洪泽湖水质的时空相关性分析*

李　波[1,2]　　濮培民[2]　　韩爱民[3]

（1 北京师范大学资源科学研究所，北京 100875；
2：中国科学院南京地理与湖泊研究所，南京 210008；3：淮安市环境保护局，淮安 223001）

提　要　　时空相关性分析方法在生态环境空间分异性以及湖泊湿地自然保护区建设等方面的研究上，具有重要的应用价值．将湖泊水质监测数据与空间数据结合，建立了具有时空特征的洪泽湖水质数据库．基于相关系数矩阵，利用 GIS 和 Origin 等分析软件，对洪泽湖水质的时空相关性及其时间和空间分布规律进行了研究．结果表明，洪泽湖水质存在着时空相关性，目前这种时空相关性已受到人类活动的强烈干扰．因此，建议洪泽湖湿地自然保护区应该选择在时空间相关性小、具有一定离群性的‘岛屿’区域．

关键词　　洪泽湖　水质　时空相关性

分类号　　P343.3

研究空间发生的生态学现象，就必须研究空间相互作用[1~3]．这种空间相互作用显然与组分间的相对位置有关．不同方向、不同距离的组分间的相互作用是不同的．正是这种空间相互作用的结果才形成了各种不同的空间格局．同时，生态学现象在时间与空间上又是相互作用的，空间相互作用随时间的变化构成了动态过程．避开生态系统内部的一些不确定性，将其‘黑箱化’，从时空相关性分析来研究生态学现象的时空规律是可行的．水质是湖泊（湿地）生态系统的生境条件之一，湖泊水质现象存在空间相关性，体现在三方面：（1）水质样本间的相互影响随距离的增加而减弱；（2）不同方向的相关强度及相关特征不同；（3）空间相关性随时间的变化而变化．因此，在样本时空相关假设基础上，以空间信息和地理信息系统为背景，研究湖泊湿地生态学现象（或抽象的指标）的空间相互作用及其时序变化是可行的．地统计学通过计算变异函数来揭示区域化变量的空间变异特点以及不同方向上的空间异质性[4,5]，与传统的统计方法相比较，地统计学分析方法对于样本分布以及数据的质量等要求较高．本文根据地统计学的思想，将两种方法相结合，以相关性代替变异函数，分析了不同方向上的空间异质性，在一定程度上，克服了样本分布以及数据质量上的不足．表征湖泊水质的参数很多，不同时空条件下，水质参数及其组合对于湖泊水质本质规律的表现是千变万化的．本文先把水质参数及其组合的影响权重问题‘黑箱化’，通过水质时空相关性分析研究了湖泊水质的时空变化规律．

1 监测布点与数据库的建立

监测点的分布如图 1 所示．选取洪泽湖 1991～2000 年的 10 个常规监测点，每年 1、3、5、7、9、11 月上旬进行监测，每次监测 40 个项目，建立 4 维数据矩阵 X_{yimn}．其中，y 表示年份

* 收稿日期：2001－06－06；收到修改稿日期：2001－12－29．李波，男，1965 年生，博士，副教授．

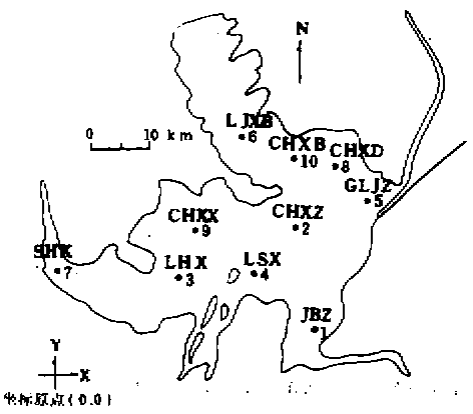


图 1 洪泽湖监测点的分布

1：蒋坝镇(JBZ)；2：成河乡中(CHXZ)；3：临淮乡(LHX)；4：老山乡(LSX)；5：高良涧镇(GLJZ)；6：龙集乡北(LJXB)；7：濉河口(XHK)；8：成河乡东(CHXD)；9：成河乡西(CHXX)；10：成河乡北(CHXB)

Fig.1 Distribution of water quality monitoring points in Hongze Lake

($y = 1,2,\cdots,10$，分别代表 1991 ~ 2000 年)；i 表示监测月份编号，m 表示监测点编号，n 为监测项目编号. 然后采用以下公式对数据进行标准化：

$$x_s = \frac{x - \overline{x}}{\max(x) - \min(x)}$$

在进行具体分析的过程中，根据不同目标对于参数与时段等的要求，从洪泽湖水质数据库中抽取数据. 根据洪泽湖湖区地形图，经过栅格化，建立如前所述的空间坐标系，并利用 GIS 和 Origin 等软件进行插值，建立空间数据库.

