

阳澄湖水质现状及原因探讨

桂智凡^{1,2}, 薛 滨¹, 姚书春¹, 魏文佳^{1,2}

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:阳澄湖丰水期和枯水期水质调查结果显示: TN、叶绿素、TP 和 COD_{Mn} 丰枯期都呈从西湖区向东湖区递减趋势, 且一般枯水期大于丰水期, TP 反之; 丰枯期水质均较差, 为Ⅳ类或劣Ⅴ类, 污染物主要为 TN 和 TP; 富营养化加重趋势有所缓解, 但水体仍呈富营养化状态。氮磷来源分析表明: 丰枯期 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 与 TN 以及丰水期 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 与 TP 有显著正相关关系。叶绿素浓度与 TN 在枯水期有显著相关性, 其他时期叶绿素浓度与 TN、TP 的相关性均不显著。阳澄湖养殖活动和底泥营养盐释放可能是导致上述变化的主要原因。

关键词: 阳澄湖; 水质; 富营养化; 影响因素

中图分类号: X524 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2011)12-1487-06

随着经济和城市化的快速发展,太湖流域湖泊富营养化和蓝藻暴发已成为当前主要的水环境问题^[1],也是制约区域经济和社会发展的一个重要难题。有关湖泊的富营养化、蓝藻暴发及形成机理^[2-4]、湖泊营养状态的长期演变^[5,6]的相关研究成果非常多,但这些研究多集中于太湖、巢湖这些大型湖泊。对于养殖型湖泊的研究较少报道。阳澄湖(31°21′~31°30′N、120°39′~120°51′E)地处吴县、苏州和昆山3县市间,总面积118.93 km²,平均水深1.43 m,蓄水量 $1.67 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[7]。湖中间两条狭长的半岛把整个湖面分为东、中和西湖3部分,四周河道稠密,进出河流有59条,其中西线17条、北线12条、东线15条,主要接纳太湖及西部来水,东出戚浦塘、杨林塘和济河注入长江,南出娄江与吴淞江、澄湖、淀泖湖群等相通^[8]。周边经济发达,同时也是全国闻名的养殖基地,如阳澄湖大闸蟹是当地重要的产业之一;此外该湖还是重要的饮用水水源地。因此阳澄湖的水质好坏不仅关系到养殖业的发展,也关系到居民的饮用水安全。本研究基于2009年5月(枯水期)和10月(丰水期)的两次全湖实地采样分析以及前人的研究,对比分析阳澄湖水质状况和变化趋势,探讨阳澄湖的富营养化的原因和污染物的来源,从而为阳澄湖水源管理和水质改善提供理论支持。

1 研究方法

1.1 样品采集和测定项目

采样时间为2009年5和10月。在阳澄湖水域共设立27个样点(图1),其中1~12号样点在西湖区,13~18号在中湖区,19~27号在东湖区。另外在主要入湖河道设置样点采集水和泥样,北1至北4及狄1至狄3分别位于西湖区西岸的北河泾、荻溪塘两条河流。由于阳澄湖水深较浅,因此采集的是混合样。用有机玻璃采水器采集不同深度的水样,采集体积为5 L。水样现场放入保温箱中冷藏保存。水样用0.45 μm GF/F滤膜过滤,滤液用于氮形态的分析,滤膜上的截留物用于叶绿素分析。同时用彼得逊采泥器在上述样点采集河道和湖底表层底泥。

现场测定pH、水温(T)、溶解氧(DO),同时用黑白盘测定透明度(SD)。滤液实验室内用Skala分析硝态氮、亚硝态氮、氨氮;滤膜上的截留物用采用文献11的方法测定叶绿素含量;原水样的总磷(TP)、总氮(TN)、化学需氧量(COD_{Mn})和磷酸盐($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$)的测定采用文献所12述方法。表层沉积物样用元素分析仪测量总氮和总有机碳。

