

# 黄淮海平原封丘试区水体理化 性状的多元分析\*

黎道丰 刘瑞秋 倪乐意 伍焯田 蔡庆华 梁彦龄

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

## 提 要

在封丘试区内两个最具代表性水体(曹岗湖, 潘店芦苇荡)水质调查的基础上, 对主要水质指标及其集合进行方差分析和聚类分析, 结果表明: 封丘试区水体具有典型的北方水体特征, 其水质的变化主要受季节影响, 水体间无甚大差别。各水体 pH 值偏高 (年平均值为 8.0—9.0), 属弱碱性; 硬度较大 (17.54—20.63 德国度), 均属硬水且有逐年上升趋势; 离子总量较大 (860—1448 mg/L); 碱度 (4.57—5.20 me/L) 和主要营养物含量 (总氮 1.31—2.08 mg/L, 总磷 0.100—0.135 mg/L) 较高, 属富营养型水体。文中指出: 该试区水体水质状况较好, 渔业开发潜力较大, 但磷是水体生物生产力的主要限制性营养物。

**关键词** 理化特性, 黄淮海平原, 湖泊, 芦苇荡, 方差分析, 聚类分析

封丘试区属北温带半湿润季风气候, 光热资源丰富, 气候温和。其全年日照时数为 2300—2500h, 日照率为 55% 左右, 太阳年辐射量为 460—500 KJ/cm<sup>2</sup>; 年平均气温 14℃ 左右, >0℃ 积温在 5100℃ 以上, 无霜期约 220d; 降水量年际变动较大, 年平均为 550—650mm; 蒸发量约为降水量的 3 倍, 年平均为 1860mm。由于受季风气候影响, 降水集中, 干湿季分明, 试区内坑塘、洼地众多, 渠道、河沟交错, 地下水源丰富, 水域总面积较大, 渔业开发的前景良好。

作为鱼类和其他经济水生生物的生活介质, 水的理化状况直接影响鱼类生存和渔业发展, 因此, 在考虑水体的开发利用时, 应首先进行水质调查。为了探讨黄淮海平原水体渔业利用的潜力, 本工作选择封丘试区内最大和最有代表性的两个水体: 潘店-留光-油坊芦苇荡(以下简称潘店芦苇荡)和曹岗湖, 在水质常规分析的基础上, 用多元分析的方法定量研究其水质动态, 为黄淮海平原水体的开发利用提供科学依据。

## 样点选择与工作方法

潘店芦苇荡 (35°02'N, 114°33'E) 位于封丘县东部, 呈东西向狭长形, 长 7—8km,

\* 中国科学院封丘农业生态试验站基金项目, 编号 A890201。

王洪铸同志参加部分采样工作。

1991年4月12日收到。

宽 0.6—1.2km, 总面积约 1 万亩, 跨潘店、留光和油坊三个乡, 由天然渠、天然七支(以下简称七支)、天然八支(简称八支)将其分为四个部分: 七支以西已基本上开发为农田, 八支以东因围垦烧窑仅余沿林庄村旁数百亩水体生长芦苇, 天然渠以北多为面积较小的零星水体且以芦苇为主, 七支、八支间为主要水体, 面积约 3000 亩, 芦苇和蒲草生长茂盛。潘店芦苇荡每年 3—5 月因降雨和引灌黄河水而开始进入丰水期, 水位在 8—9 月最高, 至 10 月后则因收割芦苇而排水干荡, 是以滋长芦苇为主的季节性水体。

曹岗湖 (35°N, 114°39'E) 地处封丘县东南部, 由黄河决口冲刷而成。湖形南北向狭长, 约 2.40km, 宽仅 0.35km, 水面积约 1300 亩, 可分为北部浅水区(面积约 600 亩, 芦苇、蒲草和大茨藻群丛分布其中)和中心敞水区两大部分, 后者常年水深达 1.8m 以上。近年来该湖的渔业生产已初具规模。

