

太湖梅梁湾口浮游植物初级生产力及其相关因素关系的研究

蔡后建 陈宇伟 蔡启铭 高锡芸

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要 研究了太湖梅梁湾口1991年8月—1993年2月浮游植物初级生产力季节变化和垂直分布以及初级生产力与光、温、叶绿素、透明度之间的关系。结果表明,温度是影响初级生产力的主要因子。全年初级生产力主要集中在夏季(6—8月份)。水柱日毛生产量的最大值在7月份,达 $4.63 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$;最小值在12月,仅为 $0.12 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。初级生产力的最适温度为 25°C 。根据室内模拟实验,它与温度之间拟合方程为: $P = 0.229^{(25-T)}$ 。初级生产力还受可利用光的影响,最高初级生产力一般出现在透明度一半的水层。初级生产力与光辐射能之间的关系($T = 18^\circ\text{C}$)为: $P = 0.162 \cdot \frac{I}{1.33} \cdot \exp(1 - \frac{I}{1.33}) + 0.05$ 。

关键词 浮游植物初级生产力(量) 温度 光辐射能 叶绿素a 太湖 相关分析

1 前 言

近年来,由于太湖接纳生活污水和工业废水的逐年增加,促进了水体中藻类大量繁殖,特别是在夏季几乎全湖都能看到“水华”,直接影响到沿湖区域居民生活和工业的发展。梅梁湾湖区是湖体接纳无锡、常州污水的重要水域之一,为研究污水对湖区富营养化的影响,在该水区进行全面监测的同时,对浮游植物初级生产力的变化进行了定点观测和室内模拟实验结果的比较。

2 工作方法

2.1 野外定点观测

从1991年起,每月选择晴朗少云的天气,定期定点进行一次黑白瓶测氧法测定初级生产量(图1)。挂瓶水层为0.0m、0.2m、0.4m、0.6m、0.8m、1.0m、1.2m、1.6m等处的水层。曝光时间为24h。同时,测定水温、空气和各水层的光照强度,以及湖水透明度,浮游植物叶绿素a、悬浮物等^[1]。

2.2 室内模拟实验

取观测点水样,在光照培养箱内控制不同光、温条件,测定初级生产力^[5,6],方法同上。

收稿日期:1993年6月20日;接受日期:1993年8月12日。

3 结果与讨论

3.1 初级生产力周年变化和水温的关系

图 2 描绘了梅梁湾口 1991 年 8 月—1993 年 2 月浮游植物初级生产量及相关水温的变化。逐月浮游植物生产量与水温有相似的变化趋势。初级生产力最高生产层的日产量和水柱日毛生产量均出现在 7 月,分别为 $8.91 \text{ mg O}_2/\text{L} \cdot \text{d}$ 和 $4.63 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$; 最小值在 12 月,分别为 $0.16 \text{ mg O}_2/\text{L} \cdot \text{d}$ 和 $0.12 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。显然,温度是该水体初级生产力全年变动的主要影响因子。结果表明,全年初级生产力主要集中在夏季(6—8 月)。

室内模拟实验(光照 $129 \mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)表明,过高的温度可抑制水体的初级生产力(图 3a)。初级毛生产力开始随温度升高而增大,在 25°C 达最大值。随后,随温度上升而下降。室外定点实验结果经外包线法拟合(外包线以内的值都小于相应的外包线上的值,是别因素变化所

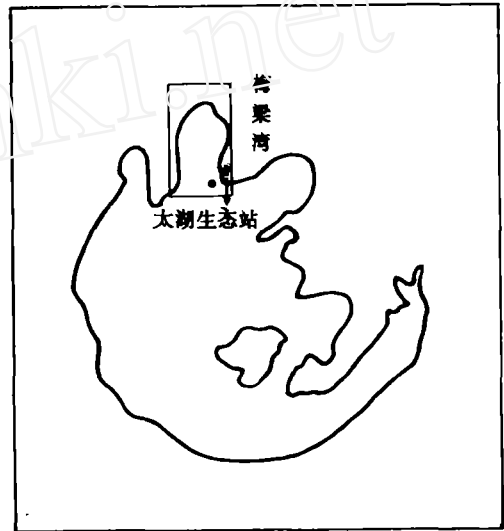


图 1 野外采样点(·)的位置
Fig. 1 Position of the sampling station (·)

