

武汉东湖超微藻生态学的初步研究*

王建 林婉莲

(中国科学院东湖湖泊生态系统试验站, 武汉 430072)

提要 论述了武汉东湖超微藻年数量、叶绿素含量、生产量分布;于室内模拟了不同光强与不同浓度 P 营养对超微藻光合性能的影响,同时与国外海洋与淡水超微藻的生产力、生物量和各自所占百分比进行了比较.文中还就东湖超微藻分布特点与生态环境之间关系进行了讨论.

关键词 东湖 超微藻 表面荧光显微计数 碳生产

分类号 Q949.208

70年代末,超微浮游生物(Picoplankton)的发现导致了对水域生态系统群落结构认识上的一场革命,成为此后十几年水域生态学家和生物学家的研究热点之一.目前,湖沼学家与海洋生物学家对于超微藻(Algal picoplankton)的研究主要从以下几个方面开展:(1)采用超微藻表面荧光计数与直接免疫荧光分类技术进行真、原核超微藻的计数与分类,如 Griffiths 于 1984 年建立的超微藻命名系统^[1]; (2)超微藻色素组成与其对光质、光强有效利用与自生存适应性的研究^[2-6]; (3)超微藻营养吸收及其吸收速率的研究^[7-9]; (4)超微藻的生长、生产和生物量研究^[10-11]; (5)超微藻在水域生态系统食物链中的作用等^[12-14].

因淡水超微藻研究的报道主要来自欧洲、北美和新西兰,除日本刚刚开展这方面的研究外,亚洲湖泊均未见这方面的报道.本课题通过采用自显表面荧光显微计数的方法调查武汉东湖主要湖区超微藻数量分布状况,采用¹⁴C 同位素方法对过滤后的超微藻进行标记,测定超微藻光合生产率与其在总光合生产率中所占的比例;同时用室内试验手段模拟不同光强与添加不同浓度的磷营养盐对其光合作用的影响进行测定,本文总结报道了近两年来在关这方面的调查与试验结果,以供参考.

1 材料和方法

1.1 水样与前处理

取中国科学院东湖湖泊生态系统试验站Ⅱ,Ⅲ站(简称东湖Ⅱ,Ⅲ站)0.0m,0.5m,1.0m,2.0m 水深的水样,各自混合.用于表面荧光计数的水样首先用 25%的戊二醛固定,它的最终浓度为 2.5%—3.0%,样品保存在 4℃备用.非固定剩余的水样用 Nuclepore 滤膜取其滤液,一部分用同位素标记,在野外进行光合碳生产力试验;另一部分,在室内流水装置中进行模拟光强—营养的试验,室内水温控制与野外相同.

1.2 表面荧显微计数

将 25%戊二醛固定的样品,取 50mL 先后用 20 μ m 筛绢和 0.2 μ m 的 Nuclipore 滤膜过滤.

* 国家自然科学基金(编号 39430101)及中国科学院水生生物研究所所长基金资助项目.
收稿日期:1996—11—11;收到修改稿日期:1998—05—04. 王建,男,高级工程师.

取载有藻类的滤膜,切割为二,使滤有超微藻的面朝上置于用洗涤净煮洗并经酒精浸泡的载玻片上,加 1 滴无荧光油于膜上,盖上盖玻片,使无荧光油浸透整个玻片.计数前,再在盖玻片上滴加无荧光油 1 滴,根据细胞数的多少确定计数视野,通常为 10—50 视野.

计数采用欧波同万能型显微镜,并用完善平象场萤石玻璃消色差物镜 Plan-NEOFLUAR 100X, BP450—490, FT510, LP520 滤光片.计数结果用如下公式换算:

$$N = be/(acd)$$

其中, N 为每 mL 原水样中超微藻的数量(ind./mL); a 为水样用量(mL); b 为滤膜有效面积($\times 10^8 \mu\text{m}^2$); c 为物镜视野面积(μm^2); d 为每样品计数视野数(10—50); e 为 10—50 个视野计数获得的细胞数.

