

淀山湖基于初级生产力的鲢鳙富营养化控制*

卢子园¹ 王丽卿^{1**} 季高华¹ 戴小杰² 许 莉¹ 范志锋¹ 徐后涛¹

(¹ 上海海洋大学水产与生命学院, 201306; ² 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

摘 要 于2008年10月—2009年9月,采用黑白瓶测溶氧法对淀山湖湖南区和围隔区初级生产力进行逐月测定,依据测定的湖南区初级生产力估算鲢、鳙渔产潜力及合理放养量,讨论温度、透明度、营养盐、叶绿素a等理化因子与初级生产力的相关性,分析鲢、鳙放养对淀山湖水体营养物质的定量去除效果。结果表明:1) 湖南区平均水柱日毛产量(P_G)为 $4.02 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$,8月最高、1月最低,净产量(P_N)为 $1.99 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$,年 $P_N/P_G=52\%$;2) 0~0.5 m水层对水柱初级生产力贡献最大,湖南区占32.3%、围隔区占32.2%;3) 初级生产力与透明度、水温呈明显正相关,与其他理化因子相关性不明显;4) 淀山湖浮游植物年生产量为 $28.18 \times 10^4 \text{ t}$,按鲢鳙3:1比例放养,鲢渔产潜力为1621.58 t,鳙为1216.18 t,鲢合理放养量为 $16.94 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$,鳙合理放养量为 $6.35 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$;5) 以淀山湖每年渔产2837.76 t计算,可以固定氮、磷分别为85.50 t、7.63 t,由此可使淀山湖水体中氮、磷含量分别降低0.67和 $0.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

关键词 淀山湖; 初级生产力; 黑白瓶法; 渔产力

中图分类号 Q178.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)7-1365-06

Control of Dianshan Lake eutrophication based on the primary productivity of silver carp and bighead carp. LU Zi-yuan¹, WANG Li-qing¹, JI Gao-hua¹, Dai Xiao-jie², XU Li¹, FAN Zhi-feng¹, XU Hou-tao¹ (¹College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; ²College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(7): 1365–1370.

Abstract: By using dark and light bottle dissolved oxygen method, the fishery primary productivity in the south part and the experimental enclosure of Dianshan Lake was measured monthly from October 2008 to September 2009. Based on the measurement in the south part, the potential productivity and reasonable stocking amount of silver carp and bighead carp in the experimental enclosure were estimated, and the correlations of the primary productivity with the water temperature, transparency, nutrients, and chlorophyll-a were discussed. The nutrient removal effect of stocking silver carp and bighead carp was also discussed. In the south part of the Lake, the daily gross primary productivity (P_G) was $4.02 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$ on average, with the maximum in August and the minimum in January, the net primary productivity (P_N) was $1.99 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$, and the yearly P_N/P_G ratio was averaged 52%. The 0–0.5 m water layer contributed most to the primary productivity, with its contribution occupied 32.3% and 32.2% of the total in the south part and the experimental enclosure, respectively. The primary productivity was positively correlated with water temperature and transparency, but not significantly correlated with other physical and chemical factors. The yearly production of phytoplankton in the Lake was $28.18 \times 10^4 \text{ t}$. If the stocking ratio of silver carp to bighead carp was 3:1, the potential productivity of silver carp and bighead carp would be 1621.58 t and 1216.18 t, and their reasonable stocking amount was $16.94 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ and $6.35 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, respectively. Based on these estimations, the total nitrogen and total phosphorus absorbed by the 2837.76 t fish would be 85.50 t and 7.63 t, and the nitrogen and phosphorus concentrations in the water body of Dianshan Lake would be decreased by $0.67 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $0.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively.

Key words: Dianshan Lake; primary production; dark and light bottle method; fishery productivity.