本工作根据潘店芦苇荡和曹岗湖的形态学及植物分布特征<sup>1)</sup>, 在潘店芦苇荡(以七支、八支间的主要区域为研究对象, 下同)设两个采样点(图 1): 中心为 PZ 站(优势植物为芦苇和香蒲), 屯里排入水口为 PS 站(植物稀少, 零星分布着香蒲群丛); 在曹岗湖亦设两个采样点(图 2): 中心为 CZ 站(敞水区, 浮游植物占优势), 北部浅水区为 CB 站(优势植物为大茨藻)。根据生物生长特性, 1990 年分别在 3 月底、5 月初、5 月底、6 月底、8 月初和 9 月初采样。水样的采集均视水深取中层或表底层混合样。测定分析的水质理化因子有 pH 值、水温、水深、透明度、硬度、碱度、化学耗氧量、电导率和主要营养物即各态氮、磷、硅等。各项水质因子的分析均以常规方法进行, 比色仪器用国产 721 和 751 分光光度

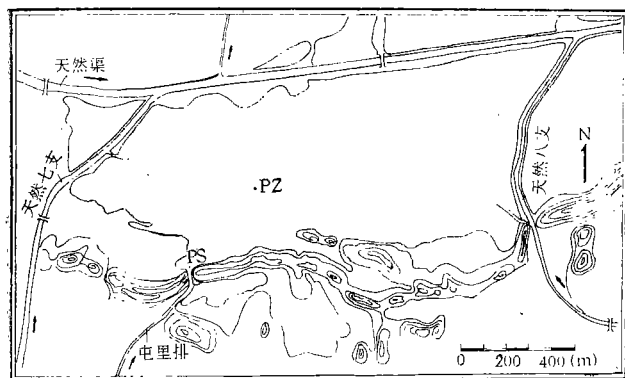


图 1 潘店芦苇荡地形与样点分布图

Fig. 1 Map of Pandiah reed marshes, showing topography and sampling points.

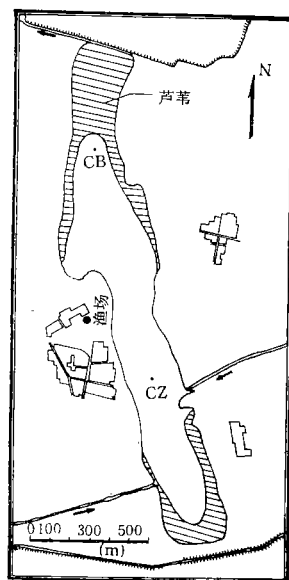


图 2 曹岗湖地形与样点分布图

Fig. 2 Map of Caogang Lake, showing topography and sampling points.