1.3 超微藻 ^{14}C — NaHCO_3 标记法

超微藻光合碳生产测定采用 Steemann Nielsen 的 ^{14}C 法^[15]. ^{14}C — NaHCO_3 (8.4mCi · mol/e) 购自中国医学科学院放射医学科学研究所. 闪烁液 (Insta-gel 5% Carbo-sorb Filter Counter) 购自美国 Packard 公司.

混合水样分别灌入 4 个 125mL 的瓶中,其中黑、白瓶各 2,每瓶均用 $5\mu\text{Ci}$ (185kBq) 标记,在离水面 0.5m 处悬挂 6h.

每瓶取 1mL 水样,加 4mL Insta-gel-5% Carbosorb,在 2200CA 液闪计 (Liquid Scintillation Counter) 上测定,获取基质活性.此外,每瓶取 5—10mL 水样用 $0.2\mu\text{m}$ Nuclepore 滤膜过滤,保留滤膜;另取 5—10mL 水样用 $3.0\mu\text{m}$ Nuclepore 滤膜过滤,保留滤膜,分别加 4mL Filtercount 测定不同大小浮游植物光合生产力,其 $0.2\mu\text{m}$ 膜所测值减去 $3.0\mu\text{m}$ 膜所测值,得到超微藻的碳光合生产值.

1.4 室内模拟试验

在 1994 年 4 月和 1995 年 4 月分别取 I 站水样用 $3.0\mu\text{m}$ Nuclepore 滤膜过滤后,通过黑白瓶法,在人工设置的流水装置中进行非营养加富的光合生产力测定,曝光时间为 8—16h,光强为 3200—16000 Lx,此外,用流水装置进行营养加富试验,营养浓度从 0.08mgP/L 到 0.96mgP/L,设 8 个营养级,在 10000 Lx 光强下测定其光合氧生产力,曝光时间为 16h.

2 结果

2.1 超微藻的数量

根据调查结果,光合超微藻在东湖全年不同深度的平均数量分布范围为: I 站 0.1202×10^5 — 4.3832×10^5 ind./mL, II 站 0.0575×10^5 — 9.8009×10^5 ind./mL. 其中 I, II 站夏季光合超微藻数量明显高于其它季节,分别为 8.9780×10^8 ind./m² 和 18.6067×10^8 ind./m²,其余的季节仅 0.4075×10^8 — 1.1259×10^8 ind./m² 和 0.4075×10^8 — 1.1259×10^8 ind./m². 从结果可知, II 站除夏季超微藻数量是 I 站的 2.07 倍,其余季节明显低于 I 站. I 站超微藻数量的季节变动呈现较平稳趋势.

2.2 超微藻的 Chl. a 含量

从 1992 年 10 月到 1993 年 11 月, I 站总 Chl. a 含量的变幅为 9.25—75.61 $\mu\text{g/L}$,超微藻 Chl. a 含量变幅为 0.93—54.30 $\mu\text{g/L}$; II 站 Chl. a 含量变幅为 1.08—45.49 $\mu\text{g/L}$,超微藻 Chl. a 含量变幅为 0.38—30.12 $\mu\text{g/L}$. I、II 站光合超微藻 Chl. a 含量最高值分别出现在