* 上海市科委重大项目(08DZ1203103)、上海市农委四新项目(Y07-118)和市重点学科建设资助项目(S30701)。

** 通讯作者 E-mail: lqwang@shou.edu.cn

收稿日期: 2010-01-11 接受日期: 2010-04-08

近20年以来,随着人口增长、经济的快速发展以及对水资源的不合理开发利用,长江中下游大部分湖泊均发生富营养化现象且有加剧恶化的态势(秦伯强,2002),迫切要求加快湖泊富营养化防治的步伐。水体初级生产力是反映水体植物供饵能力和整个水生生态系统功能的一个重要指标。藻型富营养化湖泊水体的初级生产力主要由浮游植物贡献,因而可以通过控制水体浮游植物初级生产力从而控制水体富营养化。在中国,对浮游植物初级生产力方面有大量的研究工作,但往往偏重于渔产潜力估算、水体营养类型评价及其影响因素的研究(鲍建平和许兆明,1984;王卫民等,1992;刘宗斌,1999;张运林等,2008)。

淀山湖位于太湖下游,平均水深2 m,面积63.8 km²,是一个吞吐性浅水湖泊。该湖是上海市唯一的天然湖泊,也是重要的水源保护地,在人民生活和经济发展中具有重要地位。然而,淀山湖全湖处于富营养化状态(王旭晨等,2006),水质处于V类甚至劣V类,小规模、小范围的蓝藻水华长期存在。近半个世纪以来,淀山湖沉水植物退化严重,已经由草型湖泊演变成藻型湖泊。由文辉(1997)对淀山湖浮游植物生产量进行过调查研究,但至今为止对该水域初级生产力的研究鲜有报道。

本文在淀山湖湖南区,采用黑白瓶测溶氧法对初级生产力进行逐月测定和分析研究;根据测定的初级生产力估算鲢、鳙的渔产力和合理放养量,并从理论上对放养鲢、鳙固定淀山湖水体氮磷营养物质、防治富营养化方面进行定量测算;同时也对水体理化因子、营养盐参数、叶绿素a等指标与初级生产力之间的相关性进行分析。

1 材料与方法

1.1 采样站点设置及样品采集与测定

初级生产力逐月测站位于淀山湖湖南区马兰港(图1)。为了探明生态围隔区初级生产力与湖区初级生产力的差别,本试验在淀山湖综合示范区试验围隔区内也设立了一个采样站点。生态围隔区面积20000 m²,外围由竹桩+竹箔、竹桩+渔网以及之间的牛津布组成,以竹竿为支撑框架,外覆网孔为0.5 cm的聚乙烯网。采样站点均无光线遮挡。

2008年10月—2009年9月,每月下旬上午,选择晴朗无雨的天气,采用黑白瓶法,按0、0.5、1.0、1.5 m、底层(离水底5 cm),直接取对应水层水体,

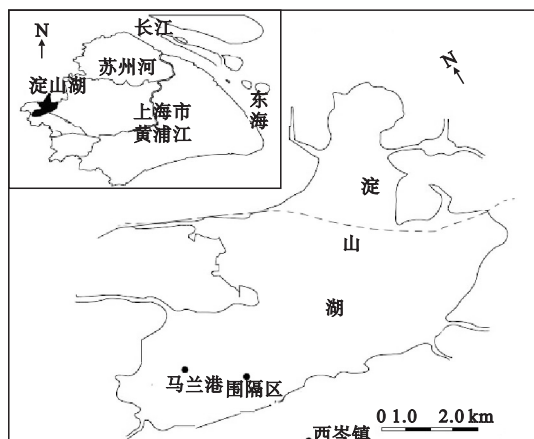


图1 淀山湖初级生产力测定站点示意图

Fig. 1 Sites of primary productivity survey in Dianshan Lake

连续挂瓶24 h,在装瓶时测定各水层初始溶氧值。起瓶时用碱性碘化钾和硫酸锰现场固定,用碘量法测溶氧,同时测定水深、透明度、水温、叶绿素a等参数。测定方法按照GB 3838-2002地表水环境质量标准方法(国家环境保护总局和国家质量监督检验检疫局,2002)。

1.2 初级生产力计算

1)初级生产力用水柱日生产量($\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)来表示,水柱日生产量是指一平方米水面下,从水表面一直到水底整个柱形水体的生产量。用算术平均值累加法计算。

2)毛产量(P_C)=白瓶溶氧-黑瓶溶氧;净产量(P_N)=白瓶溶氧-原初溶氧。

2 结果与分析

2.1 初级生产力测站的水质参数

2008年10月—2009年9月,淀山湖湖区初级生产力测站的水深为2.13 m,变幅1.80~2.30 m;透明度年均为43 cm,变幅30~50 cm;叶绿素a平均为23.96 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,变幅9.11~46.72 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;总氮平均为2.62 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、总磷为0.21 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,均处于劣V类水质;高锰酸盐指数平均为8.08 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。围隔区总氮、总磷和透明度均稍高于湖区,叶绿素a和高锰酸盐指数稍低于湖区(表1)。

