

台湾海峡异养性鞭毛虫生态研究 I: 1997年夏季南部海域鞭毛虫丰度及生物量分布

林元烧, 罗文新, 曹文清, 李少菁

(厦门大学海洋学系, 厦门大学亚热带海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘要: 采用AO染色、荧光计数方法, 报道1997年8月台湾海峡南部(117°5′~119°9′E, 22°4′~24°3′N)海域异养性鞭毛虫丰度、生物量及其分布。结果表明, 调查海域各测站异养性鞭毛虫丰度范围 $391 \times 10^3 \sim 1\,846 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均 $949 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$; 换算为含炭量, 范围 $3.64 \sim 16.96 \mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均 $8.45 \mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$ 。鞭毛虫大小以2~22 μm 粒径的细胞为主, 占总细胞数的96.2%。鞭毛虫高生物量区在调查区的南部水域, 其生物量比海区平均生物量高近1倍; 比其它测站的高了3~5倍。垂直分布不均匀, 0~30 m 水层是鞭毛虫的主要分布水层。连续观测结果表明, 本海区的异养性鞭毛虫数量有明显的24 h 节律变化, 但相邻2个测站鞭毛虫数量昼夜变化的峰值时间不不一致, 相差约6 h 左右。

关键词: 异养性鞭毛虫; 数量分布; 台湾海峡

中图分类号: Q 148

文献标识码: A

原生生物(protozoa)中的鞭毛类包括系统分类学上的植鞭毛纲(phytomastigophorea)和动鞭毛纲(zoomastigophorea)。这类单细胞生物约有1/2种类体内含有色素体, 能进行光合作用制造营养物质, 称为自养性鞭毛藻(autotrophic flagellates, AF); 约1/2种类营动物性营养或兼性营养, 称为异养性鞭毛虫(heterotrophic flagellates, HF)。异养性鞭毛虫虽然个体小, 通常几微米至几十微米, 生物粒级划分为微型浮游生物(nanoplankton), 但数量多, 繁殖周期短, 生长速率快, 使得微型食物环的能量转换效率高, 营养物质更新速率快。认识到这类生物不仅是海洋生态系统食物网的基础环节, 而且在海洋微型食物环(microbial loop)中, 尤其是在生态系统中的营养链接(trophic link)和生源要素的再循环方面扮演着重要角色^[1]。我国有关异养性鞭毛虫的研究, 在淡水湖泊及污水处理工程中研究较多^[2], 海洋中则乏人问津。

自80年代以来, 台湾海峡进行了数次大规模的海洋综合调查^[3]和专项调查^[4,5], 对生物生

收稿日期: 2000-12-06

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(49636220)

作者简介: 林元烧(1953-), 男, 副教授

E-mail: yslin@xmu.edu.cn

产力及其调控机制进行了探讨, 认为该海域存在微食物环调控生源物质转换的机制 本文对 1997 年 8 月台湾海峡南部海域的异养性鞭毛虫进行研究, 旨在了解这类生物在该海区的丰度、生物量及其分布, 探索这类生物在生源要素的生物地球化学循环中所起的作用, 也为日后开展这一领域的相关研究提供研究方法和积累资料

1 材料与方法

本文材料于 1997 年 8 月取自台湾海峡南部海区 调查范围 117°E ~ 119°E, 22°N ~ 24°N, 调查断面及站位设置参考图 1, 其中 9701 和 9704 测站为 24 h 连续观测站(9701 测站 HNF 样品每间隔 6 h 采集一次; 9704 为每 3 h 采集一次). 用深水泵取预定水层水样 2 L, 现场经 1 mm 孔径筛绢滤除较大的颗粒和浮游动物, 再经孔径 2 μm 醋酸纤维滤膜过滤, 浓缩至 100 mL, 用波恩氏液固定并保存. 取样同时按海洋综合调查规范测定水文、化学和生物等有关参数