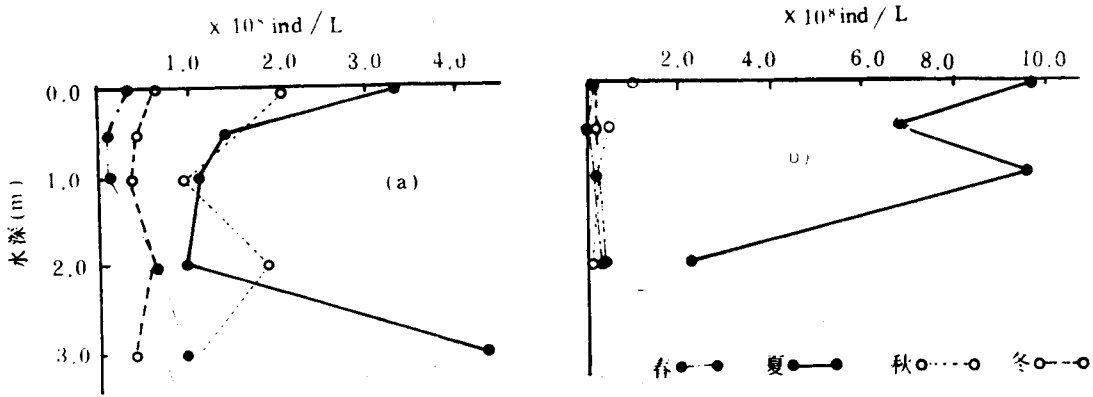


图 1 东湖 I 站(a), II 站(b)超微藻季节数量分布

Fig. 1 Seasonal changes in algal picoplankton individual with depth in 2 stations of Donghu L., Wuhan

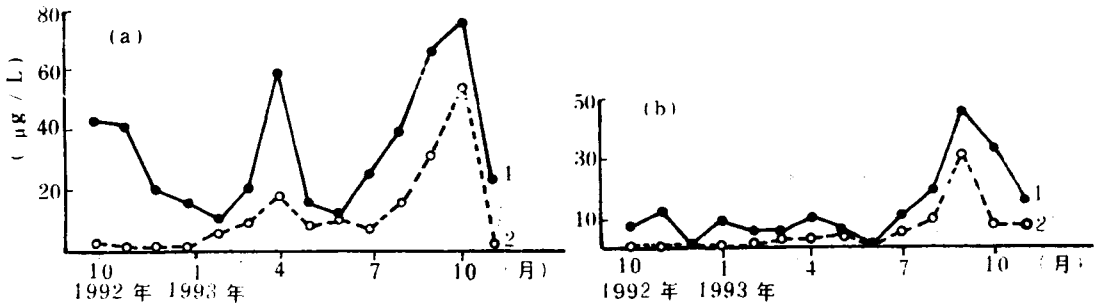


图 2 东湖 I 站(a)、II 站(b)Chl. a 含量的变化(1. 总叶绿素; 2. 超微藻叶绿素)

Fig. 2 Chlorophyll a concentration of algal picoplankton in two stations of Donghu Lake, Wuhan

1993 年 10 月和 1993 年 9 月, 光合超微藻 Chl. a 占总 Chl. a 比值最高则出现在 1993 年 6 月和 1993 年 5 月.

2.3 超微藻的碳生产力

1993 年 6 月—1994 年 5 月, II 站全年总光合碳生产变幅为 0.0296×10^3 — $2.6034 \times 10^3 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$, 全年光合超微藻碳生产为 0.042×10^3 — $1.6056 \times 10^3 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$, 后者占前者的 1.00%—87.98%(图 3a). 相应时期 I 站全年总光合碳生产变幅为 0.0027×10^3 — $0.7337 \times 10^3 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$, 全年光合超微藻碳生产为 0.004×10^3 — $0.3867 \times 10^3 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$, 后者占前者的 1.09%—90.4%(图 3b). 可以看出, II 站超微藻碳生产绝对值是 I 站的 4.2—10.5 倍, 但 I 站超微藻碳生产占总碳生产比例要稍高于 II 站.

2.4 光强与营养盐浓度的试验

1994 年 4 月 20 日设置 3200—16000 Lx 系列人工光强, 进行超微藻类光合作用, 曝光时间 8h, 水温 15.5°C; 1995 年 4 月 17 日超微藻光合作用曝光时间为 16h, 水温 24.0°C. 从两次超微藻在模拟光照试验条件下的光合毛产量的趋势来看(图 4), 东湖超微藻光合作用最佳光强在 7000—13000 Lx, 光合作用最高产量分别为 $0.05 \text{mgO}_2/(\text{L} \cdot \text{h})$ 和 $0.08 \text{mgO}_2/(\text{L} \cdot \text{h})$.