2 洪泽湖水质时空相关性分析

2.1 数据的选取与计算

为了研究洪泽湖水质的时空变化特征，特从上述数据库中选取 2000 年的 pH 值、悬浮物、总硬度、透明度、DO、COD_{Mn}、BOD_5、TN、非离子氨、挥发性酚、总氰化物、总砷、总汞、六价铬、总铅、总镉、TP、Chl-a 等 18 项水质指标进行分析，即：4 维数据矩阵 X_{yimn}，$y = 10$，$m = 1 \sim 10$，$n = 1 \sim 18$，i 分别在 1 ~ 6 取值，形成各个月的水质数据矩阵，再对各月数据矩阵，以监测点为对象求取相关系数矩阵，得到表 1 所示的 1 月(3、5、7、9、11 月相关系数矩阵略)监测点 ~ 监测点的相关系数矩阵.

表 1 洪泽湖水质监测点相关系数矩阵(2000 年 1 月)

Tab.1 Correlation coefficent matrix of water quality monitoring points for January, 2000

监测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.00000	0.98360	0.91238	0.99158	0.99155	0.93042	0.68900	0.98059	0.99072	0.99119
2	0.98360	1.00000	0.83906	0.99651	0.99826	0.85052	0.59691	0.99949	0.99881	0.99694
3	0.91238	0.83906	1.00000	0.87926	0.85842	0.97019	0.91595	0.82645	0.85941	0.87639
4	0.99158	0.99651	0.87926	1.00000	0.99733	0.88033	0.65969	0.99424	0.99824	0.99961
5	0.99155	0.99826	0.85842	0.99733	1.00000	0.87571	0.61528	0.99760	0.99952	0.99752
6	0.93042	0.85052	0.97019	0.88033	0.87571	1.00000	0.81048	0.84205	0.87320	0.87955
7	0.68900	0.59691	0.91595	0.65969	0.61528	0.81048	1.00000	0.57651	0.62017	0.65422
8	0.98059	0.99949	0.82645	0.99424	0.99760	0.84205	0.57651	1.00000	0.99772	0.99496
9	0.99072	0.99881	0.85941	0.99824	0.99952	0.87320	0.62017	0.99772	1.00000	0.99833
10	0.99119	0.99694	0.87639	0.99961	0.99752	0.87955	0.65422	0.99496	0.99833	1.00000
均值	0.94610	0.92601	0.89375	0.93968	0.93312	0.89125	0.71382	0.92096	0.93361	0.93887

在此基础上，先对上述各个月份的相关矩阵进一步作如下的统计分析：

$$\sum R_{im} = \frac{1}{10}\sum_{j=1}^{10} R_{imj}$$

式中，R_{imj} 表示第 i 月相关矩阵中，第 m 个监测点与第 j 个监测点的相关系数($j = 1,2,\cdots,10$)；$\sum R_{im}$ 表示第 i 月相关矩阵中，第 m 个监测点与其它监测点相关系数的均值. 令 $R_s = \sum$

R_{im}，称 R_s 为空间相关性(spatial relativity)．R_s 越大，反映在水质的空间分布上就越均匀，差异性越小；R_s 越小，反映在水质的空间分异就越大．令

$$MPR_m = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6} R_{mi}\ ;\ MR_i = \frac{1}{10}\sum_{m=1}^{10} R_{im}$$

其中，R_{im} 表示第 m 监测点第 i 月的 R_s 值，MPR_m 表示第 m 监测点各月 R_s 值的均值．im 表示第 i 月第 m 监测点的 R_s 值，MR_i 表示第 i 月各监测点的 R_s 值均值．MPR 和 MR 都是基于监测点的相关性分析(即空间相关分析)，得出的时空相关性指标，这里分别称 MPR 为监测点(monitoring point)的时空相关性，MR 为月(month)的时空相关性．MPR 值越大，各个监测点相关性越大，反映在空间上测点性质就越均衡．MR 值越大，空间分异性的季节变化就越小．不同季节洪泽湖水质 R_s 的时空分布及 MPR、MR 的大小如表 2 所示．