样品分析采用 AO 染色(acridine orange staining) 荧光计数法^[1]. 取样品平行分为两份子样品, 经孔径 2 μm 滤膜[滤膜预先经依加伦黑(irgalan black) 染黑 8~ 12 h]过滤, 制成滤膜样品 2 份. 其中一份滤膜加入约 5 mL 的 AO 溶液[0.1% (w/v)]中, 染色 5~ 10 min; 另一份滤膜加入原固定液 5 mL; 同时滤除 AO 染色液和固定液后, 取下滤膜, 置于普通载玻片

上, 在表荧光显微镜(epifluorescence microscope) 下分别计数. 平行的两份子样品计数数据的差值即为异养性鞭毛虫的细胞数量, 最后换算成水样中的鞭毛虫细胞丰度($\text{cell} \cdot \text{L}^{-1}$). 此外, 用微量取样器各取样 0.1 mL, 制成 3 份平行的浸制样品, 置于 BH-2 Olympus 相差显微镜下鉴别异养性鞭毛虫形态, 其计数所得数据亦作为鞭毛虫的参考数量

异养性鞭毛虫生物量的估算参考 Sherr(1987)^[6]. 依鞭毛虫几何形状, 大致分为球形和椭圆形(折算为球形), 求出每个虫体体积, 最后采用转换系数($0.08 \text{ pgC} \cdot \mu\text{m}^{-3}$)^[6]将鞭毛虫数量换算为生物量($\mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$).

2 结果

2.1 调查海域异养性鞭毛虫丰度

本次调查共设鞭毛虫采集站位 7 个, 站位分布参考图 1, 共获得不同水层的样品 103 份. 镜检结果表明, 本海域的异养性鞭毛虫(以下除特别指明外, 文中鞭毛虫系指异养性鞭毛虫) 粒径分布范围较广. 在本次调查中, 观察到的鞭毛虫粒径大小范围 2~ 35 μm. 为方便测量和能够较为准确计算鞭毛虫的生物量, 人为将鞭毛虫细胞大小分为 3 级, 分别为: 2~ 6 μm、

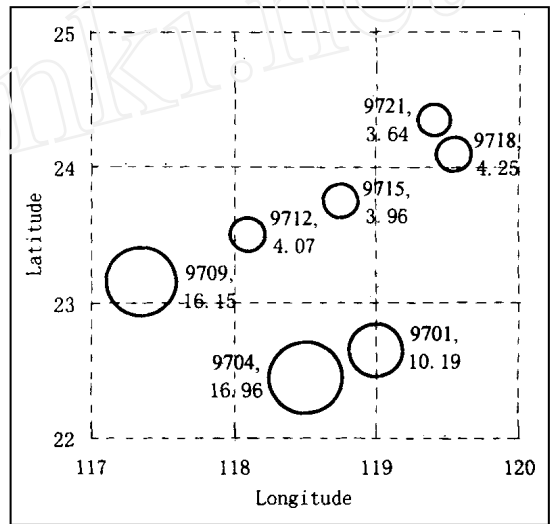


图 1 台湾海峡南部调查海区站位和相对生物量分布图
图中数字为站位编号和鞭毛虫生物量($\mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$)

Fig. 1 Diagram of sampling sites and biomass distribution

6.1~22 μm 和 22.1~35 μm . 根据分析结果, 本海域各测站鞭毛虫数量范围 $391 \times 10^3 \sim 1\,846 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均 $949 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$; 3 个粒级细胞占平均数量的比例分别为 46.88% (2~6 μm)、49.32% (6.1~22 μm) 和 3.8% (22.1~35 μm). 其中, 9704 站的鞭毛虫数量最高, 达 $1\,846 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, 为海区平均数量的 1.95 倍; 9721 测站的数量最低, 仅 $391 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, 为海区平均数量的 41%. 各测站的鞭毛虫细胞数量和各粒级数量比例如表 1 所示

