

亚热带和热带环境下夜光藻的摄食压力

郑丽平, 荆红梅

(中国科学院深海科学与工程研究所, 海南 三亚 572000)

摘要:2015年以广西三娘湾海域为亚热带海区, 三亚海域为热带海区, 利用稀释法开展了现场培养实验, 测定热带和亚热带海区夜光藻对浮游植物、微型浮游动物对浮游植物的摄食压力, 研究了夜光藻对不同粒径的浮游生物的摄食作用。结果表明: 两个海区都有比较高的生长率和摄食率, 其中细菌有最高的生长率和摄食死亡率; 夜光藻的摄食率, 从总浮游植物、微微型浮游植物到聚球藻、细菌逐渐增高。亚热带海区与热带海区相比, 微型浮游动物的摄食压力更小, 表明低温影响了浮游动物的摄食活性; 而营养盐是引起亚热带海区高生长率的主要因素。

关键词:海洋生物学; 夜光藻; 微型浮游动物; 摄食压力; 热带; 亚热带

DOI:10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2018. 01. 018

中图分类号:P735

文献标识码:A

文章编号:2095-4972(2018)01-0146-05

夜光藻是全球性的赤潮原因物种^[1], 仅南海1980~2003年报道的大规模夜光藻赤潮就有43次^[2]。近岸水体的富营养化为夜光藻提供了丰富的食物, 造成赤潮频发^[3-4]。夜光藻是中型浮游动物的重要组分, 赤潮爆发时其生物量能占到中型浮游动物的90%以上^[5-6], 因而在海洋生态系统中有重要的作用^[7]。我国夜光藻的研究起步较早, 从南到北中国近海所有水域几乎都有所涉及, 尤其是长江口、浙江近海。但目前夜光藻研究主要集中在夜光藻种群动态、赤潮形成^[8-9], 而有关夜光藻摄食行为及其对同一海域其他生物的调控研究相对较少, 对地中海实验室模拟培养及现场培养实验结果发现, 自然水体能为夜光藻提供丰富的营养物质^[10]。

夜光藻具有异养型生物的特性, 能够摄食水体浮游植物进行生长繁殖^[11]。此外, 还有一大类群——微型浮游动物是浮游植物的主要摄食者, 微型浮游动物又可被中大型浮游动物摄食, 可在“食物链”和“微食物环”进行营养连接^[12]。在夜光藻丰富海区, 夜光藻、微型浮游动物、浮游植物如何进行相互作用, 目前为止的研究比较少。

本研究以广西三娘湾海域为亚热带海区, 三亚海域为热带海区, 采用稀释法等现场培养手段观察了夜光藻、微型浮游动物、浮游植物的摄食情况, 探讨夜光藻在热带和亚热带海区对浮游植物等的摄食

压力, 旨在揭示夜光藻在不同海区对不同类型浮游生物的影响, 为今后进行夜光藻赤潮研究提供科学基础。

1 材料与方法

1.1 亚热带海区培养实验

2015年12月, 于广西三娘湾海域夜光藻爆发时期, 进行微型浮游动物对浮游植物的摄食实验及夜光藻-浮游植物摄食实验。

夜光藻-浮游植物摄食实验:在培养实验前1 d, 挑选200只夜光藻放置在不含饵料的过滤灭菌海水中饥饿1 d; 培养实验当天, 取1 dm³经200 μm筛绢过滤的海水加入100只夜光藻做为处理组, 另取1 dm³经200 μm筛绢过滤的海水不加夜光藻做为对照组。培养1 d后, 取培养前后海水300~500 cm³过滤至GF/F滤膜测定叶绿素a含量; 1.5 cm³海水用PFA固定并保存于-80℃, 利用流式细胞仪测定pico浮游植物生物量, 通过计算得到摄食率和浮游植物生长率。

微型浮游动物对浮游植物的摄食实验:采表层水, 经200 μm筛绢预过滤盛于采样桶中, 作为原位海水。将原位海水用0.2 μm capsule (Pall Corporation) 过滤, 可得到过滤海水。设置5个梯度, 各2个平行样, 即按照原位海水占培养体积的15%、25%、

50%、75%、100%的比例,将原位海水和过滤海水分别引流至1.2 dm³的PE培养瓶中,将培养瓶放入培养箱中进行流水培养^[12].培养1d后,取培养前后的海水0.5~1.2 dm³利用Whatman GF/F滤膜(Φ=25 mm)进行过滤,对滤膜进行测定,获得叶绿素*a*含量.培养后的滤液保存在-20℃冰箱至实验室进行营养盐浓度分析.

