浓度,mg/L; ρ_i 为第*i*种污染物质的在每条河中的污染物质量浓度,mg/L;*n*为污染物种类数;*m*为入湖口数;*i*为第*i*种污染物质; Q_s 为第*s*条河流的流量, m^3/s ;*s*为第*s*个入湖口。

b. 根据文献[18-20]中方法计算鄱阳湖的河流化学污染物通量:

$$F = 365 \times 24 \times 3600 \times 10^{-9} Q \rho_i \quad (4)$$

式中:*F*为河流污染物通量,t/a;*Q*为河流流量, m^3/s 。

表2 鄱阳湖出入湖口化学污染物环境通量估算

年份	水期	出入湖状况	污染物质量浓度/(mg·L ⁻¹)	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	污染物通量/(t·a ⁻¹)	水质污染评价指数	水质综合指数级别
2008	丰水	入	4.03	3018	383.56	2.60	Ⅲ
		出	4.44	4897	685.68	3.82	Ⅳ
2009	枯水	入	5.14	801	129.84	2.96	Ⅲ
		出	5.63	1250	221.93	2.68	Ⅲ
2009	丰水	入	3.45	3752	408.21	2.83	Ⅲ
		出	2.67	5120	431.11	3.51	Ⅳ
2010	枯水	入	4.72	949	141.26	4.40	Ⅴ
		出	4.29	1387	187.65	3.54	Ⅳ

鄱阳湖丰、枯水期的水量变化大,丰水期地表水径流量大,对湖区污染物的浓度有一定的稀释作用,同时水体交换速度加快,有助于污染物排出河流,不会造成湖区污染物滞留现象,此时水环境质量较其他时期为好,枯水期由于湖区水位急剧下降,污染物在水中的迁移输送速度下降,浓度上升,造成水体质量下降,水质变差。

丰枯水期的水质变化虽有差异,但是相差并不大(表2),如2009年丰、枯水期的入湖口的水质综合评价价值分别为2.83和2.96,水质均属于Ⅲ类;但是丰、枯水期入湖污染物的质量浓度存在显著差异,分别为3.45、5.14mg/L,而流量分别为3752、801m³/s;相比同一时期出湖口也呈现同样的规律,即水流量越大,其污染物浓度越小。从2008—2010年来看,入湖口的水质逐年下降且呈现恶化趋势,出湖口的水质基本保持不变,除2009年枯水期外,2008年丰

水期、2009年丰水期和2010年枯水期其*Y*值均属于Ⅳ水质标准,分别为3.82、3.51和3.54。每年排污通量有所下降,河流的输入通量逐年上升但上升趋势不大,入湖污染物的通量丰水期由2008年的383.56t/a上升为2009年的408.21t/a,枯水期由129.84t/a上升为141.26t/a;出湖的化学污染物通量枯水期基本不变,但是丰水期由2008年的685.68t/a下降至2009年的187.65t/a。鄱阳湖区水体交换速度快、水流量大,导致鄱阳湖区无论其输入污染物多少,都能通过自身的净化能力或者排污能力,使鄱阳湖水水质维持在较稳定的水平。

从出入湖的污染物通量来看,入湖的污染物通量总体小于出湖口物质通量,并且入湖流量要小于出湖流量。这说明除5河外湖周边的地表径流外,大气降水也是鄱阳湖水量的主要来源,湖周边排入湖泊的化学污染物量不容忽视。

2.2.2 人为因素

运用SPSS软件对水质与社会因素进行相关性分析(表3)结果显示,水质变化与水资源径流总量呈负相关, $r = -0.367$ 且相关性良好($|r| > 0.3$),即随着水资源量的增加,水质会相应地得到改善,此结论与2.2.1“自然因素”中的结论一致;水质的变化与各个生产总值(第一产业、工业、建筑业、农业、渔业)呈极显著相关性,其相关系数均大于0.807,这说明人类活动对水环境质量的影响很大。鄱阳湖周边农业活动、城市生产和生活污水的排放直接影响鄱阳湖区水质状况,鄱阳湖区生产和生活污水的直接排放也成为鄱阳湖的重要污染之一。由表1可见,瑞洪(信江)、吴城、昌邑(北支)、滁槎(南支)、双港(饶河)的综合评价指数均大于3.29,其中双港的评价指数还大于4.00,饶河流域以及信江流域一带的工业较为发达,工业污水排放对污染水质影响较大。赣江下游(吴城、昌邑、滁槎)流经南昌市,南昌市人口基数大,居民的生活污水排放对水质的影响也较大。