表 1 调查海区各站位鞭毛虫生物量及粒径组成

Tab 1 HNF biomass and percentages of different sizes of cells in each station

站位	生物量 ($\mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$)	粒径组成/%		
		2~6 μm	6.1~22 μm	22.1~35 μm
9701	10.19(2.14)	1.44	88.86	9.71
9704	16.96(8.02)	1.54	50.9	47.56
9709	16.15(4.70)	0.74	67.06	32.21
9712	4.07(0.48)	2.68	81.44	15.88
9715	3.96(1.05)	2.4	70.3	27.3
9718	4.25(2.29)	1.6	80.26	18.13
9721	3.64(2.22)	1.34	63.39	35.27
均数*	8.45(5.98)	1.43	67.91	30.66

* 给定样品均数; 括号内为 95% 可置信区间样品标准偏差 余类推

2.2 鞭毛虫生物量的平面分布

根据 Sherr(1987)^[6]的计算方法, 将各测站计数所得的鞭毛虫细胞数量换算为生物量, 以 $\mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$ 表示. 根据分析结果, 本调查海域的鞭毛虫生物量范围 3.64~16.96 $\mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均为 8.45 $\mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$. 各粒径的鞭毛虫细胞对生物量的贡献比例分别为 1.43% (2~6 μm)、67.91% (6.1~22 μm) 和 30.66% (22.1~35 μm). 各测站鞭毛虫生物量及其平面分布如表 1 和图 1 所示

本海区鞭毛虫的细胞大小主要由粒径 2~22 μm 的各类鞭毛虫所组成; 而对于生物量的贡献主要是粒径为 6~22 μm 的各类鞭毛虫, 其次为 22.1~35 μm 的各类鞭毛虫, 大小为 2~6 μm 的鞭毛虫由于个体小, 就其数量而言, 虽然在各测站鞭毛虫数量中所占比例不少, 但是在鞭毛虫生物量中所占比例甚低. 比较表 1 和图 1 可以看出, 鞭毛虫细胞丰度和生物量的平面分布格局甚为相似, 高生物量区主要在调查海区的南部水域, 包括了 9704、9709 和 9701 测站, 其细胞数量不仅比其它海区(测站)的数量高 3~6 倍, 而且, 生物量也比其它海区(测站)的高了 3~5 倍

2.3 鞭毛虫生物量垂直分布

调查结果表明, 本海区鞭毛虫分布很广, 从表层到底层, 各个水层都能见到数量不等的鞭毛虫. 图 2 为整个调查海区各水层鞭毛虫平均生物量的垂直分布状况

从图 2 可以看出, 调查海区鞭毛虫平均生物量的垂直分布, 最大生物量出现在 0~30 m 水层之间, 这层水域的鞭毛虫生物量占总生物量的 71.9%, 30 m 以深水层的生物量较少, 仅占总生物量的 28.1%. 值得注意的是, 南部水域的 9701、9704 和 9709 测站, 0~30 m 水层的鞭毛虫生物量较高. 3 个测站 0~30 m 水层中的鞭毛虫平均生物量 15 $\mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$, 比海区的平均生物量 (8.45 $\mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$) 高近 1 倍

2.4 鞭毛虫数量昼夜变化

本次调查中, 9701 和 9704 测站分别为 24 h 连续观测站(鞭毛虫采样间隔时间 6 h)。这两个测站的鞭毛虫的生物量昼夜变化分别如图 3 所示

9701 测站, 鞭毛虫数量昼夜变化具有明显的 24 h 节律, 最大生物量时间在夜间时分, 白天时间的生物量较低, 仅为夜间的约 1/2 图 3a 中可以看出, 引起生物量昼夜变化的鞭毛虫粒径主要是大小为 6 1~ 22 μm 范围的鞭毛虫

9704 测站, 鞭毛虫数量昼夜变化也呈现明显的 24 h 节律, 生物量高峰时间主要在 12~ 18 pm 时间, 从 0~ 12 am 时间段的生物量较低, 平均生物量峰谷之间差距约 3 倍 引起生物量昼夜变化的鞭毛虫粒径除了 6 1~ 22 μm 大小的鞭毛虫外, 22.1~ 35 μm 范围的鞭毛虫也是主要因素之一(图 3b)。