不同 P 营养盐水平下, 将超微藻光合氧生产量与未加任何营养盐的东湖原水样进行比较后可以发现(图 5), 在 10000 Lx 光强下, 增加样品中 P 的浓度可提高其生产力, 但超过一定限

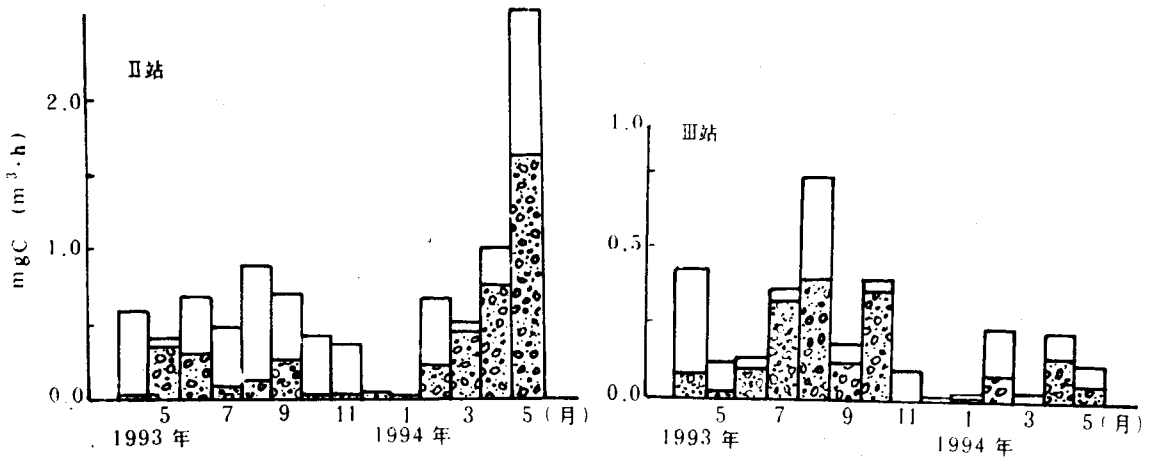


图 3 I 站(a)、II 站(b)总光合作用碳生产与超微藻碳生产比例

Fig. 3 Total carbon productivity with the ratio of algal picoplankton carbon fixation in two stations of Donghu Lake, Wuhan

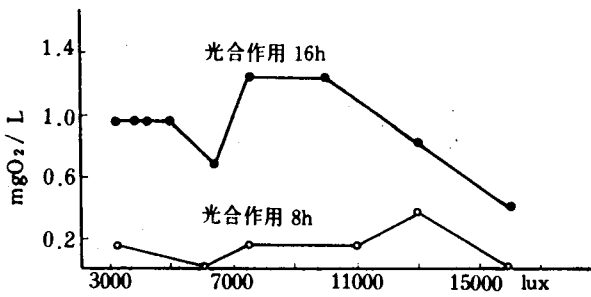


图 4 模拟光照试验条件下超微藻的光合毛产量

Fig. 4 The effect of light intensity on gross primary productivity of algal picoplankton

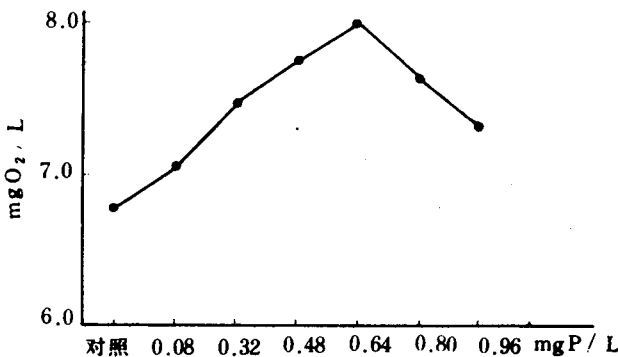


图 5 在不同浓度磷营养水平下超微藻的氧生产量

Fig. 5 The experiment on gross primary productivity of algal picoplankton vs. phosphorus enrichment

度后,便逐步下降。

3 讨论

3.1 超微藻类的现存量和生产量

通常光合超微藻数量与超微藻光合碳生产成正比(图 1 和图 3b),但 I 站在 7 月光合超微藻数量呈最高值时,光合碳生产量却明显偏低(图 3a),出现不吻合现象的原因可能有以下几点:(1)藻类分布不均,藻类种类不同;(2)藻类对光的适应与有效利用有差别;(3)营养盐浓度有高低。