1.2 水质评价方法

近些年太湖研究表明其水质的主要污染物是

收稿日期:2010-10-23; 修订日期:2010-12-26

基金项目:国家自然科学基金项目(41072133)资助。

作者简介:桂智凡(1980-),男,湖北孝感人,博士研究生,湖泊沉积与环境。E-mail: guizhifan249@sohu.com

通讯作者:薛 滨,研究员。E-mail: bxue@niglas.ac.cn

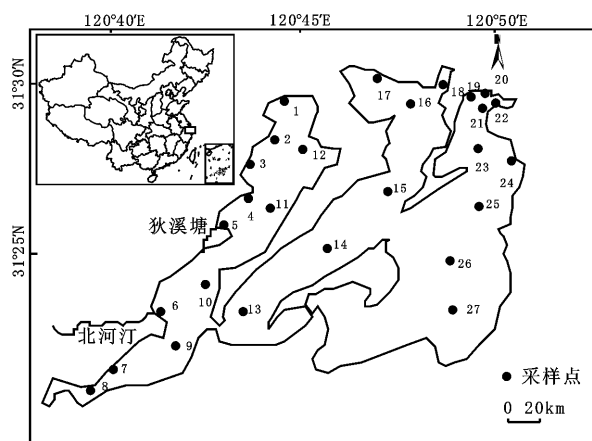


图1 阳澄湖样点位置

Fig. 1 Location of the 27 sampling sites in Yangcheng Lake

氮、磷、耗氧有机物^[13~15]。依据《地表水环境质量标准》^[16],本文借鉴太湖研究成果,选取 TN、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 COD_{Mn} 指标,采用单项评价法,以单项评价中的最高水质类别为该水体的水质类别。富营养化评价的方法和模型非常多^[17,18],本文采用 Chl-a、SD 及 TP 指标,采用营养状态指数(TSI)来评价湖泊富营养化状态,TSI 指数采用文献 19 所述方法计算,其中 TSI(Chl-a)、TSI(SD)、TSI(TP)则按照 Carlson 提出的营养状态指数计算方法^[20]获得。一般调和型湖泊按如下标准进行分类:贫营养 TSI < 37; 38 < 中营养 TSI < 53; 富营养 TSI > 54。

2 结 果

2.1 阳澄湖不同湖区水质状况

本次调查显示枯水期和丰水期 TN 的范围分别为 0.87 ~ 4.07 和 1.10 ~ 4.67 mg/L,平均值为 2.23 和 2.08 mg/L; TP 的范围为 2.00 ~ 456.80 和 86.89 ~ 249.80 $\mu\text{g/L}$,均值为 126.32 和 155.55 $\mu\text{g/L}$;

叶绿素的范围为 3.57 ~ 75.00 和 2.23 ~ 42.21 $\mu\text{g/L}$,均值为 34.49 和 15.50 $\mu\text{g/L}$; COD_{Mn} 的范围为 6.10 ~ 8.20 和 2.59 ~ 6.71 mg/L,均值为 6.96 和 4.79 mg/L。结果还显示丰枯期这些指标的变化趋势趋于一致,都呈现出从西湖向中湖、东湖减少的趋势,这可能是因为入湖河流多位于西湖区,这些入湖河流带来大量工、农业及生活废水和污水导致的。除 TP 外,这些水质指标均表现出枯水期的大于丰水期的特点,这可能是枯水期湖泊水量较少,同时正值农业生产和养殖业的生长期,导致入湖营养物质增多,从而使 TN、叶绿素和 COD_{Mn} 呈现上述趋势。

各湖区湖心、入湖口和河道水质显示(表 1): 枯水期除东湖区入湖口和湖心水质为 IV 类外,其他湖区湖心、河道和入湖口的水质为 V 类或劣 V 类,其中中湖湖心水质较中湖入湖口差为劣 V 类;西湖入湖口和湖心、河道及东湖入湖口水质控制因子为 TN 和 TP,而中湖和东湖湖心为 TN。丰水期各湖区水质类别与枯水期相比,略有降低,除东湖湖心为 IV,其他区域都为 V 类或劣 V 类,控制因子和前述相同。另外 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 COD_{Mn} 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 均不是各湖区的水质控制因子, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 指标评价水质类别最高为 IV 类,一般均在 II 类或以下。