表 2　洪泽湖水质 R_s 的时空分布*

Tab.2 Spatio-temporal distribution of R_s for water quality in Hongze Lake

测点	1 月	3 月	5 月	7 月	9 月	11 月	*MPR*
1	0.94610	0.84687	0.99958	0.99714	0.99743	0.99593	0.96384
2	0.92611	0.95007	0.99965	0.99727	0.99757	0.99462	0.97755
3	0.89375	0.95065	0.99924	0.99730	0.99766	0.99621	0.97247
4	0.93968	0.93978	0.99914	0.99683	0.99708	0.99443	0.97782
5	0.93312	0.94487	0.99958	0.99730	0.99759	0.98193	0.97573
6	0.89125	0.95228	0.99968	0.99545	0.99775	0.99336	0.97163
7	0.71382	0.75055	0.99907	0.99357	0.98905	0.99301	0.90651
8	0.92096	0.95559	0.99964	0.99272	0.99764	0.99593	0.97708
9	0.93361	0.94454	0.99920	0.99727	0.99775	0.99632	0.97812
10	0.93887	0.95449	0.99966	0.99741	0.99080	0.99646	0.97962
MR	0.90373	0.91897	0.99944	0.99622	0.99603	0.99382	

* 1、3 月代表枯水期；5 月代表平水期；7、9 月代表丰水期．

2.2 *MR* 值的季节变化分析

洪泽湖水情随季节变化明显(图 2)．根据一般的划分，1、3 月为枯水期，5 月、11 月为平水期，7、9 月为丰水期．洪泽湖水质的 MR 值也有明显的季节变化，在各监测点不同月份的 MR 值上反映明显．枯水期测点间 MR 值较小，各监测点差异相对较明显，而平水期、丰水期各测点 MR 值较大，空间分异不明显．也就是说，枯水期洪泽湖水质的空间分异性大，平水期、丰水期的空间分异性小，又以 1 月份洪泽湖水质的空间分异性最大(图 2、表 2)．实际上，洪泽湖水位最低常常不是在枯水期，却是农用水最紧张的 5 ~ 6 月，此时，洪泽湖湖水被大量抽出，人为造成的湖水流动、混合，使得 5 月份水质的 MR 值为全年最高．这种人为造成的湖水水质的空间均衡化，已达到可以与 7 月洪水期强大吞吐流相比美的程度．

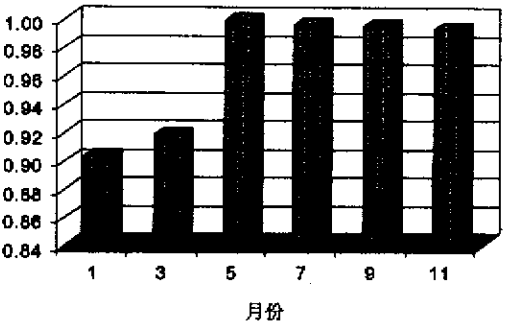


图 2　洪泽湖水质 *MR* 值的季节变化

Fig.2 Seasonal change of *MR* for water quality in Hongze Lake

2.3 *MPR* 值的空间分布

利用监测点位置的空间数据和 *MPR* 值，建立三维的、具有空间数据特征的矩阵，利用 GIS 和 Origin 等软件，进行分析，得到如图 3 所示洪泽湖水质 *MPR* 的空间分布. 为便于比较，把表 3 中的 *MPR* 值乘 60 再减去最小值的整数，即为图 3 上的 *MPR* 值；这样处理之后，差异性被放大了，表现得也更明显.

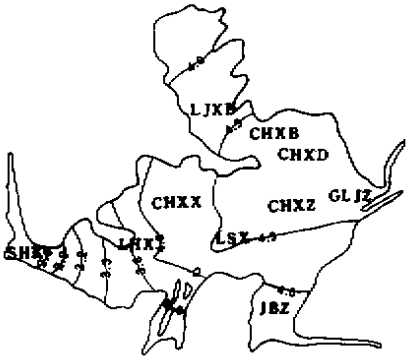


图 3 洪泽湖水质 *MPR* 值的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of *MPR* for water quality in Hongze Lake