1.2 热带海区培养实验

2015年1月,于香港海域夜光藻爆发时期,拖网获得300只夜光藻带至三亚海域,利用三亚海域(18°12'44"N,109°28'28"E)海水进行培养实验.夜光藻先利用三亚海域海水进行适应性生长,之后挑选健康的200只夜光藻放置在不含饵料的过滤灭菌海水中饥饿1 d.取现场200 μm筛绢过滤的海水,同时进行微型浮游动物对浮游植物的摄食实验及夜光藻-浮游植物摄食实验.微型浮游动物对浮游植物的摄食实验及夜光藻-浮游植物摄食实验同上.

1.3 摄食率和浮游植物生长率测定

1.3.1 叶绿素*a*含量测定 滤膜用5 cm³ 90%丙酮于-20℃避光萃取24 h,用Turner荧光分光光度计(Trilogy)测定其含量.

1.3.2 Pico 浮游植物丰度 利用流式细胞仪(Becton-Dickinson FACSCalibur)测定海水细菌、聚球藻、微微型真核浮游植物的丰度^[13].

1.3.3 微型浮游动物摄食率及浮游植物生长率 根

据指数生长方程:

$$P_t = P_0 \cdot e^{t(k-g)} \tag{1}$$

式(1)中: P_0 与 P_t 分别为培养前后叶绿素*a*含量(μg/dm³)、细菌、聚球藻、微微型真核浮游植物丰度的值(cells/cm³), k 为浮游植物瞬时生长率(d⁻¹), g 为摄食率(d⁻¹), μ 为表观生长率(d⁻¹).将 μ 与原位海水占总海水的比值进行线性回归,可得到微型浮游动物摄食率*g*和生长率*k*^[14].

1.3.4 夜光藻摄食率 夜光藻摄食率*I*为:

$$I = F \cdot C \tag{2}$$

$$F = \ln(C_t'/C_t) \times V/(t \cdot n) \tag{3}$$

$$C = (C_t - C_0)/\ln(C_t/C_0) \tag{4}$$

式(2~4)中: I 为夜光藻摄食率[cells/(Noc·d)], F 为夜光藻清除率[cm³/(Noc·d)], C_t' 和 C_t 是培养后处理组 and 对照组中浮游植物的丰度(cells/cm³), V 为培养体积(cm³), t 是培养天数(d), n 是夜光藻数量(ind.), C_t 和 C_0 分别为培养前后浮游植物的丰度(cells/cm³)^[15].

2 结果与讨论

2.1 环境参数

表1为广西三娘湾、三亚海域表层水环境参数.广西是亚热带海域,三亚为热带海域,因此三亚表现出高温特征,而广西三娘湾为低温;从营养盐浓度上看,广西三娘湾采样时间是在夜光藻爆发时期,因此硅酸盐、硝酸盐和亚硝酸盐浓度均较高.

表 1 研究区表层水环境参数

Tab.1 Environmental parameters of the surface sea water in study area

站位	日期	温度/℃	盐度	NO ₃ ⁻ -N 浓度/μmol·dm ⁻³	NO ₂ ⁻ -N 浓度/μmol·dm ⁻³	SiO ₃ ²⁻ -Si 浓度/μmol·dm ⁻³
广西三娘湾	2015-12-24	16.3	32.8	0.34	0.130	3.57
三亚海域	2015-01-08	29.6	30.0	0.20	0.037	2.24

2.2 摄食率

2.2.1 亚热带海区 表2列出了广西三娘湾海域培养实验的结果.总体上看,有较高的浮游植物生长率(k),介于1.80~3.38 d⁻¹.微型浮游动物摄食率(g)为0.68~2.09 d⁻¹.微型浮游动物对浮游植物

的摄食压力(g/k)的变化范围为0.23~0.62.从不同类群上看,细菌有最高的生长率和摄食死亡率,总浮游植物有最低的生长率和摄食死亡率.夜光藻的摄食率,从细菌、聚球藻、微微型浮游植物、总浮游植物逐渐递减.

