

文章编号: 1674-5566(2018)01-0106-09

DOI:10.12024/jsou.20160401740

淀山湖河蚬与翘嘴红鲌国家级水产种质资源保护区水质评价及初级生产力时空变化特征

周彦峰¹, 徐东坡¹, 王欢¹, 刘凯¹, 尤洋¹, 卜建平²

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心 农业部长江下游渔业资源环境科学观测实验站, 江苏 无锡 214000; 2. 昆山市渔政监督大队, 苏州 昆山 215300)

摘要: 为了解淀山湖河蚬与翘嘴红鲌国家级水产种质资源保护区的水质及初级生产力现状, 2015 年在保护区选取了 10 个采样点进行了野外采样和实验室研究, 运用综合营养状态评价和相关性分析, 分析了当前淀山湖保护区水质因子和初级生产力的时空变化特征, 以及叶绿素 a (*Chl. a*) 与环境因子之间的关系。研究结果表明: 保护区营养元素含量、高锰酸盐指数 (COD_{Mn}) 和 *Chl. a* 含量季节间差异显著, 呈现为春夏季节高于秋冬季节, 而实验区与核心区无明显差异。水体 N/P 值范围为 5.30 ~ 64.66, 氮磷比适宜藻类生长。综合营养状态指数范围为 46.67 ~ 60.70, 水体为轻度富营养状态。保护区 *Chl. a* 变化范围为 6.06 ~ 29.37 mg/m^3 , 初级生产力范围为 65.18 ~ 1 423.11 $mg/(m^3 \cdot d)$, 叶绿素 a 含量和初级生产力时空变化较为一致, 均为季节间差异较大, 而核心区与实验区无显著差异。Pearson 相关性分析结果表明保护区 *Chl. a* 含量与 TN、TP 均呈极显著相关, 相关系数 (R^2) 分别为 0.501 和 0.432。保护区氮磷含量均处于较高水平, 这为保护区水华的发生奠定了基础。

关键词: 保护区; 时空变化; 营养元素; 叶绿素 a; 初级生产力

中图分类号: X 524 **文献标志码:** A

淀山湖又称薛淀湖 (31°04' ~ 31°12' N, 120°01'E ~ 120°54'), 是太湖水系众多湖泊中的一个, 位于上海市青浦区和江苏省昆山市的交界处^[1-2]。淀山湖昆山水域在 2014 年被列入国家级水产种质资源保护区, 主要保护对象是河蚬 (*Corbicula fluminea*) 和翘嘴红鲌 (*Erythroculter ilishaeformis*), 总面积为 2 000 hm^2 。淀山湖蓝藻水华会对区域饮用水安全和水生态环境带来重大影响, 蓝藻事件的爆发使人们越发关注淀山湖的水质状况^[3-5]。近年来, 多家研究机构连续对淀山湖上海市水域开展水质监测, 结果表明水体总氮、总磷浓度明显超标, 属于中度富营养化^[6-7]。由于捕捞强度加大、生态环境破坏等原因, 淀山湖昆山水域保护区资源数量逐渐下降, 种质品质有所退化。而目前针对昆山市淀山湖保护区水域的系统调查研究较少, 因此对淀山湖昆山水域的水生态现状进行调查研究, 具有重要

的现实意义。

本研究以昆山市淀山湖河蚬和翘嘴红鲌国家级水产种质资源保护区 (下文简称淀山湖保护区) 为研究对象, 针对湖泊水体富营养化问题, 通过对保护区的核心区和实验区水质进行全年监测、统计, 对淀山湖保护区的水质状况进行评估, 探讨叶绿素 a 与环境因子之间的关系, 评估保护区初级生产力, 以期对昆山市淀山湖保护区的水生态环境保护、种质资源保护提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

研究保护区为淀山湖昆山水域 (31°08'33.5" ~ 31°11'25.5"N, 120°55'28" ~ 121°00'49"E, 图 1)。保护区最北部为千灯浦口, 最西端为朱沙港, 最东端为昆山上海交界处^[7]。淀山湖昆山区分为两部分, 南部敞水区面积 1.3 万亩, 为保护区

收稿日期: 2016-04-15 修回日期: 2017-08-05

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303056-02); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (2015JBFM03)

作者简介: 周彦峰 (1982—), 男, 助理研究员, 研究方向为水生态学。E-mail: zhouyf@ffrc.cn

核心区,此区域为河蚬、翘嘴红鲌的繁殖、生长区域,将作为重点保护地区,全年禁止捕捞;北部湖湾1.7万亩水域为实验区,作为水生植被恢复、贝类增殖等场所^[8]。

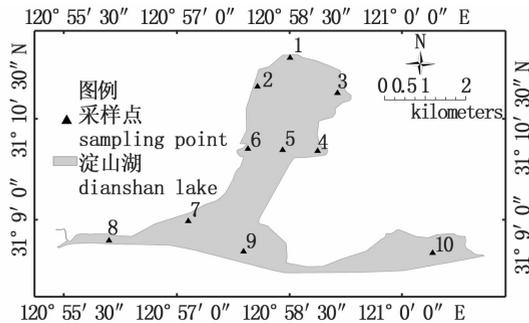


图1 采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling points

1.2 样品采集和处理

在2015年3月、5月、8月和11月,对淀山湖保护区进行了4次集中采样,以3月代表冬季,5月代表春季,8月代表夏季,11月代表秋季。在保护区共设置了10个采样点,其中1~6号采样点属于实验区,7~10号采样点属于核心区。按水样采集规范(GB/T 14581—93),根据湖泊水面的宽度设置采样点,采集0.5 m以上表层水。