2.2 淀山水体柱日毛产量、净产量

2008年10月—2009年9月淀山水体柱日毛产量、净产量月变化(表2)。湖区平均水柱日毛产量为4.02 $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$,净产量为1.99 $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$,年 $P_N/P_C=52\%$;而围隔区日毛产量为4.83 $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$,

表 1 初级生产力测站的水质参数指标

Tab.1 Water quality parameters of sampling sites

水质参数	站点	平均值	范围
温度(℃)	湖区	17.3±9.7	3.0~30.0
	围隔区		
透明度(cm)	湖区	43±9	30~50
	围隔区	48±10	35~60
叶绿素 a (μg·L ⁻¹)	湖区	23.96±14.56	9.11~46.72
	围隔区	22.80±15.88	9.74~57.81
总氮(mg·L ⁻¹)	湖区	2.62±0.60	1.21~5.02
	围隔区	2.75±0.42	1.67~4.27
总磷(mg·L ⁻¹)	湖区	0.21±0.08	0.09~0.36
	围隔区	0.22±0.09	0.12~0.41
COD _{Mn} (mg·L ⁻¹)	湖区	8.08±2.67	4.77~15.00
	围隔区	6.73±1.28	4.41~8.81

表 2 淀山湖湖区和围隔区测站毛、净初级生产力(g O₂·m⁻²·d⁻¹)

Tab.2 Gross and net primary productivity in Dianshan Lake and the enclosure sites

日期 (年-月)	水温 (℃)	湖 区		围隔区	
		净产量	毛产量	净产量	毛产量
2008-10	19	0.74	6.33	2.60	5.98
2008-11	17	1.17	2.32	1.02	1.96
2008-12	4	0.72	3.28	1.77	2.21
2009-01	3	0.76	2.26	1.39	2.96
2009-02	4	1.92	2.39	1.10	1.92
2009-03	13	3.14	4.47	3.06	3.42
2009-04	17	2.60	3.94	2.29	4.12
2009-05	19	2.26	3.03	2.78	5.39
2009-06	27	2.99	4.29	3.38	5.76
2009-07	29	3.33	5.20	4.79	7.55
2009-08	30	2.45	6.81	4.15	10.64
2009-09	25	1.78	3.88	2.57	6.03

净产量为 2.58 g O₂·m⁻²,年 $P_N/P_G=57\%$,高于湖区。淀山湖湖区和围隔区的水柱日毛产量均在 2009 年 8 月最高,分别为 6.81 和 10.64 g O₂·m⁻²;湖区在 2009 年 1 月最低,围隔区 2009 年 2 月最低,分别为 2.26 和 1.92 g O₂·m⁻²;湖区和围隔区水柱日净产量均在 2009 年 7 月最高,分别在 2008 年 12 月和 2008 年 11 月最低。湖区和围隔区水柱日毛产量、净产量最高值和最低值出现的季节一致。湖区和围隔区的毛产量均表现为夏季>秋季>春季>冬季;净产量均表现为夏季>春季>秋季>冬季,表明秋季浮游植物呼吸作用大于春季。在 4 月以前,湖区水柱日毛产量基本高于围隔区,而随着温度的升高,围隔区毛产量反过来明显高于湖区,湖区的净产量总体低于围隔区。

从表 2 还可得知,淀山湖年均水温为 17.3℃,变幅为 3.0℃~30.0℃,其中 2008 年 12 月、2009

年 1、2 月的温度分别只有 4.0℃、3.0℃、4.0℃。通常水温低于 10℃,鲢、鳙不生长或生长缓慢,因此鲢、鳙在淀山湖一年的生长时间应减去 12 月、1 月和 2 月,共 3 个月,可计为 270 d。在鱼类生长期湖区和围隔区的平均日毛产量为分别为 4.47 和 5.65 g O₂·m⁻²,平均日净产量分别为 2.27 和 2.96 g O₂·m⁻²;年 P_N/P_G 分别为 54% 和 55%。