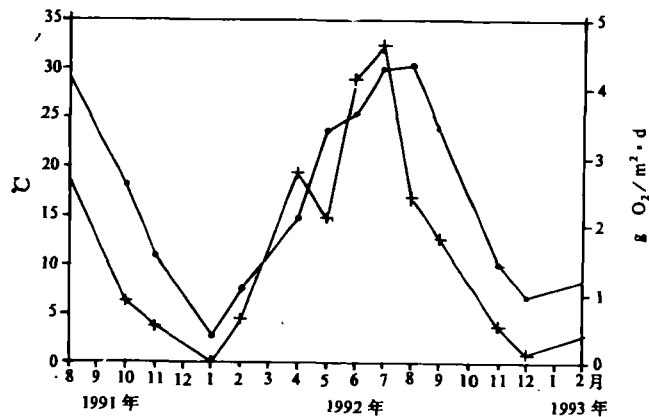


图 2 水温和浮游植物初级生产力的季节变动(带十号实线)

Fig. 2 Seasonal variations in temperature and primary productivity (+:solid line) of phytoplankton

致)也表明,单位叶绿素 a 的日毛生产量在温度 24°C 附近有最大值(图 3b)。因而可以认为 25°C 的条件是太湖梅梁湾口初级生产力的最适温度。

按照 Steele^[3]对初级生产力与光照、温度关系的描述,在只考虑温度变化条件下,则有:

$$P = P_{\max} \cdot \theta^{(T_0 - T)}$$

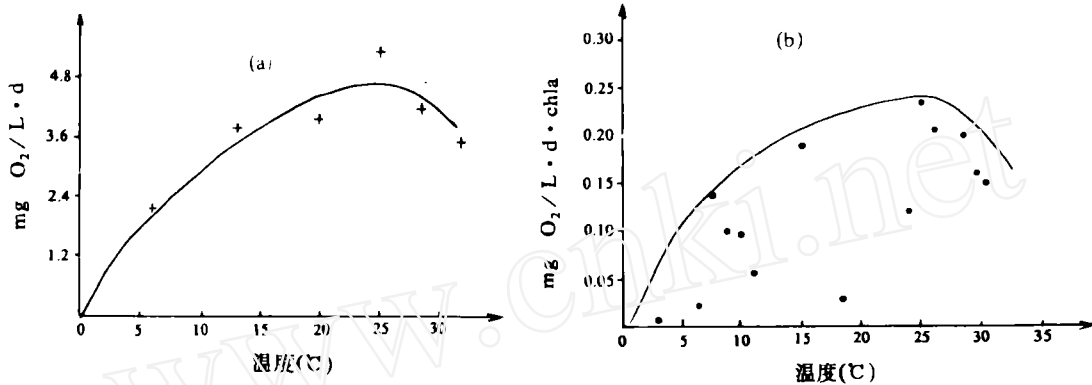


图 3 模拟实验(a)和野外现场实验中(b)温度对初级生产力的影响

Fig. 3 The effect of temperature on primary productivity in (a) simulation experiment and (b) field experiment

其中, P_{\max, T_0} 为最适温度 ($T_0, ^\circ\text{C}$) 所对应的初级生产力。根据室内模拟实验, 求得 $T_0 = 25^\circ\text{C}$ 时, 有

$$\theta = \begin{cases} 0.95 & T \leq T_0 \\ 1.06 & T > T_0 \end{cases}$$

即:

$$P = \begin{cases} 0.22 \cdot 0.95^{(25-T)} & T \leq 25^\circ\text{C} \\ 0.22 \cdot 1.06^{(T-25)} & T > 25^\circ\text{C} \end{cases}$$

3.2 光照对初级生产力变化的影响

1992年10月25日(水温 18°C) 对各水层毛初级生产力在一天内变化做了详细的观测。图4为大气和不同水层中的光辐射量。

光辐射量在一天中的变化, 按正弦曲线来模拟^[4](天气晴朗而稳定)。则光强的变化符合如下方程:

$$I_0 = \begin{cases} I_{0, \max} \sin^3\left(\pi \cdot \frac{t_d - t_w}{t_m - t_w}\right) & t_w \leq t_d \leq t_m \\ 0 & t_m < t_d \text{ 或 } t_d < t_w \end{cases} \quad (1)$$