1) 倪乐意等, 1990. 封丘试区水生大型植物区系及优势种(芦苇)现存量 and 生产量研究(手稿)。

计,数据处理用自编及通用统计软件在 IBM-PC/XT 微型计算机上进行。

## 结 果 与 讨 论

### (一) 主要理化特性

各样点主要水质因子的年平均值及变异情况见表 1。

表 1 主要水质因子的基础统计量

Tab. 1 Basic statistics for main factors of water quality

项 目 Item	潘店芦苇荡 Reed marshes				曹岗湖 Lake Caogang			
	PZ		PS		CZ		CB	
碱度 (me/L) Alkalinity	4.57*	1.25	4.81	1.55	5.15	0.60	5.20	0.82
	3.00	0.51	3.45	0.63	1.41	0.24	2.12	0.33
硬度(德国度) Hardness	17.85	4.97	17.54	4.44	20.63	5.45	19.62	5.20
	14.50	2.03	12.59	1.81	13.04	2.22	13.17	2.12
COD(mg/L)	20.68	11.90	21.88	9.79	16.92	7.24	14.96	8.37
	32.96	4.86	25.44	4.00	19.83	2.96	24.26	3.42
NO <sub>3</sub> -N(mg/L)	0.339	0.387	0.284	0.246	0.080	0.062	0.133	0.088
	1.064	0.158	0.595	0.101	0.181	0.025	0.243	0.036
NO <sub>2</sub> -N(mg/L)	0.027	0.033	0.029	0.032	0.008	0.006	0.008	0.007
	0.073	0.013	0.086	0.013	0.014	0.002	0.013	0.003
NH <sub>4</sub> -N(mg/L)	0.241	0.161	0.331	0.201	0.176	0.104	0.233	0.205
	0.338	0.066	0.517	0.082	0.264	0.043	0.559	0.084
T-N(mg/L)	1.54	0.52	2.08	0.60	1.31	0.56	1.59	0.55
	1.54	0.21	1.68	0.24	1.68	0.23	1.68	0.22
PO <sub>4</sub> -P(mg/L)	0.038	0.049	0.036	0.051	0.049	0.078	0.045	0.064
	0.135	0.020	0.136	0.021	0.200	0.032	0.167	0.026
T-P(mg/L)	0.100	0.062	0.117	0.067	0.135	0.070	0.130	0.065
	0.184	0.025	0.184	0.027	0.182	0.029	0.155	0.027
SiO <sub>2</sub> (mg/L)	7.01	3.83	8.51	3.85	1.51	1.28	2.80	2.05
	11.05	1.56	9.29	1.57	2.75	0.52	4.65	0.84

\* 表内数据  $\frac{1}{3} \mid \frac{2}{4}$  表示: 1. 平均值 Average; 2. 标准差 SD; 3. 极差 Range; 4. 标准误 SE

1. 水温 由于水浅,各水体的水温受气候影响较大,全年均无分层现象;两个水体的水温也基本相同,差异小于 1℃,最高水温达 34℃(CB 站)。

2. 水深 潘店芦苇荡的水深变化较大: PS 站常年有水,水深在 0.3—1.5m 之间,平均大于 1m; PZ 站最大深度可达 1.8m 以上。曹岗湖水深变动不大: CB 站在 0.3—0.5m,

CZ 站在 1.5—2.1m。

**3. 透明度** 曹岗湖 CZ 站的萨氏盘透明度变动在 20—48cm 间, CB 站略高, 潘店芦苇荡两个站均透明见底。

**4. pH 值** 潘店芦苇荡的 pH 值变动不大, 均在 8.0 左右。曹岗湖两个站的 pH 值有明显差别: CZ 站平均为 8.5 左右, CB 站则在 9.0 以上。由于水体中 pH 值受水生植物光合作用影响甚大, 且 CZ 站以浮游植物为主, 而 CB 站则以沉水植物占优势, 故沉水植物区单位面积生产量高于浮游植物区。

**5. 电导率** 潘店芦苇荡两个站的电导率变动不大, 均在  $900\mu\text{S}/\text{cm}$  左右, 曹岗湖电导率为  $1500\mu\text{S}/\text{cm}$  左右, 故曹岗湖各种离子含量比潘店芦苇荡高得多。另外, 近年来的资料<sup>1)</sup>表明, 曹岗湖湖水电导率有上升趋势。

**6. 碱度** 潘店芦苇荡 PZ 站的碱度变动在 3.35—6.35me/L 之间, 平均为 4.57me/L; PS 站为 3.35—6.80me/L, 平均为 4.81me/L。曹岗湖 CZ 站的碱度变动于 4.26—5.67me/L 之间, 平均为 5.15me/L; CB 站为 4.02—6.14me/L, 平均为 5.20me/L。说明同一水体的碱度无大差异, 而曹岗湖较潘店芦苇荡碱度稍高。此外, 两水体碱度有相同的季节动态即春季高、秋季低。

**7. 硬度** 与碱度变化趋势相似, 水体内硬度差别不大, 而水体间差异较为明显, 季节动态为春夏季较高、秋季较低。按水质硬度分类, 两个水体均属硬水(表 1)。值得注意的是, 近几年来曹岗湖湖水的硬度有明显的上升趋势, 比较资料<sup>1)</sup>和本研究的结果, 发现水质硬度的年平均值均以 18.6% 的速率递增。

