

固城湖生物资源利用和富营养化控制的研究

章宗涉

黄昌筑

(上海师范大学生物系, 上海 200234) (南京市环境科学研究所, 南京 210013)

提要 于1989—1992年通过野外调查、室内试验、池塘模拟和数学模型等方法, 研究江苏省固城湖的理化条件, 初级生产生物生长及其有关因子, 水草、藻和鱼、蟹间的相互关系, 以及水草渔业利用对水质的影响等。结果表明, 固城湖渔业增产潜力还很大; 但河蟹和鱼类的放养对水草资源有影响, 如果放养强度过大, 会使水草全部消亡, 将会对水质产生不良影响(浮游植物过量繁殖, 水透明度降低)。从兼顾资源持续利用和富营养化控制角度提出了渔产量模式建议, 可增加河蟹产量约1.5倍, 总渔产量约12.5%。

关键词 水生植物 生物资源利用 富营养化控制 生态模型 渔产潜力

长期以来, 我国在水生高等植物(水草)资源开发利用上存在问题: 或是利用不足, 浪费了资源, 并影响了航行和加速了湖泊老化; 或是过度利用, 使水草消失, 导致浮游植物过量繁殖, 产生富营养化危害。因而, 不论从水产养殖还是水质保护考虑, 如何合理利用水草资源, 是迫切需要解决的一个重要问题。

江苏省高淳县的固城湖面积约30km², 平均水深约2m, 目前仍保留较多水生高等植物, 渔业资源较丰富, 特别是河蟹增殖, 经济效益很高(朱成凤, 1989; 吴斯锦, 1989)。固城湖水水质尚属良好, 属中营养型湖泊。本文以水草为主要对象, 研究初级生产及其影响因子, 水草与藻类同鱼、蟹间的生态关系以及它对水质的影响等, 目的是为充分和持续地开发利用水草资源, 以及控制不利生态效应提供科学依据。

1 工作项目和方法

于1989—1992年进行, 包括: (1)按标准方法(金相灿等, 1990)现场理化和生物调查。(2)藻类和水生高等植物生长、生产量以及与光、温度和营养的关系测定, 藻类生长为静态培养法(章宗涉, 1990), 水生高等植物生产量用生物氧测定仪(YSI 5300)¹⁾。(3)水草对藻类的生化抑制试验(顾林娣等, 1994)。(4)河蟹对水草和水质影响的模拟试验(章宗涉等, 1994)。(5)生物生长模型研制²⁾。(6)关于兼顾生态环境的渔业生产建议等。

* 国家自然科学基金资助项目, 3880155号。章宗涉, 出生于1930年4月, 研究员。

参加研究的还有吴斯锦、顾林娣、陈坚、梅益凤、王国祥、陈德辉、杨云英、凌玉凤、陈雁、黄嘉松等。

1) 陈坚等, 1992年, 光和温度与菹草光合作用的关系。

2) 王国祥等, 固城湖资源生物生长模型。

收稿日期: 1994年3月29日, 接受日期: 1996年3月5日。

2 结果和讨论

2.1 湖水理化因子和生物调查结果¹⁾ 见表1和表2, 主要特点如下。由于受补给水量和长江水位顶托的影响, 水深有明显的夏深冬浅的变动。悬浮物(SS)浓度年变幅也较大。透明度(SD)主要受悬浮物和叶绿素(chl.a)影响。对三者作二元一次回归, 得到方程 $1/SD = 0.477 + 0.043SS + 0.074chl.a$ 。磷浓度普遍水平降低, 并且年变幅小。光强和日照长度的年变化规律分别为正弦和余弦曲线。与历史资料相比, 藻类数量有所增加。水生植被80年代初为苦草-黑藻群落, 近年马来眼子菜成为优势种(陆月莲, 1991)。天然渔业资源比过去下降。近年来在河蟹放养上取得较大成功, 现河蟹产量达到4万kg(章宗涉等, 1994)。根据水生生物调查, 通过饲料生物供饵能力和鱼类放氧量估算的渔产潜力约为28—43 g/m²。

表1 固城湖主要理化参数和水生生物调查结果

Tab.1 Main physical and chemical parameters and results of biological survey in Lake Gucheng, Jiangsu Province