其中, t_w 为日升时间; t_m 为日落时间; t_d 为真太阳时; $I_{0, \max}$ 为最大辐射量。经回归统计计算, 光强在深度 0.0m、0.2m、0.4m、0.8m 的水层的最大辐射量 ($\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) 分别为 816、464、172、66 ($r > 0.92$)。

对(1)式积分, 则有:

$$\int I_{0, \max} \sin^3\left(\pi \cdot \frac{t_d - t_w}{t_m - t_w}\right) dt_d = \frac{I_{0, \max} \cdot (t_m - t_w)}{\pi} \left[\frac{1}{3} \cos^3\left(\pi \cdot \frac{t_d - t_w}{t_m - t_w}\right) - \cos\left(\pi \cdot \frac{t_d - t_w}{t_m - t_w}\right) \right] \quad (2)$$

由(2)式则可得到不同时段各水层的辐射量(表1)。

从表1可知, 由于昼日光照强度的变化, 最大毛生产量的生产层从表层(早晨)向下(0.2m)转移(中午), 然后又逐渐上升到表层(傍晚)。这显然是由于中午过度的光强抑制了

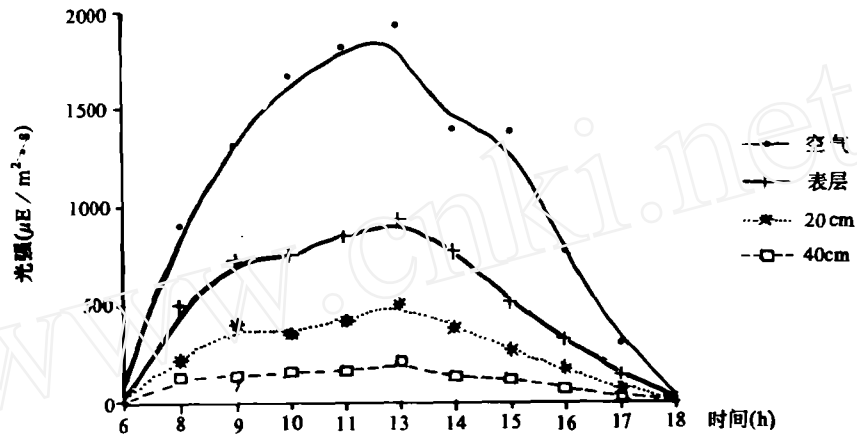


图4 空气和不同水深的强光在昼日的变化(1992年10月25日)

Fig. 4 Variation of light intensity in air and various water depths in the daytime (Oct. 25, 1992)

表层初级生产力所致。

表1 不同深度水层辐射量和毛生产量(1993年10月25日)

Tab. 1 The radiation and gross primary productivity at various water depths in Oct. 25, 1993

时间组	表层(0.0m)		0.2m		0.4m		0.8m	
	辐射量 (E/m ² ·h)	毛生产量 (mgO ₂ /L·h)	辐射量 (E/m ² ·h)	毛生产量 (mgO ₂ /L·h)	辐射量 (E/m ² ·h)	毛生产量 (mgO ₂ /L·h)	辐射量 (E/m ² ·h)	毛生产量 (mgO ₂ /L·h)
6:00—9:00	0.54	0.163	0.31	0.130	0.114	0.103	0.043	0.077
9:00—11:50	2.34	0.191	1.33	0.230	0.498	0.173	0.190	0.078
11:50—15:00	2.40	0.177	1.36	0.227	0.512	0.177	0.194	0.101
15:00—17:30	0.63	0.136	0.36	0.128	0.135	0.096	0.052	0.064
17:30—6:00	0		0		0		0	

根据 Steel 对初级生产量与光强、温度关系的模型,在温度恒定的条件下,有:

$$P = P_{\max, T} \cdot \frac{I}{I_s} \cdot \exp\left(1 - \frac{I}{I_s}\right)$$

其中, $P_{\max, T}$ 为 T 温度下的最大毛初级生产量; I_s 为最适宜光辐射量 ($E/m^2 \cdot h$)。经回归统计分析,可得 $P \sim I$ 关系:

$$P = 0.162 \cdot \frac{I}{1.33} \cdot \exp\left(1 - \frac{I}{1.33}\right) + 0.05 \quad (r = 0.94)$$