比较 9701 和 9704 测站的鞭毛虫生物量昼夜变化(图 3), 不难看出, 两个测站都具有明显的 24 h 节律变化, 生物量峰谷之间的差值在 1~ 3 倍之间, 而且, 生物粒径为 6 1~ 22 μm 和 22.1~ 35 μm 大小的鞭毛虫是这种昼夜数量变化的主导因素 这些现象提示, 该海区的鞭毛虫可能存在一定尺幅的昼夜垂直移动 有资料报道^[1,11], 较大颗粒的鞭毛虫(如裸甲藻等)具有一定范围的昼夜垂直移动能力 但是, 这两个测站的鞭毛虫生物量昼夜节律并不相一致(比较图 3a 和 b), 生物量高峰时间一是在下午这段时间(9704 测站), 即 12~ 18 pm; 而另一个则是在夜间, 即 18 pm ~ 6 am 这段时间内(9701 测站)。相邻两个测站鞭毛虫生物量昼夜变化不相一致的原因, 由于本研究所用材料及研究方法的局限, 加之未能对鞭毛虫进行种类辨认和鉴定, 从生物种类的生活习性和生物节律不同加以探讨 此问题尚有待今后改进方法进一步调查研究

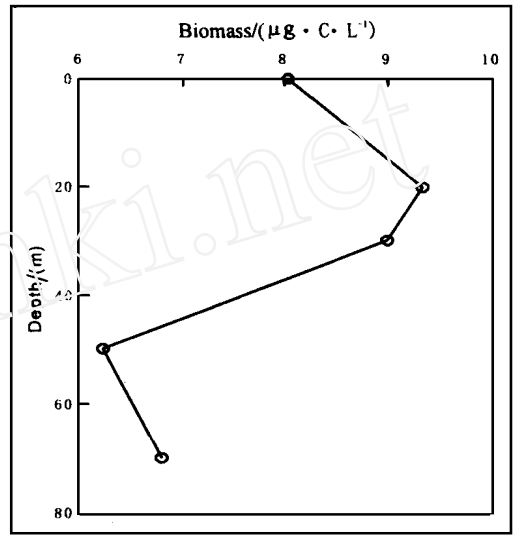


图 2 调查海区鞭毛虫生物量垂直分布
Fig. 2 Vertical distribution of HNF biomass ($\mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$) in studied area

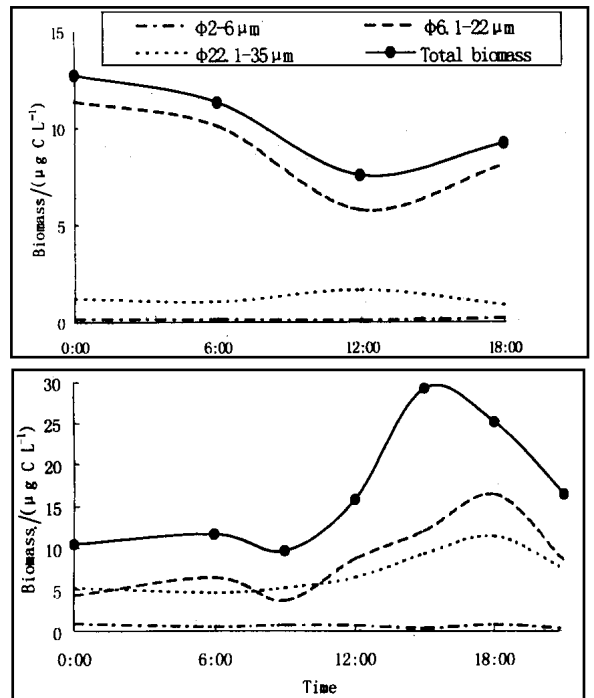


图 3 9701(a)和 9704(b)测站鞭毛虫生物量昼夜变化
Fig. 3 Diurnal distribution of HNF biomass in 9701 (a) and 9704(b) station