表 2 广西三娘湾海域培养实验结果

Tab.2 Incubation experiment results in Sanniang Bay, Guangxi

项目	生长率/d ⁻¹	浮游植物摄食死亡率/d ⁻¹	摄食压力	夜光藻摄食率/cells·Noc ⁻¹ ·d ⁻¹
细菌	3.38	2.09	0.62	6 652 445.31
聚球藻	2.85	1.27	0.45	235 067.32
微微型真核浮游植物	3.37	0.78	0.23	61 254.73
总浮游植物	1.80	0.68	0.38	1 152.30

2.2.2 热带海区 表3为三亚海域培养实验结果,细菌有最高的生长率和摄食死亡率,微型浮游动物对浮

游植物摄食压力的变化范围比较大,从0.36~14.9,从数值上可以看出,由于总浮游植物有比较低的增长率,

因此摄食压力值偏高. 夜光藻的摄食率,从细菌、聚球藻、微微型浮游植物、总浮游植物逐渐递减.

表 3 三亚海域培养实验结果
Tab.3 Incubation experiment results in Sanya waters

项目	生长率/d ⁻¹	浮游植物摄食死亡率/d ⁻¹	摄食压力	夜光藻摄食率/cells·Noc ⁻¹ ·d ⁻¹
细菌	2.30	2.72	1.18	2 463 733.92
聚球藻	1.94	2.87	1.48	315 230.25
微微型真核浮游植物	0.50	0.18	0.36	30 564.01
总浮游植物	0.10	1.49	14.90	1 275.01

2.3 讨论

夜光藻属于广温低盐性种类,夜光藻最适盐度范围是 28 ~ 32 之间,其生长适温范围通常认为是 15 ~ 24℃,其生长温度不超过 28℃^[16],因此对夜光藻的研究通常集中在温带、亚热带地区. 对中国不同海区夜光藻赤潮暴发对温盐适应性研究表明,南海与东海、黄海等海区相比,夜光藻适温属性较高^[8,11];从本研究来看,香港水域的夜光藻经过适应性培养后,可在三亚进行现场培养实验,推测夜光藻可适应不同温度.

广西三娘湾每年冬春都有夜光藻丰度高峰期,由夜光藻聚集致使局部水域变色,而采样期间为夜光藻聚集后期,营养盐浓度比三亚海域有明显高值. 一般认为,夜光藻大量繁殖的基础是丰富饵料,丰富饵料的产生与水体富营养化密不可分,夜光藻会捕食水体中的浮游植物,促进营养盐累积,因此有研究表明夜光藻赤潮时营养盐会有所升高^[17].