2.2 阳澄湖不同湖区的富营养化状况

叶绿素 a 是衡量水质高低一个重要指标,也是指示水体富营养化程度的重要指标^[21]。叶绿素 a 作为评价水体富营养化的指标应用较广,但不同学者有不同的标准^[22,23]。阳澄湖不同湖区叶绿素的结果(图 2)显示,对照上述标准,丰枯期只有极少位于东湖区的点位处于中营养水平,其他点位均处于富营养化水平;就湖区而言,枯水期西湖湖心富营养水平最高,叶绿素 a 含量达到 52.01 $\mu\text{g/L}$,东

表1 5月和10月各湖区水质指标状况(mg/L)

Table 1 Water quality and grade in different part of west, middle and east lake in May and October, 2009 (mg/L)

湖区	枯水期(5月)					丰水期(10月)				
	TN	TP	COD_{Mn}	水质类	控制因子	TN	TP	COD_{Mn}	水质类	控制因子
西湖入湖口	3.08	0.206	7.2	劣V类	TN、TP	2.94	0.168	5.2	劣V类	TN
西湖湖心	2.89	0.203	6.8	劣V类	TN、TP	2.33	0.190	5.3	劣V类	TN
中湖入湖口	1.84	0.095	7.1	V类	TN	2.02	0.199	4.7	劣V类	TN
中湖湖心	2.15	0.055	7.7	劣V类	TN	1.79	0.142	4.5	V类	TN、TP
东湖入湖口	1.42	0.095	6.5	IV类	TN、TP	1.42	0.123	4.0	V类	TP
东湖湖心	1.17	0.015	6.5	IV类	TN	1.26	0.096	4.8	IV类	TN、TP
入湖河道	3.51	0.311	7.0	劣V类	TN、TP	4.10	0.243	5.2	劣V类	TN、TP

注:入湖河道主要指狄溪塘和北河泾两条河流,以下均同。

湖湖心最低,其含量为 7.14 $\mu\text{g/L}$; 丰水期中湖湖心富营养化水平最高,叶绿素 a 含量达到 20.37 $\mu\text{g/L}$,入湖河道最低其含量 4.28 $\mu\text{g/L}$; 各湖区不同部位相比,湖心一般高于入湖口处。

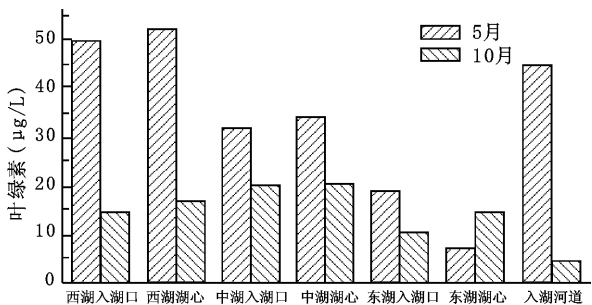


图2 2009 年 5 和 10 月各湖区叶绿素含量($\mu\text{g/L}$)
Fig.2 The content of Chl-a in different area of thelake
in May and October, 2009($\mu\text{g/L}$)

由于造成水体富营养化的因素较多,采用单因子评价如叶绿素 a 指标评价水体的富营养化水平可能不够精确反映湖泊富营养化水平。采用营养状态指数进行综合评价,枯水期本次所设 27 个样点的 TSI 指数只有东湖湖心 4 个点位值处于中营养水平范围,但均大于 38,平均值为 74.13; 并且呈现出同前述水质指标和水质类别相一致的变化趋势。西湖区是重富营养(TSI 均值为 91.0); 中湖区富营养(TSI 均值为 65.6), 东湖区为富营养到中营养(TSI 均值 57.4), 整个湖区基本上处于富营养到重富营养状态。丰水期正处于农业活动减弱期和养殖业的收获期,外源氮磷的输入减少,因而 TSI (Chl - a) 较枯水期小,各湖区差异也较小,没有明显的从西向东的变化趋势; 但 TSI (TP) 和 TP 较枯水期高,可能与底泥磷释放有关。