**8. 化学耗氧量** 潘店芦苇荡的化学耗氧量变动很大, 而曹岗湖化学耗氧量变动较小, 同时曹岗湖的化学耗氧量低于潘店芦苇荡(表 1), 这说明季节性水体(芦苇荡)有机质丰富, 但稳定性较差。

**9. 主要营养物** 从表 1 可以看出, 两个水体的主要营养物含量都很丰富, 均属富营养型水体, 生物生产潜力较大。

## (二) 方差分析

从以上结果可以看出, 就一般而言, 两个水体间的差异较大而同一水体内两样点间的差异较小。为了比较样点间及季节间水质因子动态变化的异同性, 对几种主要水质指标进行两因素方差分析(经用 F 检验知其方差均为齐性), 结果如表 2。

**1. 样点间** 除硬度和  $\text{SiO}_2$  外, 各指标在样点间的差异均不显著, 说明各样点的水质状态较为相似。硬度和  $\text{SiO}_2$  在样点间有显著性差异大概是由于引水、地表径流、风浪等引起水体泥沙增加, 使硬度和  $\text{SiO}_2$  出现较大变化。

**2. 季节间** 除  $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$  和 T-N 外, 其余各水化因子的季节差异都很显著, 说明它们与生物的生长代谢关系密切。至于上述三态氮化合物较为稳定(不仅样点间差异不显著, 季节间亦无显著性差异)的原因, 可理解为水体内氮的内负荷较大, 即使经生物大量利用后仍可保持其相对稳定性。比较氮、磷营养盐, 发现磷的季节性变动很大: 其在

1) 张水元, 刘瑞秋, 1990。曹岗湖的理化特性及渔业评价。“封丘试区渔业发展及渔业生态的研究”(七五攻关论文集)。

表 2 主要水质指标的方差分析

Tab. 2 Analysis of variance for main factors of water quality

Source		DF	SS	MS	F	S.L.	Source		DF	SS	MS	F	S.L.
COD	A	3	187.34	62.45	1.17	0.3527	SiO <sub>2</sub>	A	3	199.97	66.66	15.28	0.0001
	B	5	1001.99	200.40	3.77	0.0208		B	5	111.05	22.21	5.09	0.0063
	E	15	797.98	53.20				E	15	65.45	4.36		
	T	23	1987.31					T	23	376.47			
硬度	A	3	38.80	12.93	3.29	0.0500	NO <sub>3</sub> -N	A	3	0.2702	0.0901	2.45	0.1038
	B	5	446.75	89.35	22.70	0.0000		B	5	0.5601	0.1120	3.05	0.0429
	E	15	59.03	3.94				E	15	0.5517			
	T	23	544.58					T	23	1.3820			
碱度	A	3	1.59	0.53	0.72	0.5540	NO <sub>2</sub> -N	A	3	0.0024	0.0008	1.69	0.2111
	B	5	14.14	2.83	3.87	0.0188		B	5	0.0037	0.0007	1.53	0.2393
	E	15	10.97	0.73				E	15	0.0072	0.0005		
	T	23	26.70					T	23	0.0133			
PO <sub>4</sub> -P	A	3	0.0007	0.0002	1.10	0.3813	NH <sub>4</sub> -N	A	3	0.0742	0.0247	0.88	0.4752
	B	5	0.0728	0.0145	63.88	0.0000		B	5	0.1710	0.0342	1.21	0.3507
	E	15	0.0034	0.0002				E	15	0.4232	0.0282		
	T	23	0.0769					T	23	0.6684			
T-P	A	3	0.0054	0.0018	0.70	0.5693	T-N	A	3	1.884	0.628	2.86	0.0721
	B	5	0.0488	0.0098	3.78	0.0206		B	5	2.928	0.586	2.67	0.0645
	E	15	0.0388	0.0026				E	15	3.295	0.220		
	T	23	0.0930					T	23	8.107			