随水深的增加,光照强度按指数函数递减。因此,毛生产量在不同季节的不同水层的剖面分布是不相同的(图5)。上层初级生产量显著高于下层,而且由于光的抑制作用,最高初级生产量一般出现在透明度一半的水层。在夏季,由于表层藻类的生物量最高,藻类自荫作用的结果使得表层有最大的毛生产量(图5(d));而在冬季,温度是一主要限制因子,各水层的初级生产量差别较小。全年毛生产量的分布表明,补偿深度为透明度的3—4倍。在夏季,

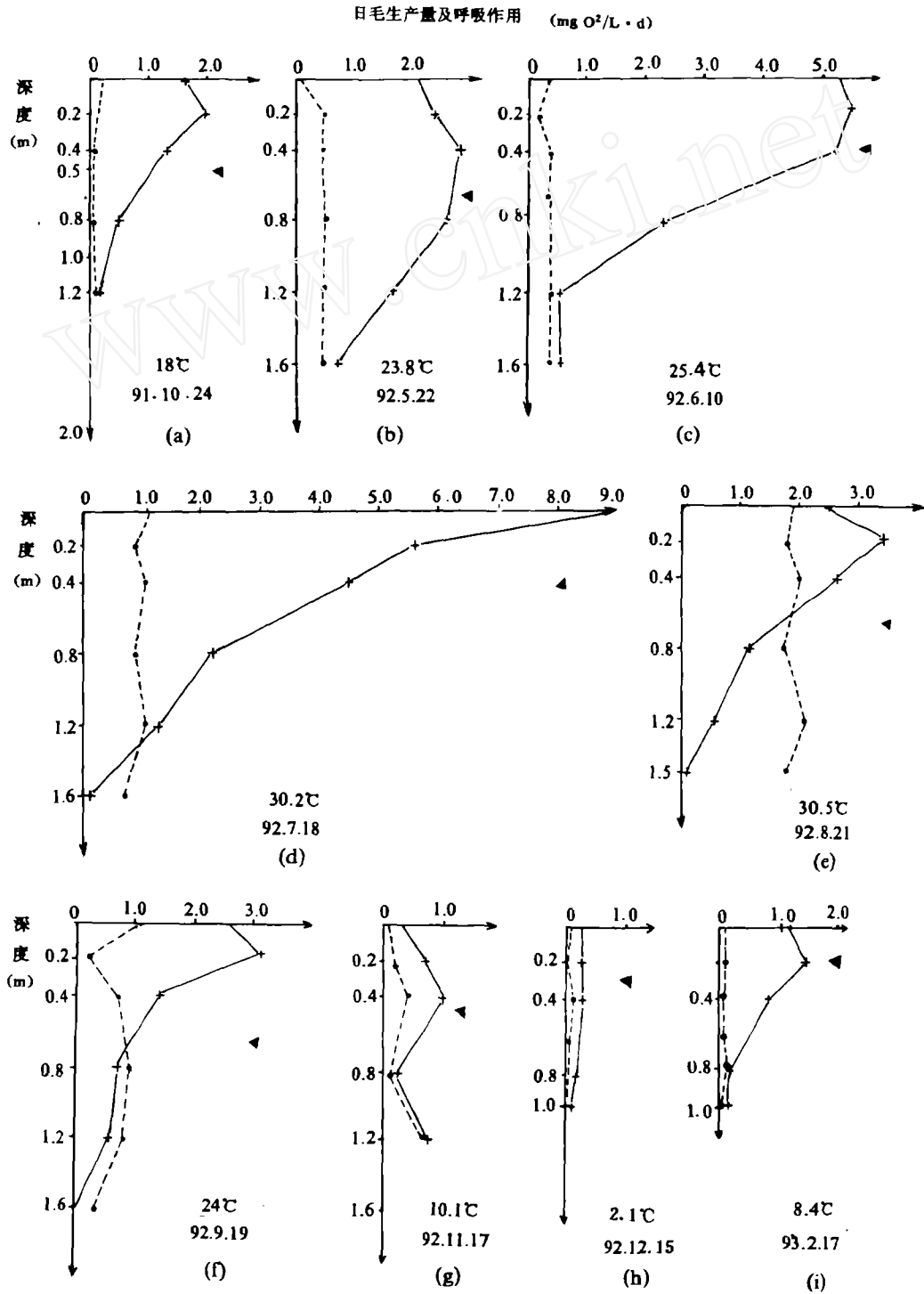


图 5 不同季节日毛生产量(+)和呼吸作用(•)的垂直分布(▲为透明度)