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
水 深(m)	2.00	1.70	2.00	1.90	1.90	2.40	4.65	4.10	3.90	2.65	2.50	2.50
水 温(℃)	6.5	6.3	16.9	16.9	19.7	29.1	30.2	30.4	25.3	23.8	14.4	6.0
日平均光强 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	506	607	809	891	985	941	842	855	826	637	403	401
pH	7.5	8.00	8.3	8.4	8.5	6.9	7.6	7.8	7.5	8.0	7.8	8.2
溶氧(mg/L)	12.4	12.3	11.0	9.9	8.5	7.4	8.0	6.7	8.0	8.9	10.6	12.6
SD(m)	0.40	0.15	0.60	0.45	0.40	0.70	2.75	0.35	0.30	0.35	0.41	0.52
SS(mg/L)	63.0	132.5	33.9	55.7	45.2	32.0	19.4	20.0	21.0	38.5	11.2	14.0
PO ₄ -P(MG/L)	0.003	0.006	0.007	0.002	0.002	0.002	0.006	0.005	0.006	0.005	0.005	0.005
浮游植物数量 ($\times 10^6$ ind./L) ¹⁾			86.5		80.1	58.3	52.2	55.2	66.3			
chl.a(mg/m ³)	2.06	2.59	5.52	5.72	1.79	3.93	1.71	2.71	2.28	3.65	2.29	2.08
浮游植物毛初级生产量 [O ₂ g/(m ² ·d)]					2.48	2.44	2.00					
浮游植物净初级生产量 [O ₂ g/(m ² ·d)]					0.84	0.63	0.70					
水草鲜重(kg/m ²)					3.98	4.96	2.72	2.12	1.02			
年总渔业产量(g/m ²)							24					

1) 大湖区。

1) 梅益凤等, 1992年, 固城湖水质、水生生物调查与研究, 固城湖水体透明度模型及相关因子分析, 固城湖水温模型的建立、验证与预报共三篇资料。

2.2 初级生产者的生产及其与主要环境因子的关系¹⁾⁻⁴⁾ 6种藻的最大增长率(μ_{\max})测定值, 见表2。不同光、温度和磷浓度下苦草、眼子菜和菹草净光合氧量测定表明: 三种水草的最适温度都在25℃左右; 苦草和眼子菜的最适光强为200—300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 菹草较高[481 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; 苦草的最适磷浓度为0.015mg/L。最适条件下的净光合率, 苦草、眼子菜和菹草(湿重)分别是1.29, 2.67和2.39 $\text{O}_2\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。光合作用大小随光或温度或磷浓度变化的规律均为抛物线型, 有显著相关的一元二次回归方程。

表2 藻类的培养条件及其 μ_{\max} 值

Tab.2 The culture conditions and μ_{\max} of algae

藻名	谷皮 菱形藻	莱茵 衣藻	粉核 小球藻	斜生 栅藻	羊角 月牙藻	铜绿 微囊藻
温度	20.5	22.5	30	28	26	28
光照强度 ¹⁾	3.5	3.7	5.0	5.0	5.0	2.8
μ_{\max} 值	1.33	1.31	1.30	2.11	2.27	0.95
	±.09	±.07	±.07	±.04	±.25	±.06

1) 日光灯源, 光周期 12L: 12D, 单位 klx。

水草抑制藻类生长试验表明: 抑制作用与种植水浓度和水草现存量有关(顾林娣等, 1994)。计算水草生物量对藻类数量的抑制系数 α' 。苦草 $\alpha' = 2.72 \times 10^4$, 马来眼子菜 $\alpha' = 5.54 \times 10^4$ (陈坚等, 1994)。

2.3 河蟹放养对水草和水质的影响以及河蟹增产潜力(章宗涉等, 1994) 小池模拟试验结果表明, 放养河蟹对水草生长有明显影响。放养密度低时(2号池)则水草的增长和消耗能保持平衡而不致消亡; 放养密度超过一定水平(大于1.75g/m², 3号、4号池)时, 水草全部消亡。由于水草消失, 浮游植物叶绿素值上升, 透明度下降。在水草资源持续利用条件下, 固城湖的河蟹增产潜力约为5g/m²。

2.4 资源生物生长模型⁵⁾

选择修正了的 Lotka-Volterra 生物竞争模型(Jorgensen, 1986)。在考虑目标值时, 生态效益方面是控制浮游植物, 避免藻型富营养化发生, 以藻类 chl.a 为控制指标; 经济效益方面则是开发固城湖渔业生产潜力, 以渔产量为指标。其数学表达式如下:

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1} - \frac{\alpha}{K_1} N_2 - \frac{\varepsilon}{K_1} N_3 \right) \quad (1)$$

- 1) 陈德辉, 1992, 藻类静态培养中的比增长率最大值(μ_{\max})。
- 2) 陈坚等, 1992, 一定温度下马来眼子菜光合量与光辐射强度的关系。
- 3) 陈坚等, 1992, 光和温度与菹草光合作用的关系。
- 4) 章宗涉等, 1992, 苦草光合生产能力的研究。
- 5) 王国祥等, 固城湖资源生物生长模型。