3 讨 论

海洋食物网研究中,由超微型浮游生物(picoplankton)、微型浮游生物(nanoplankton)和小型浮游生物(microp plankton)组成的微型食物环(microbial loop or micro-food web)在海洋生态系统能流和营养物质生物地球化学循环中具有重要意义^[1,2,6,11]。Andersen 等人^[7]调查研究丹麦Limfjorden 浅滩3~11月微型浮游生物种群动态,该海域的细菌、异养性鞭毛虫和纤毛虫的丰度分别为 $0.5 \times 10^6 \sim 15.2 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$ (平均6.3)、 $0.2 \times 10^3 \sim 15.2 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$ (平均2.0)和 $1.4 \sim 162 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$ (平均17.1)细胞。夏季期间,异养性鞭毛虫每天平均摄食水域中45%的细菌生物量,纤毛虫则每天平均摄食异养性鞭毛虫生物量的93%。作者推论微型食物环在该富营养水域中的能流中占有重要地位。Hagstrom 等人(1988)^[8]在法国地中海沿岸寡营养海区的微型食物网研究模型中表明,该海区异养性鞭毛虫丰度 $0.91 \times 10^3 \sim 2.2 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$,平均 $1.35 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。这些鞭毛虫不仅控制37%异养性细菌生物量,而且也控制水域中57%的微型藻类($< 1 \mu\text{m}$)和光合细菌生物量;同时,这些鞭毛虫由于自身的代谢活动,向水域贡献了37%的DOM。本文研究结果(表1)表明,1997年8月台湾海峡南部海域各测站异养性鞭毛虫的丰度范围 $391 \times 10^3 \sim 1846 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ (= $0.391 \times 10^3 \sim 1.846 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$),平均 $949 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ (= $0.949 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$)。比较丹麦Limfjorden 浅滩和本调查海域的研究结果,不难发现,本海区的异养性鞭毛虫生物量较低,约少1/2。这可能与丹麦沿岸属温带水域,水中营养盐水平较高,可维持较高的生物量有关^[7]。法国地中海沿岸(寡营养海域)的研究结果^[8]与本文结果较为接近。淡水湖泊的有关调查研究^[9,10]结果也表明,水域中的异养性鞭毛虫数量范围通常在 $10^3 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的级别。本海区的异养性鞭毛虫生物量较低,趋近于寡营养水域的水平,可能与本海区地处亚热带,营养盐及微小型生物数量水平较低有关。

台湾海峡是连接东海和南海的主要通道,闽浙沿岸水、粤东沿岸水、海峡暖水(南海水及黑潮分支的混和水)等几股海流构成了海峡的主要流系。受季风的影响,各流系相互消长,复杂多变。台湾海峡由于地形、海流和季风的共同作用,使得海峡南部的台湾浅滩终年存在上升流^[4,5],具有较高的生物生产力。众所周知,1997年是El Niño 高峰年,其造成的影响不仅是气候异常,而且也能引起海洋异常现象,如上升流减弱甚至消失、水中营养盐含量减少、生物生产力下降等。本次调查的水文数据表明,调查海区的上升流比以往年份有较大的削弱。与上述丹麦Limfjorden 浅滩富营养海区^[7]和法国地中海沿岸寡营养海区^[8]的异养性鞭毛虫丰度比较,本海区的鞭毛虫丰度和生物量接近于后者。由于缺乏本海区的异养性鞭毛虫的历史资料,难以进行纵向比较,但与其它海区比较,还是能看出本海区在调查期间鞭毛虫的生物量较低,趋近于寡营养海区的生产力水平。这种现象推测可能与本调查年份正值El Niño 高峰年有关,使得原本较为富庶的上升流区变成相对贫瘠的区域,生源要素的生物地球化学循环作用受到削弱,导致生物生产力下降。本推测仍需做进一步调查研究。

原生物在生态系统中扮演着分解者(decomposer)的角色,在营养物质的循环中起着营养下沉(trophic sink)的作用,即,将有机物质分解、矿化为无机物质的过程。Caron DA (1991)^[11]在分析原生物在海洋生态系统物质循环中的作用时推论,原生物联系着大量的微小浮游生物如细菌与经典食物网,在物质循环中起着营养链接或连接的作用(trophic link)。由于原生物个体小,生命周期短,能量的转换效率高,微型食物环中各营养阶层的能量转换