2.3 初级生产力在各水层分布

水体中浮游植物光合作用合成有机物的唯一能源是太阳能,由于不同水深叶绿素 a 接受的太阳能不同,所以初级生产力也不同。淀山湖湖区、围隔区初级生产力在各水层分布百分比(图 2)。湖区初级生产力在各水层分布不同,其中 0~0.5 m 水层所作贡献最高,达 32.3%,0.5~1.0 m 为 25.3%,1.0~1.5 m 为 22.9%,1.5 m~底层为 19.6%。围隔区各水层初级生产力的分布规律与湖区基本一致,从上至下 4 个水层初级生产力所占比例为 32.2%、25.9%、22.7%、19.3%。初级生产力随水深增加而下降,这与王骥和沈国华(1981)、阎喜武和何志辉(1997)的研究结果相一致,不过 0~0.5 m 表层所占比例并不是特别高,这与淀山湖水体较浅,风浪大,使上下水层混合强烈有关。

2.4 基于浮游植物初级生产力的鲢、鳙渔产潜力估算

刘建康(2007)认为,用初级生产力估算浅水湖泊滤食性鱼类的产量是可行的。本文根据鲢、鳙渔产潜力计算公式(王骥和梁彦龄,1995)估算淀山湖鲢、鳙渔产潜力。

湖区年毛产量($t O_2$)=水柱日生产量×湖泊面积×75%×鱼类生长期合计天数

F_{sc} =湖区年毛产量($t O_2$)× P_N/P_G ×鱼类对浮游植物利用率×氧的热当量

$F_{\text{鲢}}=F_{sc} \times E_{\text{鲢}} \times H_j / C, F_{\text{鳙}}=F_{sc} \times E_{\text{鳙}} \times A_j / C$
式中: F_{sc} 为浮游植物对鲢、鳙的供饵能力; $F_{\text{鲢}}、F_{\text{鳙}}$ 分别为鲢、鳙渔产潜力;鱼类对浮游植物利用率为 0.5;氧的热当量为 14.686; P_N/P_G 在鱼类生长期为 52%,考虑到净产氧量的损失部分,本文 P_N/P_G

表 3 淀山湖湖区水体鲢、鳙各种比例的渔产潜力
Tab.3 Fish potential productivity of various stocking ratios of silver carp, bighead carp in Dianshan Lake

站点	鲢、鳙 放养比例	$F_{\text{鲢}}$ (t)	$F_{\text{鳙}}$ (t)	$F_{\text{总}}$ (t)	鲢所占 比例(%)	鳙所占 比例(%)
湖区	1:1	1081.05	2432.37	3513.42	30.77	69.23
	1:3	540.53	3648.55	4189.08	12.90	87.10
	3:1	1621.58	1216.18	2837.76	57.14	42.86