1.3 样品分析方法

水体理化监测项目为水温(T)、pH、溶解氧(DO)、浊度(Tur)、透明度(SD)、水深(h)、总磷(TP)、溶解性总磷(DTP)、总氮(TN)、氨氮(NH_4^+ -N)、亚硝酸盐氮(NO_2^- -N)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、叶绿素a(*Chl. a*)共13项。其中:T、pH、DO、Tur采用多参数水质检测仪(HACH-DS5XBASE)进行检测,SD和h分别采用透明度盘和测深仪进行现场检测;TP和DTP采用过硫酸钾氧化法;TN采用碱性过硫酸钾氧化法; NH_4^+ -N采用纳氏试剂法; NO_2^- -N采用紫外分光光度法; COD_{Mn} 采用酸式滴定法;*Chl. a*采用丙酮提取分光光度法测定。水质数据按照地表水环境质量标准(GB3838—2002)来进行分析。

1.4 数据分析方法

数据采用Excel和SPSS 19.0进行统计分析。初级生产力采用CADEE^[9]提出的简化公式进行计算:

$$C_{\text{Chl. a}} = P_s \times E \times D/2$$

式中: $C_{\text{Chl. a}}$ 为初级生产力[$\text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$]; P_s 为

表层水中浮游植物的潜在生产力[$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]; E 为真光层深度(m); D 为白昼时间(h)。其中,表层水(1 m以内)中浮游植物的潜在生产力(P_s)根据表层水中叶绿素a含量计算^[10]: $P_s = \text{Ca}Q$,式中: Ca 为表层水中叶绿素a含量(mg/m^3); Q 为同化系数[$\text{mg}/(\text{mg} \cdot \text{h})$],本次计算取经验值为 $3.70 \text{ mg}/(\text{mg} \cdot \text{h})$ 。真光层深度取透明度的3倍^[11];日照时间参考中国统计年鉴2015主要城市日照时数(2014年)。

2 结果与分析

2.1 水质因子时空变化特征

淀山湖保护区水体全年营养元素含量见图2。TP含量范围在0.02~0.34 mg/L之间,DTP含量范围在0.02~0.29 mg/L之间,春季和冬季水体的TP含量达到Ⅲ类水标准,夏季和秋季水体为Ⅲ~Ⅳ类水;TN含量范围为1.01~2.55 mg/L之间,春季和冬季水体的TN含量达到Ⅴ类水标准,夏季和秋季水体为劣Ⅴ类水; NH_4^+ -N含量在0.19~1.32 mg/L之间,绝大多数采样点的水体达到Ⅱ~Ⅲ类水质标准; NO_2^- -N含量在0.05~1.84 mg/L之间,水体自净能力较差。对TN、TP、 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N含量分别进行单因素方差分析,结果表明营养元素含量在实验区(TA)与核心区(CA)无显著差异,而TN($P=0.04$)、TP($P=0.02$)、 NH_4^+ -N($P<0.01$)、 NO_2^- -N($P<0.01$)在季节间均有显著差异。

COD_{Mn} 含量范围为2.05~4.10 mg/L,达到Ⅱ类水质标准。高锰酸盐指数(COD_{Mn})作为有机污染指标,当其含量超过4 mg/L时,表明水体受到有机污染^[12]。淀山湖水体 COD_{Mn} 均值低于4 mg/L,表明其整体上未受到有机污染。对 COD_{Mn} 含量进行单因素方差分析,结果表明 COD_{Mn} 含量在实验区与核心区及季节间均无显著差异。淀山湖保护区 COD_{Mn} 含量季节变化见图3。

OECD富营养化单因子(*Chl. a*)评价标准规定:*Chl. a* < 3 mg/m^3 为贫营养;*Chl. a*处于3~11 mg/m^3 之间为中营养;*Chl. a*处于11~78 mg/m^3 之间为富营养;*Chl. a* > 78 mg/m^3 为严重富营养^[13]。淀山湖保护区*Chl. a*含量范围为6.06~29.37 mg/m^3 ,除冬季水体*Chl. a*含量为中营养水平,其余季节*Chl. a*含量均为富营养化水平。对*Chl. a*含量进行单因素方差分析,结果表明*Chl. a*