率通常在 35% ~ 40% 之间, 某些水域高达 50%, 比经典食物链 10% 的生态转换率高了许多。因此, 无论在海洋生态系统能学研究或是在生源物质的生物地球化学循环中, 对这类在海洋生态系统起近一半作用的微型食物网及其成员置之不理, 难以想像能做好渔业资源合理开发工作。有关台湾海峡南部海区微型食物环的营养链接问题将另辟专文讨论。

参考文献:

- [1] Reid PC, Turley CM, Burkill PH. Protozoa and Their Role in Marine Process[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1991.
- [2] 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微生物检测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [3] 福建海洋研究所. 台湾海峡中北部综合调查研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1988.
- [4] 洪华生, 丘书院, 阮五崎, 等. 闽南-台湾浅滩渔场上升流生态系研究[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [5] 洪华生. 台湾海峡初级生产力及其调控机制研究. 中国海洋文集(7)[M]. 北京: 海洋出版社, 1997.
- [6] Sherr BF, Sherr EB, Fallon RD. Use of Monodispersed, Fluorescently Labeled Bacteria to Estimate in situ Protozoan Bacterivory[J]. Appl Environ Microbiol, 1987, 53: 958- 965.
- [7] Andersen P, Sorensen HM. Population Dynamics and Trophic Coupling in Pelagic Microorganisms in Eutrophic Coastal Waters[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1986, 33: 99- 109.
- [8] Hagstrom A, Azam F, Andersson A, et al. Microbial Loop in an Oligotrophic Pelagic Marine Ecosystem: Possible Roles of Cyanobacteria and Nanoflagellates in the Organic Fluxes[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1988, 49: 171- 178.
- [9] Pick FR, Caron DA. Picoplankton and Nanoplankton Biomass in Lake Ontario: Relative Contribution of Phototrophic and Heterotrophic Communities[J]. Can. J. Fish Aquat Sci, 1987, 44: 2164- 2172.
- [10] Bennett SJ, Porter KG. Heterotrophic, Autotrophic, and Mixotrophic Nanoflagellates: Seasonal Abundances and Bacterivory in a Eutrophic Lake[J]. Limnol Oceanogr, 1990, 35(8): 1821- 1832.
- [11] Caron D A. Evolving Role of Protozoa in Aquatic Nutrient Cycling[M]. In: Reid PC, Turley CM, Burkill PH. Berlin: Springer-Verlag, Protozoa and Their Role in Marine Process 1991. 387- 415.

Studies on Heterotrophic Nanoflagellates in Taiwan Strait I: Distribution of Abundance and Biomass of HNF in Southern Waters, Summer of 1997

L N Yuan-shao, LUO Wen-xin, CAO Wen-qing, LI Shao-jing
(Dept. of Ocean, Xiamen Univ., Xiamen 361005, China)

Abstract: Abundance and biomass of heterotrophic nanoflagellates (HNF) in southern Taiwan Strait (117°5' ~ 119°9' E, 22°4' ~ 24°3' N) were firstly investigated in August, 1997 and reported. Based on analysis of 103 samples collected from the waters, the abundance of HNF were in the range $391 \times 10^3 \sim 1846 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, average $949 \times 10^3 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, with 96.2% of cell size composed of 2~22 μm in all HNF met in the samples. These abundance correlated to carbon contents was $3.64 \sim 16.96 \mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$, average $8.45 \mu\text{g} \cdot \text{C} \cdot \text{L}^{-1}$. The highest biomass of HNF was found in southern waters where cell amount was higher of 3~5 folds than other waters and near 1 fold than average biomass in whole investigated areas. The HNF occurred mainly between 0~30 m water layers in vertical distribution. In-situ continuous observation in two anchored stations of HNF indicated 24-hour rhythm in diurnal amount variation but the difference of peak time, with a delay of about 6 hours between the two stations.

Key words: heterotrophic nanoflagellates; abundance distribution; Taiwan Strait