3 讨 论

3.1 阳澄湖氮磷来源分析

水体中的氮磷营养盐可以是外源的输入,也可以是源于沉积物释放。各样点氮形态进行比较发现(表 2): DIN/TN 枯水期 > 丰水期; 同时丰枯期 DIN/TN 较大,达到 40% ~ 70% ,且比值呈现出入湖河流 > 西湖入湖口 > 西湖湖心 > 中湖湖心 > 中湖入湖口,这可能说明这些湖区氮以无机氮为主,并且溶解态氮比例较高; 但东湖入湖口和湖心处的 DIN/TN 只有 20% ~ 30% ,湖心和入湖口处的比值差距也较小,表明这些区域溶解态的无机氮含量较低,可能主要以有机氮为主,碎屑态的有机氮含量可能较高。各湖区 DIN/TN 的差异可能与氮的来源、湖水的自净能力与湖区养殖方式有关。一般来说高浓度的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 是城市生活污水和农村人畜排泄物的特征,邢光喜等研究表明苏州地区河道水体氮主要来自富含高浓度 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的城市生活污水、工业废水和农村人畜排泄物^[24]; 而阳澄湖各处 $\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{TN}$ 比 $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{TN}$ 大,同时 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度和 $\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{TN}$ 枯水期大于丰水期,而丰枯期 $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{TN}$ 浓度和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{TN}$ 变化均较小; 并且本次调查中发现西湖区水草少同时养殖主要是散养型,而东湖区密集型围网养殖,水草也较多,这样东湖区必然大量投放饵料,同时螃蟹活动可能会导致大量死草和底泥营养盐的释放,因而东湖区 DIN/TN 较小。这些说明了阳澄湖氮来源可能更多的是来自农田回水和湖泊养殖活动投放的饵料所导致,也说明阳澄湖实施各项水治理措施对城市污水和生活污水取得了一定效果。此外 DIN/TN、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 TN 浓度中湖湖心 > 中湖入湖口,这可能是由

表2 2009 年 5 和 10 月各湖区不同形态氮、磷所占比例

Table 2 Proportion of different forms of nitrogen and phosphorus in different part of the lake in May and October, 2009

	5 月			10 月		
	$\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{TN}$	DIN/TN	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}/\text{TP}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{TN}$	DIN/TN	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}/\text{TP}$
入湖河道	0.599	0.766	0.332	0.317	0.698	0.278
西湖入湖口	0.591	0.693	0.197	0.416	0.586	0.249
西湖湖心	0.513	0.594	0.022	0.397	0.468	0.293
中湖入湖口	0.313	0.450	0.020	0.313	0.405	0.268
中湖湖心	0.459	0.537	0.124	0.375	0.483	0.172
东湖入湖口	0.212	0.343	0.029	0.164	0.248	0.126
东湖湖心	0.236	0.306	0.145	0.106	0.191	0.031

注: $\text{DIN} = \text{NO}_3^- - \text{N} + \text{NH}_4^+ - \text{N} + \text{NO}_2^- - \text{N}$

于中湖区的湖心的几个样点都位于东西湖区沟通的航道附近,受行船影响所致。另外 TN 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 及 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 相关关系显示(图3): $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 与 TN 有显著线性正相关性($p < 0.01$),即 TN 含量高的地方, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量也高; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与 TN 相关性不显著,这可能与当地污水的治理有关,而农业回水和养殖活动可能导致 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 与 TN 存在显著相关性。