MPR 值反映了全年不同监测点水质的空间分异性规律，即 *MPR* 值的空间变化规律(如图 1、表 3 和图 3 所示)：7 号测点(溧河洼的濉河口)的 *MPR* 值明显低于其它各测点，说明该测点与其它测点的性质有显著的不同，原因主要有二：(1)该点附近是洪泽湖目前唯一一块尚有大面积天然水草的地方，水生植被对于水质的影响导致该点水质 *MPR* 值分布的离群；(2)该测点位于溧河洼，在性质上是属于河流入湖口与湖泊的过渡，在湖流以及污染物的扩散上，该点性质具有离群性. 7 号测点的空间相关性上的这种特征说明，在溧河洼—杨毛嘴一带建立洪泽湖湿地自然保护区(核心区)是正确的. 鉴于自然保护区具有‘岛屿’的性质[5]，为了该自然保护区的建设与管理，通过实施溧河洼‘生态坝’工程，人为减小其 *MPR* 值，既有必要也是可行的；1 号测点(蒋坝镇)位于三河闸排水口附近，水质时空变化规律与其它测点有较明显区别. 原因在于该点位于三河闸排水口附近，受到闸门开闭的影响很大[5]. 其余 8 个水质监测点大多位于敞水区，性质较相似. 说明现有的 10 监测点仅仅代表了大约三种不同类型的空间点，在以后新增加监测点时，应该尽量安排其它类型区域(如湖湾、河口、吞吐流场的特征点等)的空间点上.

2.4 空间距离与相关系数 R 的相关性分析

利用 4 维数据矩阵 X_{yimn}，首先计算各年(1991～2000 年)各月的监测点之间的相关系数(方法同上)，然后与空间数据结合，进行空间距离与相关系数 R(绝对值)之间的相关分析(表 3、图 4). 称监测点之间的相关系数为 R，空间距离 D 与相关系数 R(绝对值)之间的相关系数为 R_r(R_r表示的是空间距离与相关系数的关系，R_r一般为负，R_r(绝对值)越大，表示

表 3 1991～2000 年洪泽湖水质 R_r值的统计分析*

Tab.3 Statistical analysis of R_r of water quality in Hongze Lake from 1991 to 2000

项目	1 月	3 月	5 月	7 月	9 月	11 月
R_r均值	－0.30498	－0.17842	－0.20254	－0.16235	－0.30126	－0.21151
置信水平	$> r_{0.05}$				$> r_{0.05}$	
最大值	－0.68607	－0.58521	－0.48898	－0.46066	－0.61823	－0.48678
最大值出现年份	2000	2000	1993	1993	1995	1996
最小值	－0.12357	－0.10267	－0.06947	－0.01454	－0.01905	－0.08475
最小值出现年份	1997	1994	1991	1991	1992	1991

* ：$r_{0.05}=0.2875$，$f=n-1=45$ 全湖历年各月 R_r均值 $=-0.22827 > r_{0.01}(=0.2108, f=n-1=60)$.

空间分异性越强,反之,越均衡). 全湖历年各月 R_r 的平均值为 -0.22827,比 $r_{0.10}(0.2108, f=n-1=60)$ 大,说明总体上看来,在 $\alpha=0.10$ 水平,洪泽湖水质的空间距离与相关系数 R 之间是显著相关的,空间距离越大,相关系数越小. 在不同月份,这种相关性显著不同,1 月和 9 月相关性大($>r_{0.05}$,在 $\alpha=0.05$ 水平显著相关),又以 1 月相关性最大. 7 月的 R_r 均值为 -0.16235,为各月最小,R 随着空间距离的增加而减小的趋势不显著,原因在于:7 月洪水期湖流急,湖水混合强烈,水质的空间分异性小. 从图 4 还可以看出,R 随着空间距离的增加而减小,距离 D 与 R 的相关系数为 $-0.68607 > r_{0.001}(n=46)$,呈极显著相关. 两者之间的线性回归方程(置信度达 0.01 显著水平)为:$D = 42.73569 - 33.7302R$.