其中 A = 样点间 station; B = 季节间 season; E = 误差 residual; T = 总变异 total; S.L. = 显著水平 significant level

各样点都有相同的季节动态即冬春高、夏秋低。可见，磷的多寡与生物生长关系极为密切，因此可以认为磷是水体生物生产力的主要限制性营养物<sup>[2,9]</sup>。

综合表 1、2 可以看出：封丘试区水质因子的变动主要受季节影响。

(三) 聚类分析

水体的理化性状与水温、透明度、pH 值、耗氧量以及各种营养物等诸多因子有着密切的关系，实际上是各单项因子的综合反映。如上所述，由于环境结构和生物组成不同，各单因子表观反应的趋势亦不尽相同，因此，只用某项因子说明水体的理化性状是不够的，只有通过多变量分析才能较为准确地反映客观规律。目前，随着计算机科学的发展和广泛应用，多元分析的方法在生物学各领域中得到较多应用<sup>[3,4,8]</sup>，但应用于水化学方面的报道尚不多见。本文应用 Fuzzy 聚类分析方法，研究上述水体水质状态的动态关系。在选择相似系数公式时，比较了  $S_j$ (Jaccard)、 $Q_s$ (Sorensen) 等多种公式，最后认为使用夹角余弦较优<sup>[31]</sup>。

以化学耗氧量、碱度、硬度和七种主要营养物(氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、总氮、磷

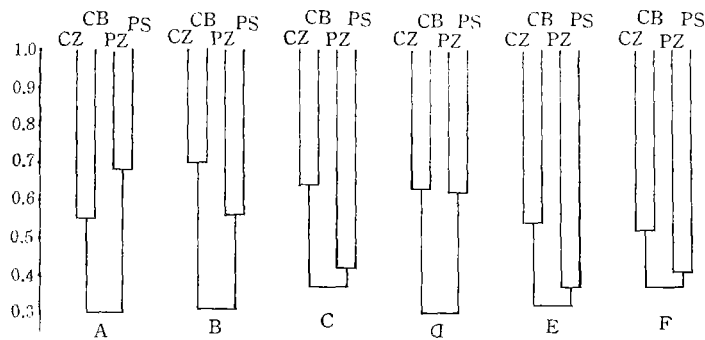


图 3 样点间水质状态的动态 Fuzzy 聚类图

Fig. 3 Fuzzy cluster dendrogram of water quality of different sampling points.

A, 三月底 late March; B, 五月初 early May; C, 五月底 late May;  
D, 六月底 late June; E, 八月初 early Aug.; F, 九月初 early Sep.

表 3 样本序号与季节划分

Tab. 3 No. and season of sampling

样本序号No.	1 7 13 19	2 8 14 20	3 9 15 21	4 10 16 22	5 11 17 23	6 12 18 24
采样日期 Date	3.29	5.08	5.27	6.27	8.03	9.01
季节 Season <sup>1)</sup>	早春 ESP	春 SP	春末 LSP	仲夏 MS	夏末 LS	初秋 EA

其中 CZ 站 1—6, CB 站 7—12, PZ 站 13—18, PS 站 19—24.

1) ESP: early spring; SP: spring; LSP: late spring; MS: middle summer;  
LS: late summer; EA: early autumn.

1) 梁彦龄等, 1990. 武陵山区水系大型无脊椎动物的现存量 and 资源评价. 武陵山区水生动物资源和评价 (待出版).