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2} - \frac{\beta}{K_2} N_1 - \frac{\delta}{K_2} N_3 \right) \quad (2)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = r_3 N_3 \left(1 - \frac{N_3}{K_3} - \frac{d\varepsilon}{K_3} N_1 + \frac{\lambda\delta}{K_3} N_2 \right) \quad (3)$$

式中, N_1 为浮游植物(chl.a)现存量, mg/m^3 ; N_2, N_3 分别为水草和鱼类现存量(鲜重), kg/m^2 ; r_1, r_2, r_3 分别为藻类、水草和鱼类种群在无竞争和捕食关系存在时, 受非生物环境因子(如光照、温度、营养盐等)影响的比生长率; K_1 为浮游植物(chl.a)最大环境容量, mg/m^3 ; K_2, K_3 分别为水草和鱼类的最大环境容量, kg/m^2 ; α, β 分别为水草对藻类和藻类对水草的负效应系数; ε, δ 分别为鱼对藻类和鱼对水草的捕食效应系数; σ, λ 分别为鱼对藻类和鱼对水草的利用效率系数。

$$r_1 = r_{1\max} f(T_1) \frac{P}{K_{mp} + P} \cdot \frac{0.5D}{K_e \cdot H} \exp\left\{\left(\frac{I_a}{I_s} \exp(-K_e \cdot H)\right)\right\} - \exp\left(\frac{I_a}{I_s}\right) \quad (4)$$

$$r_2 = r_{2\max} f(T_2) \frac{50D}{K_{eo}} \cdot \ln \frac{2 + (I_m/I_k) \exp(-K_{es} \cdot Z)}{2 + (I_m/I_k) \exp(-K_{es} \cdot Z - K_{eo} \cdot h)} \quad (5)$$

$$r_3 = r_{3\max} \exp\left[(-2.3) \cdot \left|\frac{T - T_{3\text{opt}}}{15}\right|\right] \quad (6)$$

式中, $r_{1\max}, r_{2\max}, r_{3\max}$ 分别为藻类、水草和鱼类的最大比生长率, $1/\text{d}$; P 为水体可溶性磷酸盐, mg/L ; K_{mp} 为磷吸收常数, mg/L ; T 为水温, $^{\circ}\text{C}$; D 为平均日照长度, h ; H 为水深, m ; h 为水草群落高度, m ; z 为水草群落顶冠至水面距离, $(H-h)$, m ; I_a 为日平均光照强度, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; I_m 为地方午时的最大光照强度, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; K_e 为水体消光系数, $1/\text{m}$; K_{es} 为水草群落外消光系数, $1/\text{m}$; K_{eo} 为水草群落内消光系数, $1/\text{m}$; I_s 为饱和光强(藻类); $\mu\text{mol}/(\text{m}_2 \cdot \text{s})$; I_k 为半饱和光强(水草), $\mu\text{mol}/(\text{m}_2 \cdot \text{s})$ 。

$$(4) \text{ 式中: } T \leq T_{1\text{opt}}, f(T_1) = \exp\left\{(-2.3) \left[\frac{T_{1\text{opt}} - T}{T_{1\text{opt}} - T_{1\text{min}}}\right]^2\right\},$$

$$T > T_{1\text{opt}}, f(T_1) = \exp\left\{(-2.3) \left[\frac{T_{2\text{opt}} - T}{T_{2\text{opt}} - T_{2\text{max}}}\right]^2\right\}.$$

$$(5) \text{ 式中: } T \leq 10.0, f(T_2) = 0,$$

$$10.0 < T \leq T_{2\text{opt}}, f(T_2) = \exp\left\{(-2.3) \left[\frac{T_{2\text{opt}} - T}{T_{2\text{opt}} - T_{2\text{min}}}\right]^2\right\},$$

$$T > T_{2\text{opt}}, f(T_2) = \exp\left\{(-2.3) \left[\frac{T_{2\text{opt}} - T}{T_{2\text{opt}} - T_{2\text{max}}}\right]^2\right\}.$$

式中, T_{1opt} , T_{2opt} , T_{3opt} 分别为藻类、水草和鱼类的生长最适温度, $^{\circ}\text{C}$ (后同); T_{1max} 为藻类生长率降低到 r_{1max} 90% 的最高温度; T_{2max} 为水草生长率降低到 r_{2max} 90% 的最高温度; T_{1min} 为水草生长率降低到 r_{1max} 90% 的最低温度; T_{2min} 为水草生长率降到 r_{2max} 90% 的最低温度。