含量在实验区与核心区无显著差异,而在季节间有显著差异($P < 0.01$)。淀山湖保护区 *Chl. a* 含

量季节变化见图 4。

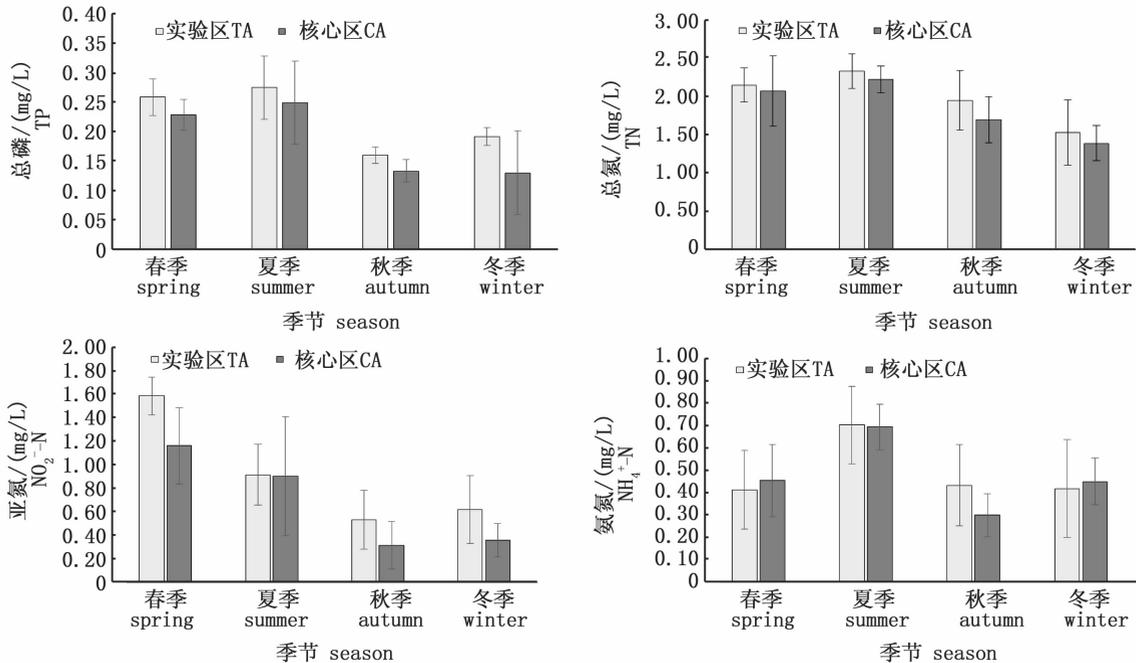


图 2 淀山湖保护区 N、P 含量季节变化
Fig. 2 Seasonal variation of N、P in Dianshan Reserve

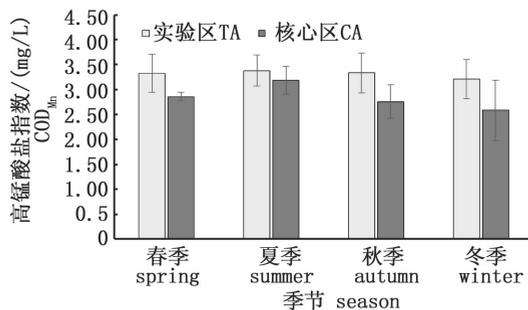


图 3 淀山湖保护区 COD_{Mn} 含量季节变化
Fig. 3 Seasonal variation of COD_{Mn} in Dianshan Reserve

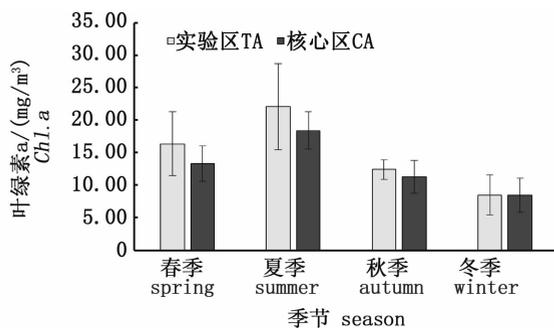


图 4 淀山湖保护区 *Chl. a* 含量季节变化
Fig. 4 Seasonal variation of *Chl. a* content in Dianshan Reserve

2.2 营养现状分析

2.2.1 氮磷营养盐结构分析

当水体中 TN、TP 的含量分别达到 0.20、0.02 mg/L 以上时,水体存在发生富营养化的风险^[14]。淀山湖保护区水体各采样点水体 TN、TP 均大于限值,表明水体中氮磷含量均较适合藻类生长。

氮磷比 (N/P) 是考察营养盐结构的主要指标,是水体浮游植物营养结构特点的重要反映^[15]。若 $N/P < 7$,说明污染物中磷含量相对充足,氮为藻类生长的限制因子;若 $N/P > 30$,说明氮含量相对充足,磷为藻类生长的限制因子;若 N/P 处于 7~30 之间时,氮磷含量适合藻类生长^[16]。对淀山湖保护区水体进行分析后发现, N/P 值范围为 5.30~64.66 之间,绝大多数在 7~30 之间,表明淀山湖保护区水体 N/P 较适宜藻类生长(图 5)。

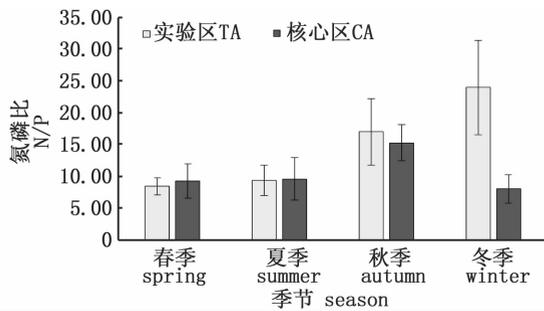


图5 淀山湖保护区氮磷比季节变化

Fig.5 Seasonal variation of N/P in Dianshan Reserve

2.2.2 营养状态评价

水体的综合营养状态取决于一系列相关因子的综合作用^[17]。本文利用卡尔森营养状态指数对保护区水资源进行综合营养状态评价,采用的参数包括 *Chl. a*、 COD_{Mn} 、TN、TP 和 SD。图6为淀山湖保护区实验区和核心区水体的综合营养状态指数季节变化。

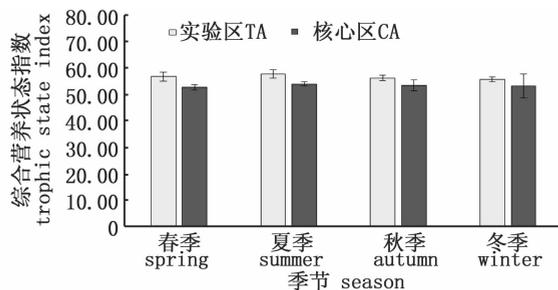


图6 淀山湖保护区综合营养状态指数季节变化

Fig.6 Seasonal variation of TSIM in Dianshan Reserve

淀山湖保护区水体综合营养状态指数范围为 46.67 ~ 60.70,均值为 54.87,水体总体上为轻度富营养状态,水质定性评价为良好。综合营养状态指数最大值出现在实验区,最小值出现在核心区,其中实验区均值为 56.53,核心区均值为 53.21。单因素方差分析结果表明综合营养状态指数在核心区与实验区以及季节间均无显著差异。