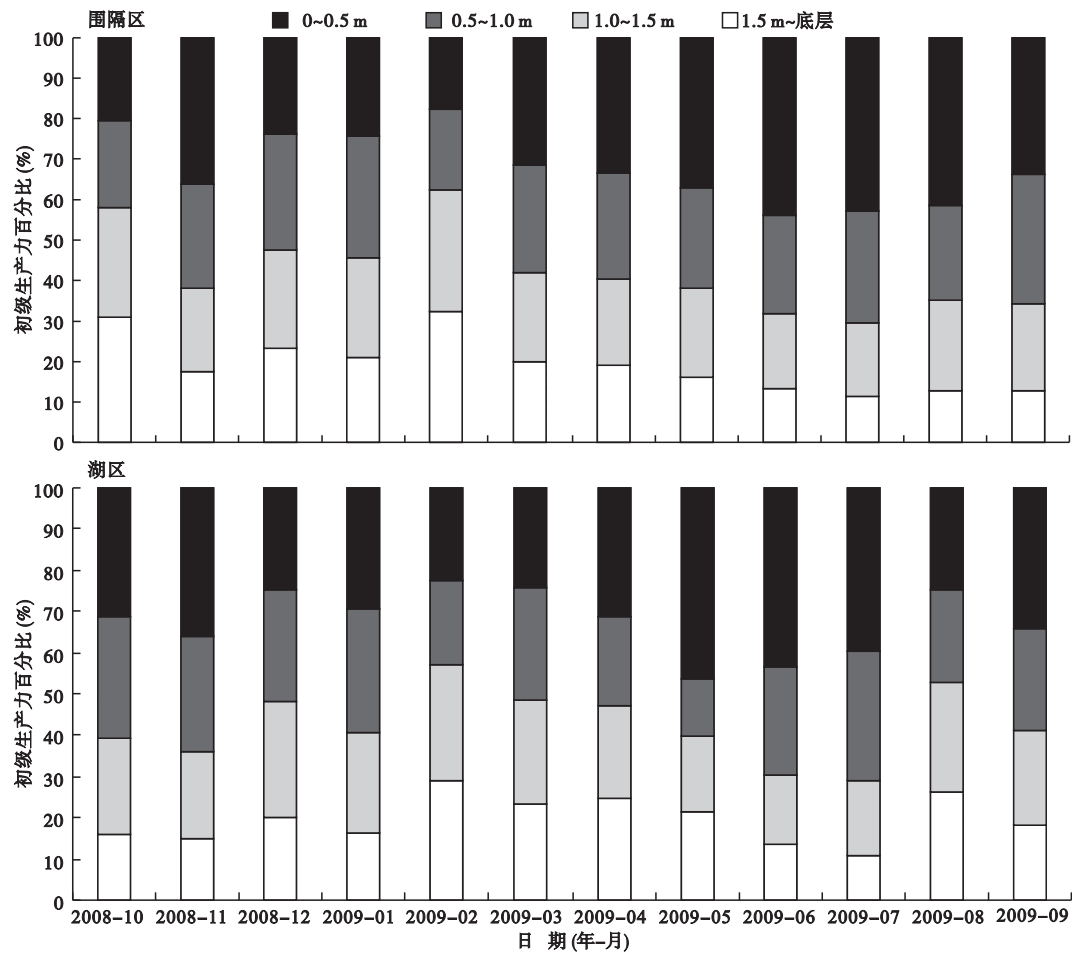


图 2 围隔区和湖区初级生产力在各水层分布百分比
Fig. 2 Percentage of primary production of various water layers in the enclosure site and lake site

取值 0.8; C 为 1 g 鲜鱼肉的热当量 (5.021 KJ), $E_{\text{鲢}}$ 和 $E_{\text{鳙}}$ 分别为鲢、鳙对浮游植物的能量转化率, 分别为 0.032 和 0.072。 H_y 和 A_r 分别为鲢、鳙相对比例。

淀山湖浮游植物年生产量为 28.18×10^4 t, 采用 3 种搭配比例对淀山湖的鲢、鳙渔产潜力进行估算, 如表 3 所示。鲢主要以浮游植物为食, 鳙主要以浮游动物为食, 对于淀山湖这种藻型湖泊应以鲢为主, 鳙为辅, 以提高浮游植物初级生产力的利用效率, 假设鲢、鳙 3 : 1 比例, 则鲢渔产潜力为 1621.58 t, 鳙

为 1216.18 t, 合计为 2837.76 t。折合成鲢为 $25.42 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 即 $16.95 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$, 鳙为 $19.06 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 即 $12.71 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$ 。

根据渔产潜力, 可以制定合理的放养计划。鲢、鳙合理放养量计算公式: $X = rp/wk$, 式中: X 为放养密度 (尾 $\cdot \text{km}^{-2}$); p 为该水域的估计鱼产量 ($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$); r 为按计划鲢、鳙在总鱼产量中所占比例; w 为计划养成捕捞规格, 一般鲢为 1.5 kg、鳙为 3.0 kg; 鱼种规格: 鲢、鳙均为 20 尾 $\cdot \text{kg}^{-1}$; k 为达到计划养成规格的回捕率, 为 5%。估算结果见表 4。

3 讨 论

3.1 淀山湖初级生产力水平及环境因子对其的影响
何志辉 (1987) 综合国内外学者的研究, 提出浮游植物初级生产量 $< 1 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 为贫营养型湖泊, $1 \sim 3 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 为中营养型湖泊, $3 \sim 7 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 为富营养型湖泊, $> 7 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 为超富营养型湖泊。淀山湖浮游植物初级生产量为

表 4 淀山湖水体鲢、鳙合理放养量 Tab. 4 Reasonable stocking amount of silver carp, big-head carp in Dianshan Lake					
站点	鲢、鳙 放养比例	鲢 (尾 \cdot km^{-2})	鲢 (t \cdot km^{-2})	鳙 (尾 \cdot km^{-2})	鳙 (t \cdot km^{-2})
湖区	1 : 1	2259	11.30	2542	12.71
	1 : 3	1130	5.65	3812	19.06
	3 : 1	3389	16.94	1271	6.35