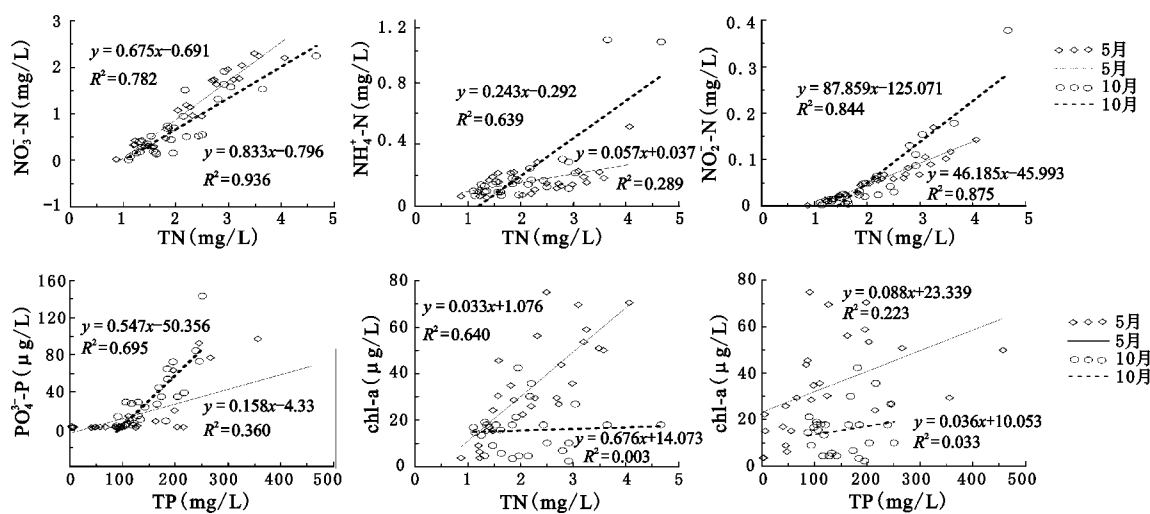


图3 丰枯期阳澄湖水体中不同形态氮磷、叶绿素和总氮总磷之间的相关关系

Fig. 3 The correlations between different forms of nitrogen and phosphorus, and Chl-a and total nitrogen and phosphorus in Yangcheng Lake in May and October, 2009

存在显著线性正相关关系($p < 0.01$, $R^2 = 0.695$),而枯水期则没有明显的相关性。这可能因为枯水期农业活动和养殖业带来大量外源性的磷,此时湖泊底泥成为磷汇;而丰水期农业活动和养殖饵料投放减弱导致外源磷输入减少,湖泊水生植物对磷的吸附作用也较弱,这时期湖泊底泥可能充当磷源,释放大量的磷导致 TP 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的增加。许多研究也表明浅水湖泊营养盐中磷的来源中底泥释放是重要来源^[25,26]。加强阳澄湖不同时期磷变化特征和来源研究对提高其水质有重要意义。

3.2 阳澄湖近几十年来水质变化

由表3可见,自20世纪70年代以来,该地区社会经济的快速发展导致水体营养物质浓度大幅度提高,氮磷的增长尤为迅速,大量氮磷的输入使得湖泊富营养化程度越来越严重,水质类别也由Ⅱ类水迅速变为劣Ⅴ类或Ⅴ类。近些年由于采取一些保护和治理措施,湖泊水体中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 大幅度下降, COD_{Mn} 逐渐减小,氮磷输入也得到一定控制,湖泊富营养化趋势有所缓解,但仍然超过湖泊富营养化

高浓度的 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 主要来自生活污水中的合成洗涤剂及人和动物排泄物,阳澄湖丰枯期的 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 浓度对比前人研究^[24]有了显著降低,这可能与禁止使用含磷洗涤剂有关。中和东湖区各样点丰水期 TP 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 远大于枯水期,同时除河道和东湖湖心外丰水期 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的浓度和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}/\text{TP}$ 也大于枯水期。丰枯期 TP 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的相关关系显示(图3):丰水期的 TP 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$