如果用 I 站 1993 年 6 月—10 月的光合产值与超微藻 Chla 含量作对照,发现光合产量也不随 Chla 含量增高而增高;相反 II 站光合产量高的月份却与 Chla 含量相吻合,这种现象的出现表明 I、II 站藻类种类组成上的差别,在超微藻中,蓝绿藻富含 3 种蛋白:藻蓝蛋白(C-Phycocyanin)、藻红蛋白(C-Phycocerythrin)和藻胆蛋白(Phycobiliproteins),其中富含藻红蛋白的蓝绿藻能有效利用光强,并对光强具有明显的选择性,以此来适应不同环境与深度的生活,尤其是聚球藻 *Synechococcus* 能在

非常低的辐照下达到饱和的光合作用率, 并具高的生长率(在 1% 的透光率下仍可进行反应)^[5], 而由 Chl(a+b) 或 Chl(a+c) 组成的超微藻, 光合水平较之聚球藻为低, 只在 5% 的透光率下有反应^[16]. 近年来东湖属于蓝藻的超微藻种类正在形成, 光合生产与数量、Chla 含量不吻合的现象可能与上述富含 3 种蛋白的藻类形成的时间、数量有关.

3.2 不同水域超微藻类生产力、生物量的比较

从表 1(海洋和国外各类湖泊的数据取自 Stockner^[16]) 中可以发现东湖超微藻类生产力、生物量变幅较大, 究其原因, 东湖是以渔业为主的浅水湖泊, 鱼类摄食与代谢产物中营养盐的分解释放可能是导致超微藻生产力、生物量高的主要原因. 因为鲢鳙鱼类的大量放养, 使水花种类的藻类如微囊藻、束丝藻、鱼腥藻等被食, 而且鳙鱼同时又吃掉了以小型微藻为主的大型浮游动物, 由于滤食性鱼既除去了竞争者, 又除去超微藻的捕食者, 这样湖泊中剩下的浮游植物多是直径为 0.2—0.2 μm 以内的小型浮游藻类. 另一方面, 目前生活、工业污水的排放, 使水体可提供藻类生长的营养盐类过剩, 以至使原来在较低营养浓度环境下, 靠胶被吸附作用提供营养的水华种类(K -选择种), 失去了与营养吸收速率高、生长周转快的小型种类(r -选择种)的竞争优势^[17]. 综上所述, 在探讨超微藻分布与其生态环境学意义方面, 必须结合其它因素考虑, 如物理、化学环境及生物因子对其产生的综合影响. 本项研究同时也表明, 光合超微藻作为原初生产者在湖泊生态系统中占有不容忽视的重要地位.

表 1 不同水域超微藻类生产力、生物量的比较

Tab. 1 Comparison with primary production and biomass of algal picoplankton in different waters

| 水 体 | 海 洋 | 国外各类湖泊 | 武汉东湖 |
|--------------------------------|-------|---------|----------|
| 初始生产力(mgC/(m ³ ·h)) | 1—31 | 1—8 | 0.4—1605 |
| 占总碳生产的百分比(%) | 1—90 | 16—70 | 1—90.4 |
| 生物量(Chla/m ³) | 0.5—1 | 0.3—1.0 | 0.4—54.3 |
| 占总叶绿素的百分比(%) | 1—90 | 0.2—43 | 2.2—90 |