2.3 *Chl. a* 与环境因子的相关性分析

Chl. a 值基本反映了水域浮游植物的现存生物量,其分布特征体现了水体中浮游植物的丰度及其变化规律,而浮游植物的生长又受到多种环

境因子的影响和制约^[18]。有关 *Chl. a* 含量和水环境因子的关系存在诸多不同的观点,部分研究认为 *Chl. a* 含量与氮磷之间是直线相关关系,也有研究指出两者之间呈对数相关关系^[19-20]。*Chl. a* 与 T、pH、TN、TP 的回归分析见图 7-10。

由淀山湖水体 *Chl. a* 含量和环境因子之间的 Pearson 相关性分析结果(表 1)可知,其 *Chl. a* 与 T、pH、TN、TP 和 DTP 均呈显著正相关,而与 NH_4^+-N 、 $NO_2^- -N$ 和 COD_{Mn} 无显著相关。

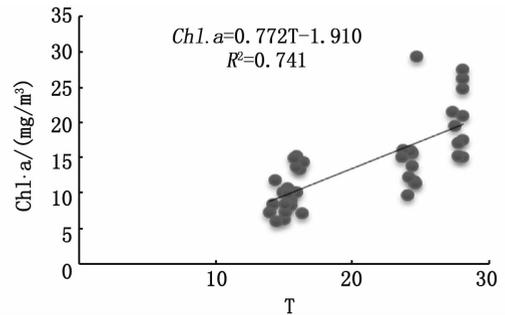
图7 *Chl. a* 与 T 的回归分析

Fig.7 Regression analysis between chlorophyll-a and water temperature and pH

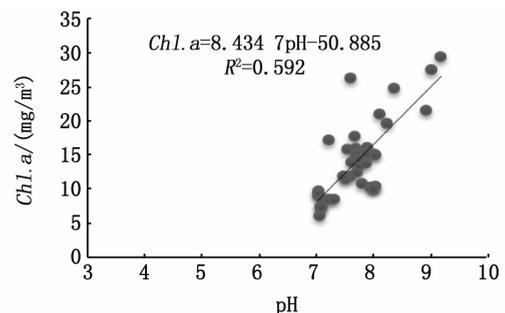
图8 *Chl. a* 与 pH 的回归分析

Fig.8 Regression analysis between chlorophyll-a and pH

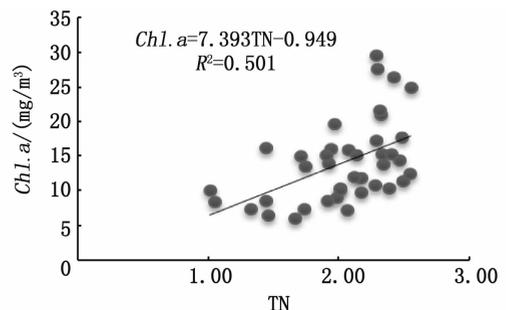
图9 *Chl. a* 与 TN 的回归分析

Fig.9 Regression analysis between chlorophyll-a and TN

表 1 *Chl. a* 含量与环境因子的相关系数

Tab. 1 Correlation coefficients between chlorophyll-a and environmental factors

指标 Index	T	pH	DO	TN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	DTP	COD _{Mn}
<i>Chl. a</i>	0.741 **	0.592 *	-0.053	0.501 **	-0.023	0.003	0.432 **	0.474 **	0.305

注: * . 在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关; ** . 在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关

Note: * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed); ** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

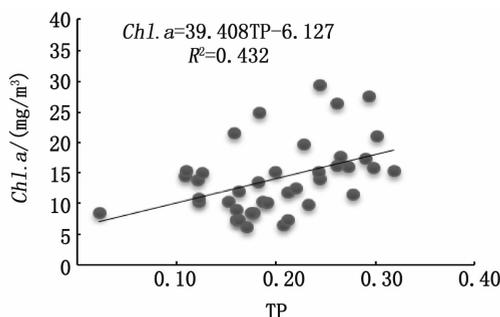
图 10 *Chl. a* 与 TP 的回归分析

Fig. 10 Regression analysis between chlorophyll-a and TP

浮游植物光合作用与呼吸代谢速率受到水温 T 的控制, 从而影响 *Chl. a* 含量^[21]。由图 7 可以看出, 淀山湖 *Chl. a* 含量与水温的相关系数为 0.741, 呈现显著的正相关关系, 这说明一定范围内, 随着水温的上升, 浮游植物的生长速度也随之加快。水温是影响藻类光合作用和呼吸代谢的重要因素, 适宜的温度可以加快藻细胞内新陈代谢作用, 促进浮游植物生长繁殖^[22]。淀山湖保护区内水体 pH 大部分在 7.21 ~ 9.28 之间, 水质呈弱碱性。由图 8 可知, 淀山湖水体 *Chl. a* 含量与 pH 的相关系数为 0.592, 呈现出显著的正相关关系。pH 是 *Chl. a* 的被动因子, 一般浮游植物生长茂盛的水域, 水体 pH 比较高, 这主要由于浮游植物光合作用吸收水中的 CO₂, 放出 O₂^[23]。淀山湖叶绿素 a 含量与 TN、TP 均呈极显著相关, 相关系数分别为 0.501 和 0.432, 表明氮、磷营养盐对淀山湖浮游植物生长有重要影响, 水体中氮、磷等无机营养盐是影响浮游植物光合作用的重要因素^[24]。