的水平。一般认为氮磷是造成水体富营养化的主要元素。Redfield 等认为浮游植物的生长受 N/P 原子比控制,当 $\text{TN}/\text{TP} > 7$ 时,则浮游植物生长受磷限制^[27]。本研究显示枯水期 27 个样点 TN/TP 除 6 个入湖口附近的样点外其余均大于 16,平均值 75,可以看出此时期湖泊富营养化受磷限制;但丰水期几乎所有样点的 TN/TP 小于 16,均值 14,反映此时磷浓度可能足够满足藻类生长的需求不再是湖泊富营养化的限制因子,氮可能是这时期的湖泊富营养化的限制因子。这和上述分析氮磷来源结果比较吻合。邓健才等对太湖研究显示磷是太湖水体藻类生长的限制因子^[28],高永霞等对天目湖研究也表明磷是其限制因子^[29]。因此进一步深入研究阳澄湖富营养化机理有助于制定合理有效的水质保护措施。

叶绿素浓度升高是湖泊富营养化的重要表现。许多研究表明氮磷营养对叶绿素含量有重要影响^[28,30]。本研究显示阳澄湖叶绿素含量与氮、磷的关系(图3),丰枯期氮磷和叶绿素相关性存在差

表3 阳澄湖近几十年水质变化 (mg/L)

Table 3 Change of water quality in Yangcheng Lake over the past few decades (mg/L)

时间	湖区	COD _{Mn}	NH ₄ ⁺ - N	NO ₃ ⁻ - N	TN	TP	PO ₄ ³⁻ - P	水质类别	资料来源
20 世纪 70 年代	全湖均值	3.4	0.031	—	1.45	—	—	Ⅱ	〔6〕
1990 ~ 1995 年	全湖均值	5.7	2.11	0.71	2.32	—	—	劣 V 类	〔1〕
	西湖区	5.0	0.998	1.82	3.55	0.05	0.008	劣 V 类	
1994 ~ 2005 年	中湖区	4.5	0.91	1.51	3.02	0.03	0.005	劣 V 类	〔2〕
	东湖区	5.5	0.11	0.66	0.98	0.01	—	Ⅲ	
	西湖区	6.8	3.34	—	—	—	—	劣 V 类	
2001 ~ 2005 年	中湖区	5.1	0.45	—	—	—	—	Ⅳ类	〔3〕
	东湖区	5.6	0.34	—	—	—	—	Ⅲ	
	西湖区	5.2	0.20	1.73	3.01	0.21	0.03	劣 V 类	
2009 ~ 2009 年 9 月	中湖区	4.6	0.14	0.89	2.05	0.07	0.002	劣 V 类	本研究
	东湖区	4.4	0.13	0.30	1.31	0.06	0.002	Ⅳ类	
	西湖区	5.2	0.32	1.12	2.74	0.18	0.05	劣 V 类	
2009 ~ 2010 年 10 月	中湖区	4.6	0.16	0.68	1.87	0.16	0.04	劣 V 类	本研究
	东湖区	4.4	0.10	0.19	1.35	0.11	0.009	V 类	

注: 2001 ~ 2005 期间数据为这 5 a 年均值平均的结果。

异性,叶绿素和总氮只在枯水期存在显著线性正相关关系($p < 0.01$),丰水期没有明显的相关性;而叶绿素和总磷则丰枯期均无明显的相关性。这说明枯水期叶绿素可能受总氮限制,而磷的限制作用较弱;丰水期则氮磷对叶绿素含量影响均较小。这与太湖研究结果有较大差异,这可能与阳澄湖是一个大型养殖型湖泊有关,大量残余的饵料为阳澄湖提供充足的氮磷营养,同时螃蟹食草特性及对底泥的扰动使得底泥很易成为氮磷的源,从而为藻类提供充足的营养盐。因此内源氮磷对阳澄湖叶绿素含量的影响还有待进一步深入的研究。

4 结 论

1) 水质恶化趋势和氮磷的输入得到一定控制,尤其是 NH₄⁺ - N 含量大幅度降低,但湖泊丰枯期水质均较差,除东湖湖心为Ⅳ类外,其他区域都为 V 类或劣 V 类,水质控制因子为 TN 和 TP。