Fig. 5 Vertical distribution of gross primary productivity(+) and respiration(•) in various seasons

补偿深度偏浅;而在冬季则偏深。这显然与温度的影响有关。

3.3 初级生产力与其它因素的关系

浮游植物生物量是初级生产力的物质基础。全年统计结果表明叶绿素 a 含量(chl a mg/m^3)与水柱日毛生产量($\text{g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)之间存在显著正相关关系(图 6(a))。

$$P = -0.63 + 0.197 \text{ chl a} \quad (r = 0.90)$$

悬浮物对水柱日毛生产量的影响则比较复杂。由于浅水湖泊的悬浮物很容易受风浪的影响,而且悬浮物(包括藻类和非生物颗粒)一方面由于藻类的影响,与水柱日毛生产量有正相关的关系;另一面,由于泥沙等的作用,影响消光系数,又会降低水柱毛生产量。因此图 6(b)中数据关系比较散乱,它们之间的关系还有待于进一步深入研究。

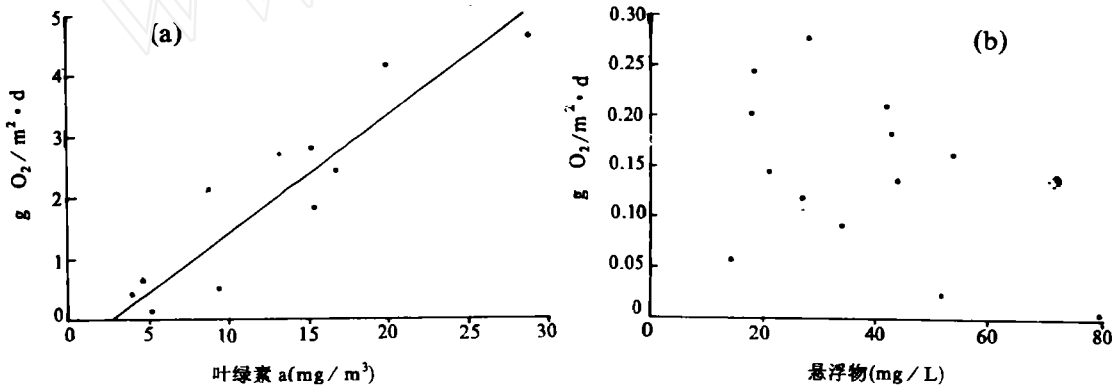


图 6 (a)叶绿素 a, (b)悬浮物与水柱日毛生产量的关系

Fig. 6 The relation between (a) chlorophyll a, (b) suspended solids and gross primary productivity

透明度是一个能较为直观反映水质的常用物理特性指标,它取决于水体的浮游生物和有机及无机悬浮物的数量。结果表明(图 7):透明度与水柱日毛生产量之间存在着正相关关系,这与已有报道^[2]的其它湖泊有所不同。可能是由于实验点受风浪影响。透明度除受浮游植物影响外,受无机悬浮物的影响较大,从而使消光系数增大引起。

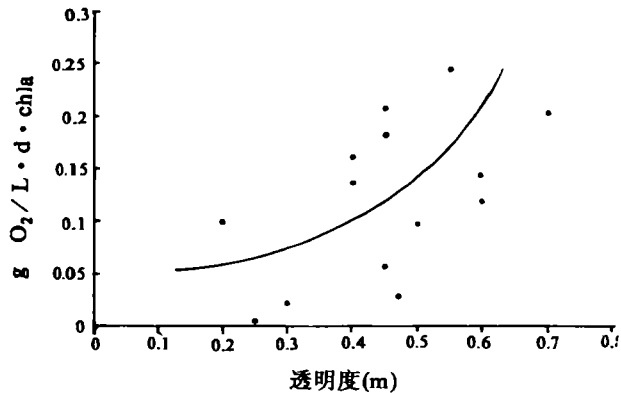


图 7 透明度与日毛生产量的关系

Fig. 7 The relation between transparency and gross primary productivity

4 结 论

太湖梅梁湾口的初级生产力分析表明:全年初级生产量主要集中在夏季(6—8月份),日毛生产量最大值在7月份为 $4.63 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$;最小值在12月份仅为 $0.12 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$,温度是影响初级生产力的主要因子;并且在 25°C 条件下,存在初级生产力的最大值。室内实验表明,初级生产力(P)与温度(T)之间有以下关系(光强为 $129 \mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时):

$$P = \begin{cases} 0.22 \cdot 0.95^{(25-T)} & T \leq 25^\circ\text{C} \\ 0.22 \cdot 1.06^{(25-T)} & T > 25^\circ\text{C} \end{cases}$$