2.4 初级生产力与叶绿素 a 相关分析

初级生产力采用 Cadee 提出的简化公式进行计算。淀山湖保护区水体初级生产力季节变化见图 11。

淀山湖保护区水体各位点初级生产力范围为 65.18 ~ 1423.11 mg/(m³ · d), 均值为 471.03

mg/(m³ · d)。保护区内初级生产力季节差别明显, 表现为夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。保护区内, 除夏季外, 其余三季均为实验区初级生产力高于核心区。对各季节的初级生产力进行单因素方差的分析, 结果表明初级生产力在实验区与核心区无显著差异, 而在季节间有显著差异 ($P < 0.01$)。

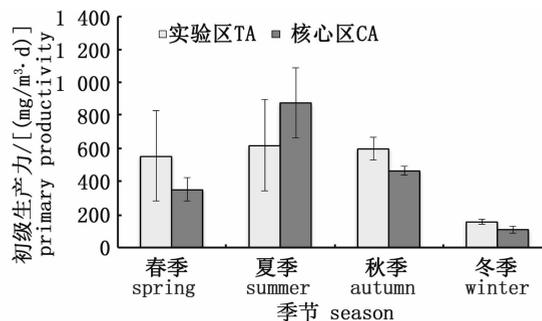


图 11 淀山湖保护区初级生产力季节变化

Fig. 11 Seasonal variation of primary productivity in Dianshan Reserver

由上述分析可见, 淀山湖水域初级生产力时空动态与 *Chl. a* 含量时空动态较为一致, 故该保护区可应用 *Chl. a* 含量评估水域初级生产力水平。研究区域初级生产力表现为夏季明显高于冬季, 主要是因为夏季温度最高, 光线最为充足, 利于浮游植物生长繁殖; 秋季和春季虽然温度都低于夏季, 但与春季相比, 秋季日照时数更长。

3 讨论

3.1 淀山湖水质现状

淀山湖是太湖流域典型的过水湖泊, 湖内水质受上游来水水质波动的影响很大^[25]。淀山湖保护区的氨氮、总氮、总磷浓度明显超标, 劣于地表水 III 类水质标准, 属于轻度富营养化。与上海市淀山湖水域相比^[6], 保护区水域的营养元素含量显著低于上海市淀山湖水域。近年来流域污染物削减力度逐渐加大, 淀山湖水况有改善趋势, 表现为 pH、化学需氧量有所下降, 接近或者

达到国家地表水Ⅲ类水质标准^[26]。但由于上游来水质量较差和功能区的生产生活用水污染,上海市淀山湖湖区的氨氮、总氮、总磷浓度明显超标,属于中度富营养化,水质劣于淀山湖保护区。

调查结果显示实验区与核心区的营养元素含量、综合营养状态指数无显著差异,但核心区水体营养盐、COD_{Mn}含量略低于实验区,表明保护区功能区的划分有利于核心区水环境的保护。淀山湖南部敞水区为保护区核心区,此区域作为河蚬、翘嘴红鲌的繁殖、生长区域,为重点保护地区,全年禁止捕捞,故受人为影响较小;水质北部湖湾水域为实验区,除禁渔期(1—3月)外,可以进行渔业生产。

3.2 *Chl. a* 与环境因子关系

近年来国内外许多学者对湖泊中 *Chl. a* 的分布及其与各种环境因子的相关性开展了深入的研究^[27-28]。水温是影响 *Chl. a* 含量的关键因子,淀山湖年平均水温为 17.7℃,5—10月基本在 20℃以上,而藻类生长的适宜水温为 20~30℃,故淀山湖水温较适宜藻类生长。张浏等^[29]研究认为藻类生长的适宜 pH 为 7—9,淀山湖水体 pH 范围为 7.21~9.28,故淀山湖水体为藻类生长提供了良好的环境。*Chl. a* 与 DO、COD_{Mn} 的相关性不显著,这与王震等^[19]的研究结果一致,表明淀山湖 DO、COD_{Mn} 只是 *Chl. a* 变化的被动因子。

关于 *Chl. a* 与氮磷营养盐之间是直线相关还是对数直线相关,目前结论不一^[19, 30-31]。本文的结果显示 *Chl. a* 与氮磷之间是直线相关关系 ($P < 0.05$)。CHATTERJEE^[13]对营养盐因子和 *Chl. a* 动态变化的相互关系进行了大量研究,结果表明水体磷为唯一主导因子的占 80%,氮为主导因子的占 11%,其余 9% 的水体为氮和磷共同起作用。许多学者^[25, 30, 32]认为氮磷比与藻类的生长有更直接的关系,淀山湖保护区 N/P 值范围绝大多数在 7~30 之间,表明淀山湖保护区氮、磷均未成为藻类生长的限制性因子,水体中氮、磷的含量适宜藻类的生长,这也与淀山湖保护区 *Chl. a* 与 TN、TP 显著正相关的结论相印证。

3.3 初级生产力

汪益嫔等^[33]通过改进的黑白瓶法对淀山湖初级生产力进行评估,结果表明淀山湖全年平均初级生产力变化范围为 0.48~1.53 g/(m³·d),与本文调查结果较为一致,说明用 *Chl. a* 含量估