表3 水质与社会因素相关性分析

社会因素	总人口数	生产总值	第一产业总产值	工业总产值	建筑业总产值	农业产值	渔业产值	水资源径流总量
相关系数	0.810*	0.847*	0.859*	0.847*	0.807*	0.832*	0.865*	-0.367

注:*表示在0.05水平(双侧)上显著相关。

据统计,江西省工业废水排放量其中江西省污水排放量的78%以上都排入河流中,而河流水体最终进入鄱阳湖,造成重要污染。鄱阳湖的排污量从20世纪90年代末开始逐渐减少,21世纪初期达到最低值,2002年开始鄱阳湖的工业废水的排放量开始逐年上升(图4),这与鄱阳湖区水质的年际变化

类型相符(图2),即从2001年开始鄱阳湖水体水质总体呈恶化趋势,优于Ⅲ类的面积开始逐年下降,劣于Ⅲ类和Ⅳ类的面积开始逐年扩大。工业废水中包含引起富营养化的氮磷营养盐、重金属以及有机污染物。其中信江受其上游朝阳磷矿的影响污染较为严重,如表1所示,信江的水质类别总体偏高。而TP为其主要的污染物(TP质量浓度范围为0.128~0.343 mg/L)。

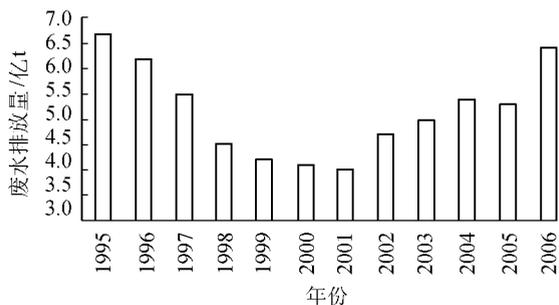


图4 江西省工业废水排放量变化

此外,鄱阳湖周边的工业废水、生活污水以及农业生产用水对鄱阳湖水质也产生相当的影响。城市人口密度、GDP、单位耕地面积化肥使用量、城市居民消费水平的提高以及鄱阳湖渔业的生产所产生的代谢物、饵料等直接进入水体,影响着鄱阳湖流域的水质状况。鄱阳湖的五大河流经全省各个县市,其中包括如南昌、赣州、新余等江西省经济、文化、政治交流中心的大城市,其人口密度大,1990—2000年城镇人口和非农居民消费水平分别增长了104.15%和81.86%,生活、生产用水的需求量扩大,导致水质下降。因此,应重视工农业生产中对废弃物和废水的排放指标值和排放量的限制,以及渔业养殖生产中对水质指标值的限制。

3 结论与建议

3.1 结论

a. 从鄱阳湖水质年际变化规律分析看出,鄱阳湖水质呈现逐渐恶化的趋势,从1999年至今,优于Ⅲ类水的面积正在逐步缩小。运用水质模糊综合评价方法评价鄱阳湖季节性水质变化规律,鄱阳湖的水质丰水期优于枯水期,2009—2010年之间除枯水期属于Ⅳ类水,其他时期的水质均属于Ⅲ类水,且水质综合指标指数 $Y_{2009丰} < Y_{2010丰} < Y_{2009平} < Y_{2010平} < Y_{枯}$ 。

b. 运用环境容量对鄱阳湖出入湖化学污染物通量进行估算,研究水量对水质的影响,结果显示,鄱阳湖区入湖化学污染物的通量明显低于出湖化学污染物通量,说明湖周边化学污染物的排放也是鄱阳湖重要的污染物来源之一;而鄱阳湖水质与水资源径流量呈负相关($r = -0.367$),说明水位、水量对