初级生产力受可利用光的影响。实验结果还表明,初级生产力(P)与光辐射能(I)之间有以下关系($T=18^\circ\text{C}$ 时):

$$P = 0.162 \cdot \frac{I}{1.33} \cdot \exp\left(1 - \frac{I}{1.33}\right) + 0.05$$

此外,日毛生产量与藻类现存量呈显著正相关,与透明度也有正相关关系。而悬浮质的影响则比较复杂,有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 吴淑岱等. 湖泊富营养化调查规范. 北京:中国环境科学出版社,1987.
- 2 刘建康主编. 东湖生态学研究. 北京:科学出版社,1990.
- 3 李玉梁、刘中仁. 河流中藻类光合作用产氧模型及计算参数确定. 环境科学,1980,9(6):71—75.
- 4 Mitsumasa Okada and Shuichi Aiba. Simulation of waterbloom in an eutrophic lake—III. *Water Res.*, 1983,17(8):883—893.
- 5 Akira Tsuchida, et al. Spring bloom in a hypereutrophic lake, Lake Kasumiganra, Japan—IV. *Water Res.*, 1984,18(7):877—883.
- 6 C. Kwei Lin, et al. Effects of nutrient enrichment, light intensity and temperature on growth of phytoplankton from Lake Huron. Special Report No. 63 of the Great Lake Research Division, 1978.

RELATIONS BETWEEN PRIMARY PRODUCTION OF PHYTOPLANKTON AND RELATIVE FACTORS AT MOUTH OF MEILIANG BAY IN TAIHU LAKE

Cai Houjian Chen Yuwei Cai Qiming Gao Xiyun

(Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract

The vertical distribution of primary production of phytoplankton in various seasons and its relations with light intensity, temperature, chlorophyll a, transparency at the mouth of Meiliang Bay in Taihu Lake from Aug. 1991 to Feb. 1993 were studied. The results show that temperature is the main factor to affect the primary productivity, and the annual primary productivity was mainly distributed in summer, June to August. The maximum value of the gross primary productivity was $4.63 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ in July, while the minimum one was only $0.12 \text{ g O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ in December. The optimum temperature for the primary productivity was 25°C . According to the simulation experiment, the relation between primary productivity and temperature was fitted to the function: $P = 0.22 \cdot \theta^{(25-T)}$. The primary productivity was also affected by the available light. The maximum primary productivity occurred at the half depth of the transparency generally. The relation between the primary productivity and radiation is

$$P = 0.162 \cdot \frac{I}{1.33} \cdot \exp\left(1 - \frac{T}{1.33}\right) + 0.05$$

Key Words Phytoplankton, primary productivity, temperature, chlorophyll a, radiation, Taihu Lake

征 订 启 事

《水科学进展》以水为论述主题。她反映国内外在暴雨、洪水、干旱、水资源、水环境等研究领域中的最新成就、重要进展、当代水平和发展趋势,报导关于水圈研究的新事实、新概念、新理论和新方法,交流新的科研成果、技术经验和科技动态;她涉及与水有关的所有学科包括水文科学、大气科学、海洋科学、地质科学、地理科学、环境科学、水利科学和水力学、冰川学、水化学、生态学、水生生物学以及法学、经济学和管理学中与水有关的内容。读者对象为从事与水有关的生产、科研、教学、规划、设计与管理的科技人员和大专院校师生。《水科学进展》为季刊,每季季末出版,每期80页,定价4.00元,国内邮发代号:28-146,国外发行代号:Q1147,欢迎订阅,本刊可在当地邮局破季订阅。若错过订阅日期,亦可直接汇款到编辑部补订。地址:南京西康路1号,水利部南京水文水资源研究所内《水科学进展》编辑部,邮政编码210024。