算初级生产力具有可行性。淀山湖保护区初级生产力的季节差别较大,表现为夏季初级生产力最高,秋季次之,春冬季节较低,与张运林^[34]对太湖研究所得结果的变化规律一致。初级生产力是浮游植物通过光合作用生产有机物的速度,与浮游植物现存量 *Chl. a* 以及光合作用速率有关。目前,大水面水体中有关初级生产力和 *Chl. a* 之间的研究已有过很多^[35-36]。由浮游植物所反映的初级生产力的季节变化主要取决于水温,对富营养型水体来说,温度和浮游植物生产量之间一般为正相关关系,即夏高冬低。赵文等^[37]认为水温通过影响浮游植物光合作用的酶促反应,呼吸作用强度控制浮游植物产量。卢子园等^[38]和汪益嫔等^[33]对于淀山湖上海水域初级生产力和温度之间的正相关关系已有过相应阐述。

近年来,人们开始利用水生动物的“下行效应”来治理富营养化湖泊,通过合理的鲢、鳙放流减少水体氮磷含量^[39]。由于本次调查还存在着一些不足之处,关于淀山湖保护区水体营养元素含量、初级生产力和鲢鳙放流之间的关系,还有待于进一步研究。为了更好地发挥保护区的各项生态功能,建议建立长期科学的水生态环境监测机制,为下一步研究提供有效的基础数据。

参考文献:

- [1] 胡雪芹,王强,马明睿,等. 淀山湖叶绿素 a 分布特征及其与浮游植物密度的相关性[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2012(4): 149-156.
HU X Q, WANG Q, MA M R, et al. Distribution characteristics of chlorophyll a and its relationship with phytoplankton density in Lake Dianshan[J]. Journal of East China Normal University: (Nature Science), 2012(4): 149-156.
- [2] 郑小燕,王丽卿,盖建军,等. 淀山湖浮游动物的群落结构及动态[J]. 动物学杂志, 2009, 44(5): 78-85.
ZHENG X Y, WANG L Q, GAI J J, et al. Dynamic and community structure of zooplankton in Dianshan Lake[J]. Chinese Journal of Zoology, 2009, 44(5): 78-85.
- [3] 康丽娟. 淀山湖富营养化控制叶绿素 a 基准研究初探[J]. 水生生物学报, 2012, 36(3): 509-514.
KANG L J. Research on Chlorophyll a criteria establishment in Dianshan Lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(3): 509-514.
- [4] 张亚克,梁霞,何池全,等. 淀山湖不同季节营养盐含量与藻类群落的相互关系[J]. 湖泊科学, 2011, 23(5): 747-752.
ZHANG Y K, LIANG X, HE C Q, et al. Interrelationships

- between algal community and nutrient concentrations in different seasons in Lake Dianshan [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2011, 23(5): 747-752.
- [5] 程曦, 李小平, 陈小华. 淀山湖富营养化过程的统计学特征[J]. *生态学报*, 2012, 32(5): 1355-1362.
CHENG X, LI X P, CHEN X H. Statistical characteristics of eutrophication process in Dianshan Lake[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(5): 1355-1362.
- [6] 郁唏, 高红梅, 王霞, 等. 上海市淀山湖水质富营养化状况及常见水生生物体内微囊藻毒素水平[J]. *环境与职业医学*, 2015, 32(2): 136-139.
YU X, GAO H M, WANG X, et al. Eutrophication of Lake Water and Microcystins in Common Aquatic Animals in Dianshan Lake, Shanghai[J]. *Journal of Environmental & Occupational Medicine*, 2015, 32(2): 136-139.
- [7] 程曦, 李小平. 淀山湖氮磷营养物 20 年变化及其藻类增长响应[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(4): 409-419.
CHENG X, LI X P. 20-year variations of nutrients (N and P) and their impacts on algal growth in Lake Dianshan, China[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(4): 409-419.
- [8] 田航军. 昆山市淀山湖镇河道水体生态修复分析研究[D]. 上海: 同济大学, 2014.
TIAN H J. The research of ecological restoration of water in Dianshan Lake, Kunshan City [D]. Shanghai: Tongji University, 2014.
- [9] 孙耀, 宋云利, 崔毅, 等. 桑沟湾养殖水域的初级生产力及其影响因素的研究[J]. *渔业科学进展*, 1996, 17(2): 32-40.
SUN Y, SONG Y L, CUI Y, et al. Primary productivity and the affecting factor in Sanggou Bay [J]. *Manning Fisheries Research*, 1996, 17(2): 32-40.
- [10] 郑国侠, 宋金明, 戴纪翠, 等. 南黄海秋季叶绿素 a 的分布特征与浮游植物的固碳强度[J]. *海洋学报*, 2006, 28(3): 109-118.
ZHENG G X, SONG J M, DAI J C, et al. Distributions of chlorophyll-a and carbon fixed strength of phytoplankton in autumn of the southern Huanghai Sea waters [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(3): 109-118.
- [11] 林吓宁. 福建省三沙湾白马港海域叶绿素 a 与初级生产力的调查[J]. *科技资讯*, 2014, 12(16): 231-232.
LIN X N. The investigation of chlorophyll-a and primary productivity in the sea of Baima Port in Sansha, Fujian province [J]. *Science & Technology Information*, 2006, 12(16): 231-232.
- [12] 刘建康. 东湖生态学研究[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
LIU J K. The ecological research of Donghu [M]. Beijing: Science Press, 1995.
- [13] CHATTERJEE D K. Organization for economic cooperation and development (OECD) [M]. Netherlands: Springer, 2011.
- [14] 刘鸿亮. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.
LIU H L. Specifications for lake eutrophication survey [M]. Beijing: China Environmental Press, 1987.
- [15] 李哲, 郭劲松, 方芳, 等. 三峡水库小江回水区不同 TN/TP 水平下氮素形态分布和循环特点[J]. *湖泊科学*, 2009, 21(4): 509-517.
LI Z, GUO J S, FANG F, et al. Potential impact of TN/TP ratio on the cycling of nitrogen in Xiaojiang backwater area, Three Gorges Reservoir [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(4): 509-517.
- [16] GUILDFORD S J, HECKY R E. Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship? [J]. *Limnology and Oceanography*, 2000, 45(6): 1213-1223.
- [17] 杨梅玲, 胡忠军, 刘其根, 等. 利用综合营养状态指数和修正的营养状态指数评价千岛湖水质变化(2007 年 - 2011 年)[J]. *上海海洋大学学报*, 2013, 22(2): 240-245.
YANG M L, HU Z J, LIU Q G, et al. Evaluation of water quality by two trophic state indices in Lake Qiandaohu during 2007 - 2011 [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2013, 22(2): 240-245.
- [18] 阮晓红, 石晓丹, 赵振华, 等. 苏州平原河网区浅水湖泊叶绿素 a 与环境因子的相关关系[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(5): 556-562.
RUAN X H, SHI X D, ZHAO Z H, et al. Correlation between chlorophyll-a concentration and environmental factors in shallow lakes in plain river network areas of Suzhou [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(5): 556-562.
- [19] 王震, 邹华, 杨桂军, 等. 太湖叶绿素 a 的时空分布特征及其与环境因子的相关关系[J]. *湖泊科学*, 2014, 26(4): 567-575.
WANG Z, ZHOU H, YANG G J, et al. Spatial-temporal characteristics of chlorophyll-a and its relationship with environmental factors in Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2014, 26(4): 567-575.
- [20] 张大铃, 李小平. 淀山水体叶绿素 a 与环境因子的关系[J]. *环境科学与技术*, 2009, (6): 83-86.
ZHANG D L, LI X P. The relationship between chlorophyll-a and environmental factors in Dianshan Lake [J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, (6): 83-86.
- [21] 江敏, 卢柳, 邢斌, 等. 滴水湖水体叶绿素 a 与水质因子的多元分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(3): 451-456.
JIANG M, LU L, XIN B, et al. Multianalysis between chlorophyll a and other environmental factors in Dishui Lake [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(3): 451-456.
- [22] 高月香, 张永春. 水文气象因子对藻华爆发的影响[J]. *水科学与工程学报*, 2006, 12(2): 10-12.
GAO Y X, ZHANG Y C. Influences of hydrometeorologic