表 5 淀山湖初级生产力与环境因子之间的相关性
Tab. 5 Correlation coefficients between primary productivity and some environmental factors in Dianshan Lake

水温	透明度	总氮	总磷	叶绿素 a
0.632 *	0.525	-0.010	-0.105	0.433

* $P<0.05$ 。

4.02 g O₂ · m⁻² · d⁻¹,表明水体已处富营养化状态,该结论与王旭晨等(2006)运用灰色聚类法及范志锋等(2009)利用营养综合指数评价淀山湖营养状态的研究结果相一致。

初级生产力的产生是通过叶绿素 a 吸收光量子,然后将光能转化为活跃的化学能,再通过卡尔文循环将活跃的化学能转变为稳定的化学能。初级生产力受温度、光照、叶绿素 a 含量、透明度、营养盐含量的影响。淀山湖湖区初级生产力与环境因子的相关分析(表 5)。

水温通过控制浮游植物光合作用的酶促反应、呼吸作用强度影响浮游植物产量(赵文等,2003)。从表 5 可知,淀山湖初级生产力的时间变化与水温变化呈显著正相关,相关系数为 0.632。大多数水体,限制初级生产力的营养物质是氮和磷,但在淀山湖,初级生产力的时间分布与总氮、总磷含量并没有相关性。初级生产力同总氮、总磷含量相关性较差,可能与淀山湖氮、磷元素不是浮游植物生长的限制因子有关(程曦和李小平,2008)。透明度是影响浮游植物初级生产力的重要因素之一(刘俊利等,2008),淀山湖初级生产力与透明度呈正相关,相关系数为 0.525。叶绿素 a 含量在一定程度上可反映浮游植物初级生产力的状况,淀山湖初级生产力与叶绿素 a 含量呈正相关,相关系数 0.433。

3.2 鲢、鳙合理放养量和合理捕捞

富营养湖泊中,鲢、鳙的大量存在能有效地控制藻类生物量。鲢、鳙在水生态系统中不会威胁其他鱼类的生长,通过放养适宜密度的鲢、鳙来控制湖泊水体水华是一种稳健的生态修复方式。合理放养包括确定鱼种的放养规格和放养量。大规格鱼种可以提高存活率,而且具有适应性强、生长速率快、回捕率和鱼产量高等优点。另外,选择合理的鲢、鳙放养规格,可以有效控制藻类生长,鲢、鳙生长的最快时期也是对藻类利用率最高的时期(刘俊利等,2008)。合理的鲢、鳙捕捞可以保护湖泊水域生态系统结构和功能的稳定。根据鱼类的生长规律而

言,性成熟后鱼体生长速度开始减缓。因此,鲢、鳙应在成熟期后及时捕捞。

3.3 基于初级生产力的鲢、鳙生态养殖对水体富营养化控制作用

放养鲢、鳙可以控制蓝藻水华,起到改善水质的作用(刘建康和谢平,2003)。放养鲢、鳙可将部分浮游植物和浮游动物转变成鱼体蛋白质(Smith,1985;陈少莲等,1991;李琪等,1993),将鱼移出水体,可以达到降低水体氮、磷浓度的目的。通过积极地发展水产养殖,增加氮、磷生物输出,缓和水体富营养化。根据宋文林和彭近新(1983)报道,鱼体中氮、磷含量分别为 30.13 和 2.69 g · kg⁻¹。本文通过利用淀山湖水体浮游植物初级生产力,以淀山湖每年平均生产 2837.76 t 鲢、鳙计算,可以固定氮、磷分别为 85.50 和 7.63 t,可以使淀山湖水体中氮、磷含量分别降低 0.67 和 0.06 mg · L⁻¹,减少水体中氮、磷含量而减轻污染程度,对淀山湖富营养化的发展起到良好的生物防治作用。