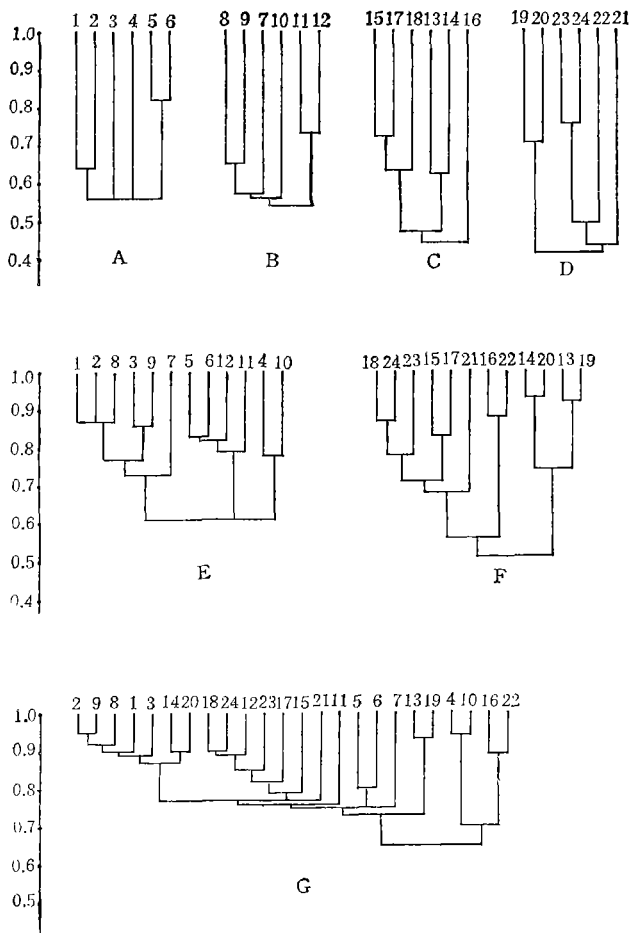


图 4 季节间水质状态的动态 Fuzzy 聚类图

Fig. 4 Fuzzy cluster dendrogram of water quality of different seasons

A, Station CZ; B, Station CB; C, Station PZ; D, Station PS; E, Caogang Lake (CZ + CB); F, Pandian reed marshes (PZ + PS); G, All points (CZ + CB + PZ + PS)

酸盐、总磷和硅酸盐)为指标,组成 10 维水质状态空间。这样,每个样点都有 6 个 10 维样本,每个水体都有 2 个样点共 12 个样本,而每个采样时间都有 4 个样本,总计 24 个样本(表 3)。用聚类分析定量研究各样本水质状态的动态关系,结果如图 3、4 所示。

各样点间水质状态的相似关系见图 3(A—F)。表明在同一采样时间,水体间的差异大于水体内的差异。图 4(A—D) 给出每个样点水质状态的季节动态关系。为了便于比较,各样点均取 0.60 为截集水平。在这个水平上, CZ 站(图 4. A)可分为 4 类: {1, 2} 为春季型, {3} 春末夏初型, {4} 仲夏型, {5, 6} 夏末秋初型; CB 站(图 4. B)可分为 4 类: {7} 初春型, {8, 9} 春夏型, {10} 仲夏型, {11, 12} 夏末秋初型, PS 站(图 4. D)可分为 4 类: {19, 20} 春季型, {21} 春末夏初型, {22} 仲夏型, {23, 24} 夏末秋初型; PZ 站(图 4. C)可分为 3 类: {13, 14} 春季型, {16} 仲夏型, {15, 17, 18} 夏末秋初型。值得注意的是: 除 PZ 站外, 各样点均可依生物生长规律分为春、春末夏初、仲夏和夏末秋初型, 而 PZ 站 5 月底