2) 阳澄湖富营养化加重趋势缓解,但仍处于富营养化水平,丰枯期可能受不同营养盐限制。

3) 入湖河流输入的氮磷和养殖业的饵料投放是阳澄湖氮磷的一个重要来源,但湖泊底泥的营养盐的释放也是一个不可忽视的来源,因此阳澄湖水质提高既要加强集水区域农田回水污染控制,改善入湖河道水质,减少养殖规模和强度,也要加强对湖泊内源营养盐的消除措施。

致 谢: 感谢陈开宁副研究员、黄蔚博士在野外采样和论文写作中提供帮助,陶井奎参与野外采

样,感谢阳澄湖管委会在采样过程中的帮助。

参考文献:

〔1〕 高 超,朱继业,戴科伟,等. 快速城市化进程中的太湖水环境保护: 困境与出路 〔J〕. 地理科学,2004,23(6) : 746 ~ 750.

〔2〕 刘恩峰,沈 吉,朱育新. 西太湖沉积物污染的地球化学记录及对比研究 〔J〕. 地理科学,2005, 25(1) : 102 ~ 107.

〔3〕 盛学良,舒金华,彭补拙,等. 江苏省太湖流域总氮、总磷排放标准研究 〔J〕. 地理科学,2002, 22(4) : 449 ~ 452.

〔4〕 马荣华,孔繁翔,段洪涛,等. 基于卫星遥感的太湖蓝藻水华时空分布规律认识 〔J〕. 湖泊科学, 2008,20(6) : 687 ~ 694.

〔5〕 任 健,蒋名淑,商兆堂,等. 太湖蓝藻暴发的气象条件研究 〔J〕. 气象科学,2008,28(2) : 221 ~ 226.

〔6〕 朱广伟. 太湖富营养化现状及原因分析 〔J〕. 湖泊科学,2008, 20(1) : 21 ~ 26.

〔7〕 史小丽,秦伯强. 长江中游网湖沉积物营养元素变化特征及其影响因素 〔J〕. 地理科学,2010, 30(5) : 766 ~ 771.

〔8〕 贾铁飞,张卫国,俞立中,等. 近 800 年来巢湖沉积物营养元素富集特点及其环境演变意义 〔J〕. 地理科学,2009,29(6) : 893 ~ 899.

〔9〕 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志 〔M〕. 北京: 科学出版社,1998: 284 ~ 285.

〔10〕 骆东玲. 浅水湖泊富营养化的机理与应对策略——以阳澄湖为例 〔J〕. 农业环境与发展,2007,(3) : 14 ~ 18.

〔11〕 陈宇炜,高锡云. 浮游植物叶绿素 a 含量测定方法的比较测定 〔J〕. 湖泊科学,2000,12(6) : 185 ~ 188.

〔12〕 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范 〔M〕. 北京: 中国环境科学出版社,1990.

〔13〕 范成新. 太湖水体生态环境历史演变 〔J〕. 湖泊科学,1996,8 (4) : 297 ~ 304.