水质有一定的调节作用。

c. 运用SPSS软件对水质与社会因素进行相关性分析,水质与各个产业之间的相关性显著,其相关系数均大于0.807,说明人类活动对水质的影响作用很大。

3.2 建议

城市人口密度增大,生活和生产污水以及工业废水的78%直接排放进入河流并最终汇入鄱阳湖,对鄱阳湖水质造成严重影响。人类活动对水质的影响主要表现在生产、生活污水的排放,因此,工农业生产中对废弃物和废水的排放指标值和排放量的限制,以及对渔业养殖生产中水质指标值的限制显得尤为重要。

参考文献:

- [1] 曾小凡,霍建青,姜彤,等.长江流域年降水量的空间特征和演变规律分析[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(6):727-732.
- [2] 纪伟涛,郇国峰,吴建东,等.太湖池水体透明度、水位计两者之间的关系分析[J].水资源保护,2010,26(1):36-39.
- [3] 罗敏,黄恢柏,胡亮,等.鄱阳湖流域修河水环境容量[J].水资源保护,2007,23(S1):670-675.
- [4] NIEMI G J, DEVORE P, DETENBECK N, et al. Overview of case studies on recovery of aquatic systems from disturbance[J]. Environ Manage, 1990, 14: 571-587.
- [5] 张婷,刘静玲,王雪梅.白洋淀水质时空变化及影响因子评价与分析[J].环境科学学报,2010,30(2):261-267.
- [6] 杨文斌,王国祥,张利民,等.常熟市昆承湖水水质时空变异特征和环境压力分析[J].自然资源学报,2007,22(2):127-133.
- [7] CHANG H. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea[J]. Water Research, 2008, 42(13): 3285-3304.
- [8] YU Jiang, HO Wai-tim; LU Hui-ming, et al. Study on water quality and genotoxicity of surface microlayer and subsurface water in Guangzhou section of Pearl River[J]. Environ Monit & Assess, 2011, 174: 681-692.
- [9] 余进祥,刘娅菲,钟晓兰.鄱阳湖水环境承载力及主要污染源研究[J].江西农业学报,2009,21(3):90-93.
- [10] 余进祥,刘娅菲,钟晓兰,等.鄱阳湖水体富营养化评价方法及主导因子研究[J].江西农业学报,2009,21(4):125-128.
- [11] 万金保,蒋胜韬.鄱阳湖水环境分析及综合治理[J].水资源保护,2006,22(3):24-27.
- [12] 万金保,闫伟伟.鄱阳湖水水质富营养化评价方法应用及探讨[J].江西师范大学学报:自然科学版,2007,31(2):210-214.

(下转第18页)

并向四周逐渐降低。伊通河区域夏季降水的高比例主要因为汛期受蒙古气旋和华北气旋影响,形成多暴雨和局地暴雨,此外锋面过境和8月至9月上旬台风北上登陆后形成的大范围降水也是影响该区高降水的重要原因。降雨量最大的白山水库区域夏季降水所占比例为60%~65%,处于平均水平。

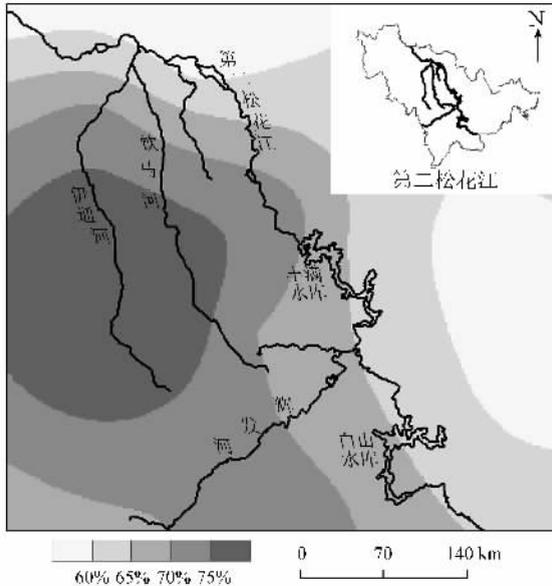


图6 1956—2006年夏季降水量占年降水百分率

4 结论

a. 近50年来,二松流域降水量整体处于下降的趋势,但幅度较小。年代际尺度的降水量呈现丰、枯交替现象,其丰水期周期年数小于枯水期周期年数,从20世纪90年代至今降水量均低于平均值,处于枯水期,但降水量整体处于上升阶段。