4 结 论

通过对淀山湖初级生产力分析研究,得出如下结论:1) 全年湖泊日毛产量为 4.02 g O₂ · m⁻² · d⁻¹,以初级生产力水平划分湖泊营养类型,淀山湖属于富营养型湖泊;2) 淀山湖初级生产力同水温、透明度、叶绿素 a 呈正相关;3) 0 ~ 0.5 m 水层对初级生产力贡献最大,湖区达 32.3%;4) 假设按鲢、鳙 3 : 1 比例,估算淀山湖鲢渔产潜力为 1621.58 t,鳙为 1216.18 t,合计为 2837.76 t,折合成鲢 25.42 g · m⁻²,鳙 19.06 g · m⁻²。鲢合理放养量为 16.94 t · km⁻²,鳙合理放养量为 6.35 t · km⁻²;5) 鲢、鳙的活动与摄食行为引起的物质加速循环是否会导致水域生态系统初级生产力的提高将有待进一步研究。

参考文献

鲍建平,许兆明. 1984. 太湖浮游植物初级生产力及鱼产力估算. 淡水渔业, (5): 1-5.
陈少莲,刘肖芳,华 俐. 1991. 鲢、鳙在东湖生态系统的氮、磷循环中的作用. 水生生物学报, 15(1): 8-26.
程 曦,李小平. 2008. 淀山湖氮磷营养物 20 年变化及其藻类增长响应. 湖泊科学, 20(4): 409-419.
范志锋,王丽卿,陈林兴,等. 2009. 水质标识指数法在淀山湖水质评价中的应用. 上海海洋大学学报, 18(3): 314-320.

- 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫局. 2002. GB 3838-2002 地表水环境质量标准. 北京: 中国标准出版社.
- 何志辉. 1987. 中国湖泊和水库的营养分类. 大连水产学院学报, (1): 1-10.
- 李琪, 李德尚, 熊邦喜, 等. 1993. 放养鲢鱼对水库围隔浮游生物群落的影响. 生态学报, **13**(1): 30-37.
- 刘建康, 谢平. 2003. 用鲢鳙直接控制微囊藻水华的围隔试验和湖泊实践. 生态科学, **22**(3): 193-198.
- 刘建康. 2007. 刘建康生态学文集. 北京: 化学工业出版社.
- 刘俊利, 熊邦喜, 王基松, 等. 2008. 鲢、鳙对养殖水体的生态功能评析. 水利渔业, **28**(4): 8-10.
- 刘宗斌. 1999. 城市湖泊浮游植物初级生产力与鲢鳙放养关系. 环境与开发, **14**(1): 33-35.
- 秦伯强. 2002. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探. 湖泊科学, **14**(3): 193-202.
- 宋文林, 彭近新. 1983. 湖泊富营养化与磷模型预测. 环境科学与技术, (1): 37-42.
- 王骥, 梁彦龄. 1995. 西凉湖浮游藻类现存量、生产量的季节变化及渔产潜力的估算// 梁彦龄, 刘伙泉. 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理(一). 北京: 科学出版社: 89-108.
- 王骥, 沈国华. 1981. 武汉东湖浮游植物的初级生产力及其与若干生态因素的关系. 水生生物学集刊, **7**(3): 295-310.
- 王卫民, 魏青山, 张世萍, 等. 1992. 宿鸭湖水库浮游植物初级生产力和鲢、鳙生产潜力的估算. 水利渔业, (2): 7-10.
- 王旭晨, 王丽卿, 彭自然. 2006. 灰色聚类法评价淀山湖水质状况. 上海水产大学学报, **15**(4): 497-502.
- 阎喜武, 何志辉. 1997. 虾池浮游植物初级生产力的研究. 水产学报, **21**(3): 288-295.
- 由文辉. 1997. 淀山湖周丛动物群落的初步研究. 水生生物学报, **21**(2): 114-122.
- 张运林, 冯胜, 马荣华, 等. 2008. 太湖秋季真光层深度空间分布及浮游植物初级生产力的估算. 湖泊科学, **20**(3): 380-388.
- 赵文, 董双林, 张兆琪, 等. 2003. 盐碱池塘浮游植物初级生产力日变化的研究. 应用生态学报, **14**(2): 234-236.
- Smith DW. 1985. Biological control of excessive phytoplankton growth and the enhancement of aquacultural production. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **42**: 1940-1945.
-
- 作者简介** 卢子园, 男, 1984年生, 硕士研究生。主要从事水域生态学研究。E-mail: luziyuan@tom.com
- 责任编辑** 李凤芹
-