依据上式模型计算得到如下结果: (1) 如水草最大现存量为 $4.12\text{kg}/\text{m}^2$, 年鱼产量可达 $160 \times 10^4\text{kg}$ ($53\text{g}/\text{m}^2$), 此时藻类叶绿素年均值为 $3.69\text{mg}/\text{m}^3$, 远低于富营养型 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 的水平。当水草消失时, 藻类叶绿素年均值则可达 $24.44\text{mg}/\text{m}^3$, 大大超过富营养型水平, 湖泊将向“藻”型发展。(2) 初春水草开始萌发时, 若草食生物现存量超过 $2.5\text{g}/\text{m}^2$, 水草将不能萌发。

3 结论

3.1 固城湖渔业增产潜力还很大。根据生物调查、池塘试验、模型计算和其他资料, 固城湖河蟹的生产潜力为 $5\text{g}/\text{m}^2$ 左右; 整个渔产潜力为 $30-40\text{g}/\text{m}^2$ 。

3.2 放养河蟹和鱼类对水草资源有很大影响。固城湖目前的放养强度和产量, 对水草尚未产生很大影响。但如果放养强度过大, 将使水草全部消亡。如果放养河蟹或鱼类过量而引起水草消亡, 将会对水质产生不良影响。池塘试验和模型预测都显示了同样的结果。因此, 在利用水草资源发展水产养殖时, 必需采取慎重态度: 对水草应充分利用但同时不能使水草失去竞争优势而让位于浮游植物。为此建议固城湖的渔产量模式如表 3。

表 3 建议固城湖渔产量模式

Tab.3 Recommended pattern of fishery production in Lake Gucheng

生物种类	现年产量(t)	占总渔产量(%)	建议年产量(t)	占总渔产量(%)
草、鳊鱼	60	8.6	90	11.3
河 蟹	40	5.7	100	12.5
鳙	13	1.9	16	2.0
鲢	7	1.0	12	1.5
青 虾	120	17.1	80	10.0
其他鱼类 (鲤占 30%)	460	65.7	500	62.7
总 计	700	100	798	100

参 考 文 献

- 朱成凤, 1989, 湖泊渔业, 2: 7— 11。
 吴斯锦, 1989, 湖泊渔业, 2: 20— 25。
 陈坚等, 1994, 上海师范大学学报(自然科学版), 23(1): 69— 73。
 陆月莲, 1991, 南京林业大学学报, 15(增刊): 109— 114。
 金相灿等, 1990, 湖泊富营养化调查规范(第二版), 中国环境科学出版社(北京), 275— 285。

顾林娣等, 1994, 上海师范大学学报(自然科学版), 23(1): 62—68.

章宗涉, 1990, 微生物监测新技术, 中国建筑工业出版社(北京), 143—151.

章宗涉、吴斯锦, 1994, 淡水渔业, 24(特刊): 21—25.

Jorgensen, S. E., 1986, *Fundamentals of Ecological Modelling*, Elsevier (Amsterdam), pp. 389.

STUDY ON BIORESOURCES UTILIZATION AND EUTROPHICATION CONTROL IN LAKE GUCHENG

Zhang Zongshe, Huang Changzhu[†]

(*Department of Biology, Shanghai Normal University, Shanghai 200234*)

[†] (*Nanjing Institute of Environmental Sciences, Nanjing 210013*)

Abstract Field survey, laboratory experiments, pond simulated experiments and mathematical modelling were resorted to in this 1989—1992 study on the physico-chemical and biological conditions, the production of primary producers and its environmental factors, the relationship between aquatic macrophytes, phytoplankton, and fish/crab, and the effects of utilization of macrophytes on water quality in Lake Gucheng, Jiangsu Province.

The results showed that the stocking of crab and fish has effects on water plants. Pond simulated experiments showed that in pond with low stocking density (0.23g/m², pond No.2) of crab, the macrophytes decreased, but did not disappear as in the other two ponds (No.3 and No.4) with stocking density higher than 1.75g/m². The decrease or disappearance of macrophytes increased phytoplankton growth and lowered water transparency.

The ecological model, a modified Lotka-Volterra model of biological competition, predicted that if the standing crop of fish and crab in this lake during springtime were higher than 2.5g/m², the macrophytes would not grow. Based on the macrophyte resources (4.12kg/m²), the model predicted a potential annual fishery productivity of about 1600t and an annually averaged phytoplankton chlorophyll content of 3.69mg/m³, which is lower than the criterion (10mg/m³) for eutrophic state.

From the point of view of the sustainable utilization of bioresources and eutrophication control, the authors suggest a fishery production pattern which could increase the yield of crab to about 1.5 times and the total fishery yield by about 12.5%.

Key words Aquatic macrophyte Bioresources utilization Eutrophication control Ecological modelling Potential fishery productivity