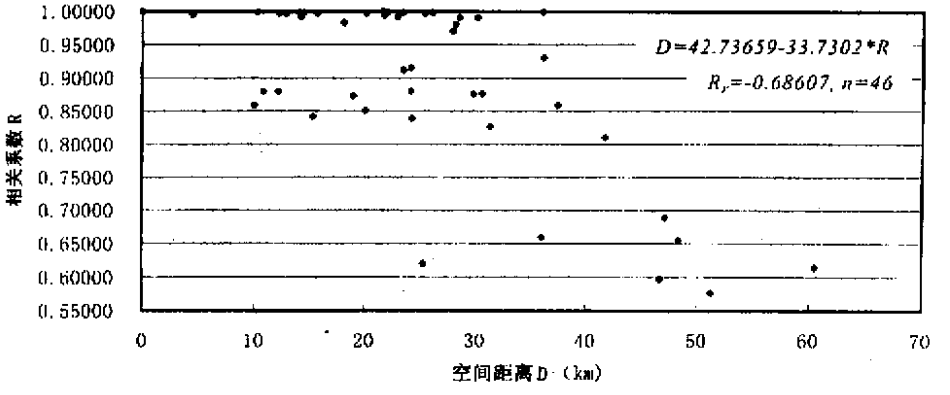


图 4　2000 年 1 月洪泽湖空间距离 ~ 相关系数 R 散点图

Fig.4 Scatter diagram of space distance ~ R (correlation coefficent) in January, 2000, Hongze Lake

2.5 不同方向上的相关性分析

图 4 表现的是全方位空间距离 $D \sim R$ 的关系,实际上,不同方向的相关强度及相关特征是不同的. 根据样本的空间数据,可以计算出样本 ~ 样本间的矢量角度,然后,根据方向(角度)对进行分类,再分别计算不同方向的空间距离 $D \sim R$ 的相关系数(即前述的 R_r). 以 2000 年为例,计算结果如表 4 所示. 1 月份,在 NEE、NWW 两个方向上,$D \sim R$ 呈强的负相关,而 NNE、NNW 向,相关性极小,说明,2000 年 1 月洪泽湖水质的空间分异性以 NEE 和 NWW 向为主. 3 月份除了 NNE 外,各向分异都较明显. 5 月,受到洪泽湖灌溉抽水的影响,湖泊水质的空间分异性受到强烈干扰,沿 NNW 方向,R_r 为正值. 7 月,NNE 方向 R_r 为正值,说明洪泽湖洪水季节的吞吐流上,水质空间分异性小,淮河入湖水流为污染之"源". 全年来看,以冬季(1、3 月)湖水交换较弱,水质的空间分异性较强. 从全湖来看,北东东、北西西方向,水质的空间分异性最大.

3 基于时间(月)相关矩阵的洪泽湖水质时空相关性分析

提取 2000 年各个监测点 25 个水质参数的年均值,对监测点进行相关分析,得到相关系数矩阵. 结果表明:各监测点水质(年均值)之间相关性很强,平均相关系数为 0.994854,最大与最小之间差别都在 8.8% 以下,说明从均值来看,监测点之间无明显区别,洪泽湖水质差异不明显. 但实际情况是,洪泽湖水质不但时空差异明显,而且由此造成的水质污染事故不断,水质性缺水也日趋严重. 由此看来,用水质的年均值进行时空相关性分析是不能有效

地说明水质变化的丰富内涵的,同时,也可以看出,全年、全湖时空尺度上,洪泽湖水质的时空相关性很强,基本是均衡的. 所以,以下在通过时间相关来分析洪泽湖水质的时空相关性时,选择了月为样本进行相关性分析.

表 4 2000 年洪泽湖水质不同方向上的相关性(R_r)

Tab.4 Correlation relativity (R_r) of different directions in 2000 in Hongze Lake

方向	NEE[0°,45°)	NNE[45°,90°)	NNW[90°,135°)	NWW[135°,180°]	全方向[0,180]
1 月	-0.65818	0.06126	-0.12629	-0.82113	-0.68607
3 月	-0.61500	-0.19174	-0.54787	-0.58127	-0.58136
5 月	-0.52681	-0.44725	0.38531	-0.25211	-0.21380
7 月	-0.20954	0.33169	-0.45122	-0.27946	-0.20433
9 月	-0.45909	-0.23909	-0.07389	-0.53203	-0.46829
11 月	-0.16441	0.27130	-0.22418	-0.38837	-0.30000

与前类似,用各月的多年平均值来进行相关性分析也是不能反映出季节变化的真实情况的. 时间序列具有连续性,这里我们不妨假设一个理想时段,把它与其前后时段的相关性为一个背景,暂时不列入考虑,而先考虑时段内部的属性,从而分析湖泊水质的季节变化以及季节变化强度的空间分异性. 这种湖泊水质的连续性的时间序列相关性分析,作者另列入年际变化的相关性分析之中.