b. 年内主要降水集中在夏季,占全年降水的60%以上,其次为春季和秋季,冬季降水量最少。春秋两季降水波动较小,夏季变幅最大,冬季基本处于平稳状态。秋季降水在近50年里呈明显下降趋势。

c. 流域内降水量的变化较大,不同区域的年际变化也比较大。二松流域内降水量空间分布呈东南向西北递减,在白山水库区域形成高值区,夏季降水所占比例在伊通河区域内形成高值区后,向四周逐渐降低。

参考文献:

[1] 韩庆红. 基于DEM的松花江流域降水量插值研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2006.
 [2] 李朝坤, 李刚. 第二松花江中小洪水糙率分析[J]. 吉林水利, 2008(2): 22-29.
 [3] 孟悦. 松花江流域气候年代际变化分析及预测[D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
 [4] 曹丽青, 林振山, 葛朝霞, 等. 新疆北部气候变化及其对

水资源的影响分析[J]. 水资源保护, 2008, 24(6): 28-30.

[5] 张德新. 吉林省水资源[M]. 长春: 吉林科技出版社, 2008.
 [6] 叶柏生, 李翀, 杨大庆, 等. 我国过去50年来降水变化趋势及其对水资源的影响(IV): 年系列[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5): 587-594.
 [7] 赵娟, 韩延本. 滑动平均情形下的相关显著水平估计[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2005, 41(2): 139-141.
 [8] 曹洁萍, 迟道才, 武立强, 等. Mann-Kendall检验方法在降水趋势分析中的应用研究[J]. 农业科技与装备, 2008(5): 35-40.
 [9] 曾小凡, 翟建青, 姜彤, 等. 长江流域年降水量的空间特征和演变规律分析[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2008, 36(6): 727-732.
 [10] 王建华, 江东, 王浩, 等. 年尺度下的黄河流域降水遥感反演[J]. 资源科学, 2003, 25(6): 8-13.
 [11] 杨昌军. 高斯权重法在长江流域地面日气温场空间化中的应用研究[D]. 南京: 南京气象学院, 2004.
 [12] 张文纲, 李述训, 庞强强. 青藏高原40年来降水量时空变化趋势[J]. 水科学进展, 2009, 20(2): 168-176.
 [13] 宋燕, 季劲钧, 朱临洪, 等. 20世纪80年代中期全球变暖前后亚非夏季风特征分析[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(2): 24-33.

(收稿日期 2010-10-29 编辑 高渭文)

(上接第13页)

[13] 王毛兰, 胡春华, 周文斌. 丰水期鄱阳湖氮磷含量变化及来源分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 138-142.
 [14] JINDAL R, SHARMA C. Studies on water quality of Sutlej River around Ludhiana with reference to physicochemical parameters[J]. Environ Monit & Assess, 2011, 174: 417-425.
 [15] BEATRICE B, YVES C, PHILIPPE S, et al. Distribution of picophytoplankton and nanophytoplankton along an anthropogenic eutrophication gradient in French Mediterranean coastal lagoon[J]. Aquatic Microbial Ecology, 2011, 63: 29-45.
 [16] ALEKSANDAR O, SVETLAN C, LJILJANA C, et al. Effects of anthropogenic influences on the trophic status of two water supply reservoirs in Serbia[J]. Lakes & Reservoirs Research and Management, 2007, 12: 175-185.
 [17] 翟俊, 何强, 肖海文, 等. 基于GIS的模糊综合水质评价模型[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2007, 30(8): 49-53.
 [18] 许磊, 李华, 陈英旭, 等. 南太湖地区小型浅水湖泊自净能力季节变化研究[J]. 环境科学, 2010, 30(4): 924-930.
 [19] 王修林, 李克强. 渤海主要化学污染物海洋环境容量[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
 [20] 王修林, 李克强, 石晓勇. 胶州湾主要化学污染物海洋环境容量[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

(收稿日期 2011-05-11 编辑 徐娟)