〔14〕 诸 敏. 太湖水质变化趋势及其保护对策 〔J〕. 湖泊科学,

- 1996, 8(2): 133 ~ 138.
- [5] 张运林, 秦伯强. 太湖水环境的演变研究 [J]. 海洋湖沼通报, 2001, (2): 8 ~ 15.
- [6] 国家环保总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准 (GB3838-2002) [S]. 2002.
- [7] 蔡庆华. 武汉东湖富营养化的综合评价 [J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(4): 335 ~ 339.
- [8] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准 [J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 47 ~ 49.
- [9] 蔡庆华, 刘建康, King L. 评价湖泊富营养化的一个综合模型 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1674 ~ 1678.
- [10] Carlson R E. A trophic state index for lakes [J]. Limnology and Oceanography, 1977, 22(2): 361 ~ 369.
- [11] 吕 恒, 李新国, 周连义, 等. 基于反射光谱的太湖北部叶绿素 a 浓度定量估算 [J]. 湖泊科学, 2006, 18(4): 349 ~ 355.
- [12] Wetzel R G. Limnology hiladelphia [M]. London: Toronto, 1975.
- [13] 舒金华. 我国主要湖泊富营养化程度的评价 [J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(6): 616 ~ 620.
- [14] 邢光喜, 施书莲, 杜丽娟, 等. 苏州地区水体氮污染状况 [J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 540 ~ 545.
- [15] 范成新, 张 路, 秦伯强, 等. 风浪作用下太湖悬浮态颗粒物中磷的动态释放估算 [J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33(8): 760 ~ 768.
- [16] Qin B Q, Zhu G W, Zhang L, et al. Estimation of internal nutrient release in large shallow Lake Taihu, China [J]. Science in China, Series D: Earth Sciences, 2006, 49(Supp 1): 38 ~ 50.
- [17] Redfield A C, Ketchum B H, Richards F A. The influence of organisms on the composition of sea - water [C] // Hill MN (ed). The Sea. New York: Interscience, 1963, 26 ~ 77.
- [18] 邓建才, 陈 桥, 翟水晶, 等. 太湖水体中氮、磷空间分布特征及环境效应 [J]. 环境科学, 2008, 29(12): 3382 ~ 3386.
- [19] 高永霞, 朱广伟, 贺冉冉, 等. 天目湖水水质演变及富营养化状况研究 [J]. 环境科学, 2009, 30(3): 673 ~ 679.
- [20] 方奥强. 从阳澄湖的水污染发展谈水源保护协调管理的重要性 [J]. 河海大学学报, 1993, 21(海洋湖沼专集 5): 55 ~ 59.
- [21] 朱兴东. 阳澄湖水水质现状评价及水污染防治对策 [J]. 江苏水利科技, 1997, (1): 27 ~ 29.
- [22] 潘红玺, 吉 磊. 阳澄湖若干水质资料的分析与评价 [J]. 湖泊科学, 1997, 9(2): 187 ~ 191.
- [23] 张黎明, 王 栋, 谈建康. 昆山市饮用水源安全保障研究与对策 [J]. 内蒙古环境科学, 2009, 21(3): 36 ~ 40.
- [24] 陈永根, 刘伟龙, 韩红娟, 等. 太湖水体叶绿素 a 含量与氮磷浓度的关系 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2062 ~ 2068.

Water Quality Status and Influencing Factors of Yangcheng Lake, China

GUI Zhi-fan^{1,2}, XUE Bin¹, YAO Shu-chun¹, WEI Wen-jia^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the water quality investigation in May (dry period) and October (wet period) 2009, the spatio-temporal variations of water quality and nutritional status in the large, shallow and subtropical Yangcheng Lake were analyzed, and the reasons for the differences in water quality and the emergency of eutrophication were discussed. The results are as following: the concentrations of main water quality parameters including TN, chlorophyll, TP and COD_{Mn} decrease gradually from the western part to the eastern part of the lake consistently, and TP in wet period is higher than in dry period while the others are opposite. The water quality are all classified as inferior Class V except of the central area of eastern part which is in Class IV with TN and TP acting as the primary pollutants though the whole lake in both periods. Although the trend of eutrophication increase has been eased, however, the water body is still in eutrophic state. The major source of pollution nitrogen and phosphorus analysis suggests that the concentrations of NO₃⁻-N and NO₂⁻-N are significantly positive correlated with TN in both periods, and PO₄³⁻-P and TP concentrations also shows significantly positive correlation in wet period. Additionally, there are significantly positive linear relationships between the content of Chl-a and TN only in dry period, while the correlation between Chl-a and TN and TP concentrations is not significant in both periods. Farming activities and sediments releasing may contribute to the above characteristics in Yangcheng Lake.

Key words: Yangcheng Lake, water quality, eutrophication, influencing factors