- factor on algae bloom [J]. *Water Sciences and Engineering Technology*, 2006, 12(2): 10-12.
- [23] 黄文钰, 舒金华, 吴延根, 等. 溲湖磷迁移过程的研究(一)——磷迁移膜偷慕[J]. *湖泊科学*, 1997, (2): 141-146.
- HUANG W Y, SHU J H, WU Y G, et al. Phosphorus transportation processes in Gehu Lake (1)-model building [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1997, (2): 141-146.
- [24] 田时弥, 杨扬, 乔永民, 等. 珠江流域东江干流浮游植物叶绿素 a 时空分布及与环境因子的关系[J]. *湖泊科学*, 2015, 27(1): 31-37.
- TIAN S M, YANG Y, QIAO Y M, et al. Temporal and spatial distribution of phytoplankton chlorophyll-a and its relationships with environmental factors in Dongjiang River, Pearl River basin [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2015, 27(1): 31-37.
- [25] 王丽卿, 张军毅, 王旭晨, 等. 淀山湖水体叶绿素 a 与水质因子的多元分析[J]. *上海水产大学学报*, 2008, 17(1): 58-64.
- WANG L Q, ZHANG J Y, WANG X C, et al. Mutlianalysis between chlorophyll-a and environmental factors in Dianshan Lake water [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, 17(1): 58-64.
- [26] 范志锋, 王丽卿, 陈林兴, 等. 水质标识指数法在淀山湖水质评价中的应用[J]. *上海海洋大学学报*, 2009, 18(3): 314-320.
- FAN Z F, WANG L Q, CHEN L X, et al. Application of water quality identification index to environmental quality assessment of Dianshan Lake [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, 18(3): 314-320.
- [27] WANG X L, LU Y L, HE G Z, et al. Multivariate analysis of interactions between phytoplankton biomass and environmental variables in Taihu Lake, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, 133(1/3): 243-253.
- [28] 黄伟建, 陈菊芳, 徐宁, 等. 鄱阳湖水环境要素与叶绿素-a 的灰关联模型 $\{GM(1, n)\}$ [J]. *水生生物学报*, 2001, 25(4): 416-419.
- HUANG W J, CHEN J F, XU N, et al. Analysis of grey models $\{GM(1, n)\}$ between lakewater environmental essential factors and the incidence of chlorophyll-a in Poyanghu Lake, china [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, 25(4): 416-419.
- [29] 张浏, 陈灿, 高倩, 等. 两种营养状态下 pH 对轮叶黑藻 (*Hydrilla verticillata*) 生长和抗氧化酶活性的影响[J]. *生态环境*, 2007, 16(3): 748-752.
- ZHANG L, CHEN C, GAO Q, et al. Effects of pH on the growth of *Hydrilla verticillata* and its antioxidative enzyme activities under two nutritional conditions [J]. *Ecology and Environment*, 2007, 16(3): 748-752.
- [30] 吕唤春, 王飞儿, 陈英旭, 等. 千岛湖水体叶绿素 a 与相关环境因子的多元分析[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1347-1350.
- LV H C, WANG F E, CHEN Y X, et al. Multianalysis between chlorophyll-a and environmental factors in Qiandao Lake water [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(8): 1347-1350.
- [31] 吴阿娜, 朱梦杰, 汤琳, 等. 淀山湖蓝藻水华高发期叶绿素 a 动态及相关环境因子分析[J]. *湖泊科学*, 2011, 23(1): 67-72.
- WU A N, ZHU M J, TANG L, et al. Dynamics of chlorophyll-a and analysis of environmental factors in Lake Dianshan during summer and autumn [J]. *Journal of Lake Science*, 2011, 23(1): 67-72.
- [32] LIU X, LU X H, CHEN Y W. The effects of temperature and nutrient ratios on Microcystis blooms in Lake Taihu, China: An 11-year investigation [J]. *Harmful Algae*, 2011, 10(3): 337-343.
- [33] 汪益斌, 张维砚, 徐春燕, 等. 淀山湖浮游植物初级生产力及其影响因子[J]. *环境科学*, 2011, 32(5): 1249-1256.
- WANG Y B, ZHANG W Y, XU C Y, et al. Phytoplankton Productivity and Its Influencing Factors in Dianshan Lake [J]. *Environmental Science*, 2011, 32(5): 1249-1256.
- [34] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖梅梁湾浮游植物叶绿素 a 和初级生产力[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2127-2131.
- ZHANG Y L, QIN B Q, CHEN W M, et al. Chlorophyll a content and primary productivity of phytoplankton in Meiliang Bay of Taihu Lake [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11): 2127-2131.
- [35] 曾台衡, 刘国祥, 胡征宇. 长江中下游湖区浮游植物初级生产力估算[J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(6): 717-722.
- ZENG T H, LIU G X, HU Z Y. Estimation of phytoplankton primary production of lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(6): 717-722.
- [36] 熊倩, 黄立成, 叶少文, 等. 三峡水库浮游植物初级生产力的季节变化与空间分布[J]. *水生生物学报*, 2015, 39(5): 853-860.
- XIONG Q, HUANG L C, YE S W, et al. The seasonal variations and spatial distribution of the primary productivities of phytoplankton in the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(5): 853-860.
- [37] 赵文, 董双林, 张兆琪, 等. 盐碱池塘浮游植物初级生产力日变化的研究[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 234-236.
- ZHAO W, DONG S L, ZHANG Z Q, et al. Daily change of primary productivity of phytoplankton in saline-alkaline ponds [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2): 234-236.
- [38] 卢子园, 王丽卿, 季高华, 等. 淀山湖基于初级生产力的鲢鳙富营养化控制[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(7):