3.1 数据的选取与计算

以 2000 年洪泽湖各站各月的水质数据为分析的基础,选取如本文前 2.1 所述的 18 项水质指标,以时间(月)作为样本,求得不同月份之间的相关矩阵,进而分析洪泽湖水质季节变化强度(用季节变化系数表示)及其空间分异规律. 即从 4 维数据矩阵 X_{yimn}, $y=10$, $i=1,2,\cdots6$, $n=1,2,\cdots18$, $m=1,2,\cdots10$,提取各个监测点的水质数据矩阵,对各个监测点的矩阵求取月份之间的相关系数矩阵,分别得到 10 个监测点的月~月相关系数矩阵(图略),然后对各相关矩阵作如下统计分析:

$$\sum R_m = \sum_{p=1}^{6}\sum_{q=1}^{6} R_{pq}$$

式中, R_{pq}表示第 p 月与第 q 月的相关系数. $\sum R$ 表示各相关矩阵的相关系数求和,$\sum R_m$表示第 m 个监测点的 $\sum R$, 它反映了不同监测点各月水质参数之间的相关程度,$\sum R$ 的值越大,各月水质相关性越大,季节变化就越小. 把 $\sum R_m$ 值,再经过如下变换之后得到的值,用 SI (seasonal index)表示,称为季节变化系数. 变换之后得到的值 SI 与季节变化强度之间呈正相关.

$$SI = 36 - \sum R$$

3.2 SI 值的空间分布

用各个监测点的位置数据与季节变化系数 SI 值建立具有空间特征的数据矩阵,然后利用 GIS 和 Origin 等分析软件进行分析(图 5).

洪泽湖水质的季节变化强度主要由位置与湖体形态决定,湖心敞水区,水深,外动力影响强,水质季节变化大,湖湾内,水质季节变化较小. 洪泽湖湖西溧河洼、杨毛嘴一带水草丰盛,水质季节变化也较小(与前述的 MPR 值分布规律一致). 成子湖虽然属于湖湾,但水草

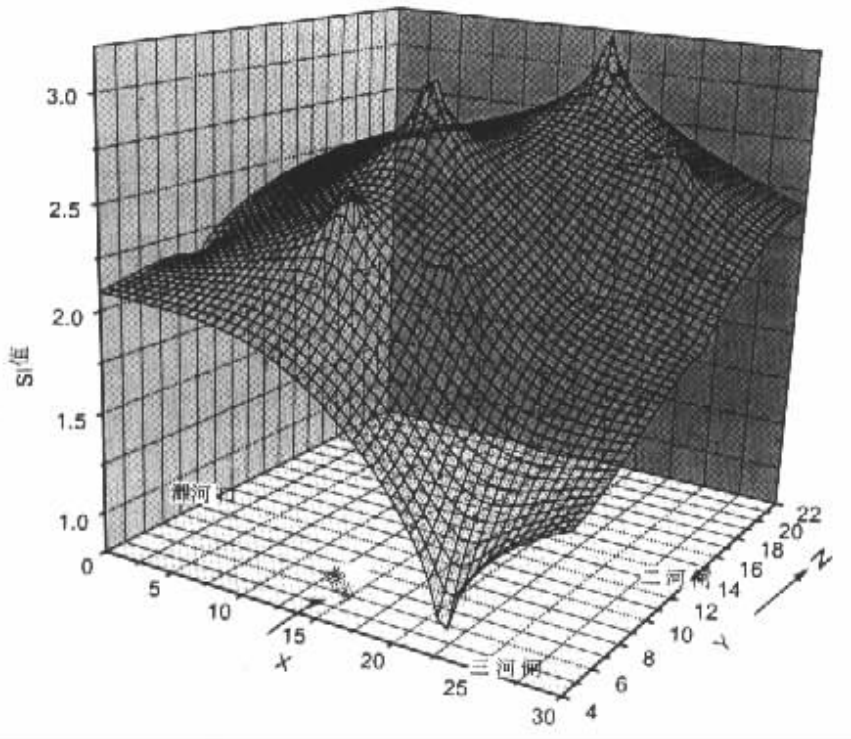


图 5　洪泽湖水质 *SI* 值的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of *SI* (Seasonal Index) for water quality in Hongze Lake

稀少，水质季节变化较大. 成子湖与二河闸之间，为季节变化最大的地带. 从淮河口与二河闸之间连一条线，连线附近为季节变化高值带，形成了“脊”，由脊的两侧，向西、向东，季节变化强度逐渐降低，可能是受到湖流主流向的影响（特别是湖水吞吐流的影响）[5].