参 考 文 献

- 1 Griffiths A J. A descriptive numericulture for isolates of cyanobacteria. *Br Phycol J*, 1984, **19**:233—238
- 2 Alberte R S, Wood A M, Kursar T A, et al. Novel phycoerythrins in marine *Synechococcus* spp.: characterization and evolutionary and ecological implications. *Plant Physiol*, 1984, **75**:732—739
- 3 Glover H E, Smith A E, Shapiro L. Diurnal variations in photosynthetic rates: comparisons of ultraphytoplankton with a larger phytoplankton size fraction *J Plankton Res*, 1985, **7**:517—535
- 4 Wood A M. Adaptation of photosynthetic apparatus of marine ultraphytoplankton to natural light fields. *Nature*, 1985, **316**:253—255
- 5 Morris I, Gliver H. Physiology of photosynthesis by marine coccoid cyanobacteria some ecological implications. *Limnol & Oceanogr*, 1981, **26**:957—961
- 6 Glover M D, Guillard R R L. Light quality and oceanic ultraphytoplankton. *Nature*, 1986, **319**:142—143
- 7 Suttle C A, Harrison P J. Phosphorus uptake rates of phytoplankton assemblages grown at different dilution rates in semi-continuous culture. *Can J Fish Aquat Sci*, 1986, **43**:1474—1481
- 8 Shortreed K S, Stockner J G. Effect of nutrient additions on lower trophic levels of an oligotrophic lake with a seasonal deep chlorophyll maximum. *Can J Fish Aquat Sci*, 1990, **47**:262—273
- 9 Suttle C A, et al. Size dependent ammonium and phosphate uptake, and N:P supply ratios in an oligotrophic lake. *Can J*

- Fish Aquat Sci*, 1991, **48**:1226—1234
- 10 Glover H E, Phtnney D A, Yentsch C S. Photosynthetic characteristics of picoplankton compared with those of larger phytoplankton populations. In various water masses in the Gulf of Maine. *Bio Oceanogr*, 1985, **3**:223—248
- 11 Fahnenstiel G L, Sicko-Goad L, Scavia D, Stoermer E F. Importance of picoplankton in Lake Superior. *Can J Fish Aquat Sci*, 1986, **43**:235—240
- 12 Iturriaga R, Mitchell B G. Chroococcoid cyanobacteria: A significant component in the food web dynamics of the open ocean. *Mar Ecol Prog Ser*, 1986, **28**:291—297
- 13 Caron D A, Goldman J C, Anderson O K, *et al.* Nutrient cycling in a microflagellate food chain: 2. population dynamics and carbon cycling. *Mar Eco Prog Ser*, 1985, **24**:243—245
- 14 Stockner J G, Antia N J. Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems: a multidisciplinary perspective. *Can J Fish Aquat Sci*, 1986, **43**:2471—2503
- 15 Steemann Neilsen E. The use of radioactive carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea. *J Cons Int Explo Mer*, 1952:117—140
- 16 Stockner J G. Phototrophic picoplankton: an overview from marine and freshwater ecosystems. *Limnol & Oceanogr*, 1988, **33**(4):765—775
- 17 Wang J, Liu J K. Role of phosphorus cycling in algal metabolism and algal succession in Lake Donghu, China. *Arch Hydrobiol*, 1991, **120**(4):433—445

Ecological Approaches of Algal Picoplankton in Donghu Lake, Wuhan

Wang Jian Lin Wanlian

(*Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072*)

Abstract

This paper studies the numbers, biomass and carbon production distribution of algal picoplankton at two stations in Donghu Lake (Wuhan). Algal picoplankton numbers were $0.0575 \times 10^5 - 9.8009 \times 10^5 \text{ ind./mL}$. The biomass (chlorophyll) were $0.38 - 54.30 \mu\text{g chl. a/L}$ which contributed to total chlorophyll biomass in annual investigation from $2.24\% - 98.66\%$. Chla carbon production rates ranged from $0.0004 \times 10^3 - 1.6056 \times 10^3 \text{ mgC}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$. The percentage contribution by picoplankton to total carbon production ranged from $1.0\% - 90.4\%$.

The light and phosphorus nutrient measurements from the laboratory experiments indicate some effects on oxygen production of picoplankton. The optimum light intensity of algal picoplankton photosynthesis is suggested at $7000 - 13000 \text{ Lx}$ in Donghu Lake. The specificity of ecological environment and formation of algal picoplankton in Donghu Lake are also discussed.

Key words Donghu Lake (Wuhan), algal picoplankton, epifluorescence microscopy, carbon production