1365-1370.

LU Z Y, WANG L Q, JI G H, et al. Control of Dianshan Lake eutrophication based on the primary productivity of silver carp and bighead carp [J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(7): 1365-1370.

[39] 刘宗斌. 城市湖泊浮游植物初级生产力与鲢鳙放养关系

[J]. 环境与开发, 1999, 14(1): 33-35.

LIU Z B. A preliminary study on the primary productivity of phytoplankton and stocking of silver and bighead carps in lake of city [J]. Environment and Development, 1999, 14(1): 33-35.

The spatiotemporal variations analysis of water quality and primary productivity in Dianshan Lake National Aquatic Germplasm Resources Conservation Area of Asian Clam and *Erythroculter Ilishaeformis*

ZHOU Yanfeng¹, XU Dongpo¹, WANG Huan¹, LIU Kai¹, YOU Yang¹, BU Jianping²

(1. Freshwater Fisheries Research Center of Chinese Academy of Fishery Sciences Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Wuxi 214000, Jiangsu, China; 2. Fishery Supervision Brigade of Kunshan, Suzhou, Kunshan 215300, Jiangsu, China)

Abstract: In order to investigate the water quality and primary productivity of national aquatic germplasm resources conservation area of asian clam and erythroculter ilishaeformis in Dianshan Lake, ten sampling points were chosed in the conservation area in 2015. The spatiotemporal variations of nutrients, chlorophyll-*a* (*Chl. a*) and primary productivity, and the relationship between *Chl. a* and environmental factors were analyzed by comprehensive nutrition status assessment and correlation analysis. The results showed that the concentrations of nutrients, COD_{Mn} and *Chl. a* had a significant difference. The results in spring and summer were higher than autumn and winter. But there was no significant difference in the test area compared with the core area. The N/P (nitrogen and phosphorus) ratios were between 5.30 – 64.66 and they are suitable for the algal growth. The comprehensive nutrition state index in conservation area was between 46.67 to 60.70. It showed the water columns in conservation area were in mild eutrophication state. The variations of *Chl. a* concentration and primary productivity were between 6.06 to 29.37 mg/m³ and 65.18 to 1 423.11 mg/(m³ · d), respectively. The spatiotemporal variations of them were similar. There was a significant difference between the seasons, but there was no significant difference in the test area compared with the core area. The Pearson Correlation Analysis showed there was a significant correlation between the concentrations of *Chl. a* and TN, TP. The correlation index (R^2) of them were 0.501 and 0.432, respectively. The concentrations of nitrogen and phosphorus were higher. They could lead to the water-bloom occurrence in this conservation area.

Key words: conservation area; spatiotemporal variations; nutrients; *Chl. a*; primary productivity