4 结论

（1）湖泊水质存在着时空相关性，而且，这种相关性随着空间距离的增加而减弱.

（2）湖泊水质时空相互作用极为明显，时空相关性存在方向性，7 月空间相关性强于 1 月. 而季节变化的强度也具有明显的空间分异性，以洪泽湖湖流主流向（淮河口—二河闸）为脊（图 3、图 5），由此向两侧减弱.

（3）洪泽湖水质时空相关性已受到人类活动的强烈干扰（图 2），5 月的 *MR* 值最高，这显然与大量农用水从洪泽湖的抽取有关[6]（图 4），1 号监测点（蒋坝镇附近）为空间相关性的离群点，与三河闸的开闭有极大关系.

（3）根据自然保护区设计原理以及岛屿生物学理论，自然保护区特别是湖泊湿地自然保护区的建设，应该选择在空间相关性小、具有一定离群性的‘岛屿’区域[5]. 洪泽湖水质污染事故不断，局部、短时的水质恶化[6]对于时空相关性小的区域的影响也小. 7 号监测点为 *MPR* 和 *SI* 的低值区，因此，在洪泽湖湿地自然保护区规划中，宜选择溧河洼－杨毛嘴一带为核心区.

(4) 人为造成局部区域的时空相关性减小可以达到保护生态环境的目的. 对于那些需要抢救性保护的重点生态地理区域,采取工程措施加强保护是必要的,也是可行的. 例如,为了缓和湖泊水污染对洪泽湖湿地自然保护区的威胁,减小水位波动,使其生态安全特别是水质安全能够等到基本保障,在临淮头的东南角——仁集镇排涝站北部修建一个全长约 8 km 的"生态坝"(坝顶高程不超过 11.5m),既无碍于水利,又可以减小自然保护区的时空相关性,形成一个具有相对独立性的"生态岛",将有助于湖泊湿地生物多样性保护.

(5) 时空性关性分析方法在湖泊水质功能区划分上,具有重要的应用价值;基于相关矩阵,从系统时空相关性分析来研究人地关系,也是一种有效途径.

参 考 文 献

1 周国法,徐汝梅. 生物地理统计学——生物种群时空分析的方法及其应用. 北京:科学出版社,1998:1 – 9

2 Andersen M. Spatial analysis of two species interaction. *Oecologia*, 1992,**91**:134 – 140

3 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用. 北京:科学出版社,1999:43 – 52

4 唐 涛,蔡庆华,潘文斌. 地统计学在淡水生态学中的应用. 湖泊科学, 2000,**12**(3):280 – 287

5 牛文元. 岛生物地理原理及生态保护. 见:马世俊主编. 现代生态学透视. 北京:科学出版社,1990:101 – 108

6 朱松泉,窦洪身. 洪泽湖——水资源和水生生物资源. 合肥:中国科学技术大学出版社,1993:35 – 40,63 – 64

Spatio-temporal Correlation Analysis of Water Quality in Hongze Lake

LI Bo[1,2] PU Peimin[2] HAN Aimin[3]

(1: *Institute of Resource Science, Beijing Normal University, Beijing* 100875, *P. R. China*;
2: *Nanjing Institute of Geography and limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008, *P. R. China*;
3: *Environment Protection Bureau of Huaian City, Huaian* 223001, *P. R. China*)

Abstract

Hongze Lake is one of the five biggest frestwaterr lakes of China. Based on the monitoring environmental data in 1990 – 2000 in Hongze Lake, a database of lake water quality and spatial distribution was established. After analyzing the correlation matrixes of water quality indexes and sampling points, the spatio-temporal correlativity of water quality indexes were revealed by using the software of Origin and GIS etc. The temporal and spatial distribution characters of water quality indexes in Hongze Lake were also given. The result showed that there existed certain spatio-temporal correlativity of water quality indexes in Hongze Lake; and the spatio-temporal relativity of water quality indexes had been strongly disturbed by human activities. Hence the nature reserves in wetlands should be located in the areas with low spatio-temporal correlativity.

Keywords: Hongze Lake; water quality; spatio-temporal correlativity