的水质状态{15}与其 8、9 月相似,其原因尚待进一步研究。综上所述,尽管各单项水质因子的季节性动态有的明显有的不甚明显(表 2),但总的来看各样点的水质状态季节性差异很明显。图 4(E,F) 分别给出两个水体中各个样本间的相似关系。在 0.65 的截集水平上,曹岗湖(图 4. E)可分为 3 类:{2,3,7,8,9}为春季型,{4,10}为仲夏型,{5,6,11,12}为夏末秋初型;潘店芦苇荡(图 4. F)亦可分为 3 类:{13,14,19,20}为春季型,{16,22}为仲夏型,{15,17,18,21,23,24}为夏末秋初型。结果表明:总的来说,各水体内样点间差异不大而季节性差异明显。图 4(G) 给出两个水体所有样本之间的动态相似关系。在 0.78 的截集水平上,上述所有样本可分为 6 种主要类型:{1,2,3,8,9,14,20}为春季藻型,{4,10}为仲夏藻型,{5,6}为夏秋藻型,{13,19}为初春草型,{16,22}为仲夏草型,{12,15,17,18,23,24}为夏秋草型。不难看出,水体间的差异较小而季节性差异较大(与方差分析结果相似);同时,从图中还可以看出:这两个水体的水质状态虽有差异存在,但总的来看其相似程度仍然较大,表明该试区水体的水质状况从综合指标上看无甚大差别。

综上所述,封丘试区水体具有典型的北方水体水质特征<sup>[1]</sup>,水质状态的季节性动态比较显著;同一采样时间,水体内的差异不明显而水体间差异较大,但从总的来看各水体相似程度较高。各水体 pH 值偏高,属弱碱性;水体硬度较大,属硬水且有逐年上升趋势;离子总量较高;碱度和主要营养盐含量较高,均属富营养型水体,具有较好的渔业开发利用前景。但磷是限制水体生物生产力的主要营养物,在渔业开发中应注意适当补充磷盐。

### 参 考 文 献

- [1] 中国内陆水域渔业资源编写组,1990。中国内陆水域渔业资源。农业出版社。
- [2] 王骥、沈国华,1981。武汉东湖浮游植物的初级生产力及其与主要生态因素的关系。水生生物学集刊,7(3): 295—311。
- [3] 蔡庆华,1988。东湖生态系统污染状况的 Fuzzy 聚类分析。水生生物学报,12(3): 193—198。
- [4] Legendre, L. & Legendre, P., 1983. Numerical ecology. Elsevier Sci. Publishing Co. Amsterdam.
- [5] Liang, Y. L. et al, 1981. Primary production and fish yield in Chinese ponds and lakes. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 110: 346—350.
- [6] Liang, Y. L. et al, 1988. Hydrobiology of a flooding ecosystem, Lake Chenhu in Hanyang, Hubei, with preliminary estimation of its potential fishery production capacity. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 6(1): 1—14.
- [7] Reynolds, C. S., 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press, London.
- [8] Stuessy, T. F., 1990. Plant taxonomy: the systematic evaluation of comparative data. Columbia Univ. Press. N. Y.
- [9] Wetzel, R. G., 1983. Limnology. 2nd ed. Saunders College Publishing Company. Philadelphia.

## PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND MULTIVARIATE ANALYSIS OF WATERS IN FENGQIU EXPERIMENTAL DISTRICT IN THE HUANGHUAHAI PLAIN, HENAN PROVINCE

Li Daofeng   Liu Ruiqiu   Ni Leyi   Wu Zhuotian   Cai Qinghua   and   Liang Yanling

*(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan 430072)*

### Abstract

Analysis of variance and cluster analysis were made on several parameters of water quality for two representative water bodies (Caogang Lake, Pandian reed marshes) in the Fengqiu Experimental District. The results showed that water quality was typical in Northern China and was usually influenced seasonality. There were no apparent differences in water quality between the two water bodies. The pH value was relatively high (annual means, 8.0—9.0) and the water was weakly alkaline. The hardness was high (17.54—20.63) and tended to increase over the years. The waters were rich in ions, with high alkalinity (4.57—5.20 me/L) and concentrations of nutrient salts (eg. TN: 1.31—2.08 mg/L, TP: 0.100—0.135 mg/L). In conclusion, the water bodies have good water quality and high potential for fishery development. Phosphorous may be the major limited nutrient for aquatic productivity.

**Key words**   Physicochemical characteristics, Huanghuaihai plain, Lake reed marshes, Analysis of variance, Cluster analysis