图 1 为三亚和广西海区实验结果的比较,对比不同海区微型浮游动物摄食率、浮游植物生长率、夜光藻摄食率(图1a、b、d)与环境因子之间的相关关

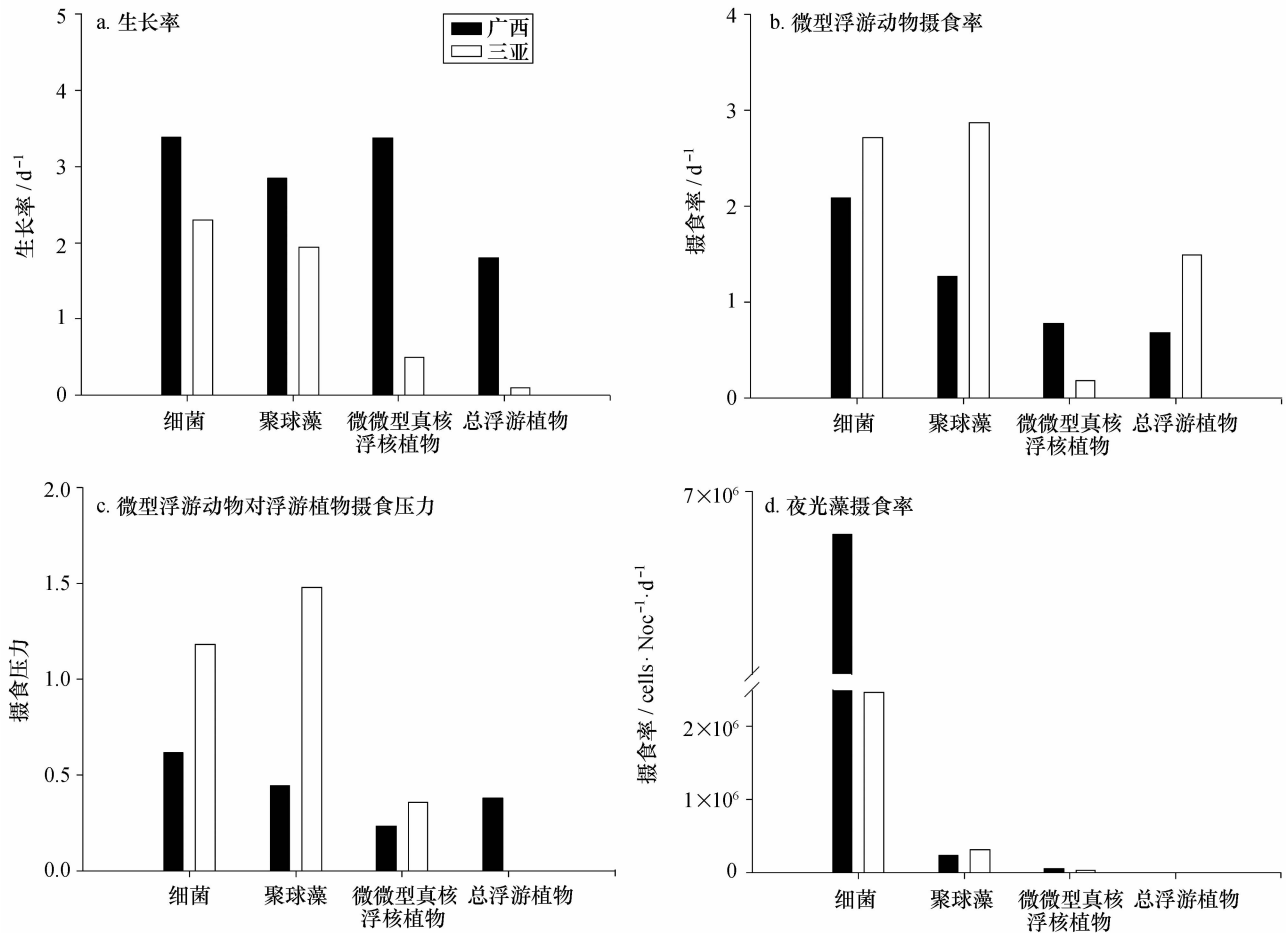


图 1 三亚和广西海区培养实验结果比较
Fig.1 Comparison of results of incubation experiments in Sanya and Guangxi

系,发现广西海区与三亚相比为低温相对高盐高营养盐特征,而浮游植物生长率和夜光藻摄食率在广西海区明显高于三亚海区。研究表明,营养盐浓度尤其是硝酸盐浓度,是影响浮游植物生长变化的重要因子^[12],可能是广西和三亚海区营养盐浓度差异导致生长率有明显差异。而微型浮游动物对浮游植物的摄食率在2个海区并无明显差异,广西海区的摄食率并没有随广西海区的营养盐及高浮游植物生长率的高值而出现高值。有研究认为,低温会影响浮游动物体内各种酶的活性,进而影响其摄食作用^[18],推测可能是低温影响了摄食者的摄食作用,使得微型浮游动物对浮游植物的摄食压力的高值反而出现在三亚海域(图1c)。一般认为微型浮游动物对饵料有摄食选择性,比如纤毛虫避食硅藻,而异养甲藻会优先摄食甲藻,也有其他研究表明微型浮游动物对粒级小的浮游植物有摄食选择性^[14,19-20]。在我们研

究期间,微型浮游动物和夜光藻对粒径小的细菌、聚球藻有较高的摄食率,推测在三亚和广西海域微型浮游动物和夜光藻表现出对粒级小的浮游生物的摄食偏好性。

3 结论

(1)对亚热带和热带环境下夜光藻的摄食压力进行研究,从现场培养实验结果来看,夜光藻在亚热带海区比热带海区有更高的摄食率。

(2)夜光藻对不同粒径的浮游生物呈现出较明显的摄食偏好,对小粒径的浮游生物有更高的摄食作用。

(3)三亚和广西海域中,浮游植物的生长率及微型浮游动物对其摄食率都有比较高的数值,但热带海区的摄食压力比亚热带海区更高。

参考文献:

- [1] Elbrachter M, Qi Y. Aspects of *Noctiluca* (dinophyceae) population dynamics[M]// Anderson D M, Cembella A, Hallegraeff G M. Physiological ecology of harmful algal blooms (NATO ASI Series). Berlin: Springer-Verlag, 1998: 315-335.
- [2] Wang S F, Tang D L, He F L, et al. Occurrences of harmful algal blooms (HABs) associated with ocean environment in the South China Sea [J]. *Hydrobiologia*, 2008, 596:79-93.
- [3] Porumb F. On the development of *Noctiluca scintillans* under eutrophication of Romanian Black Sea waters[M]// Vollenweider R A, Marchetti R, Viviani R. Marine coastal eutrophication. Amsterdam:Elsevier, 1992: 907-918.
- [4] Ajani P, Hallegraeff G M, Pritchard T. Historic overview of algal blooms in marine and estuarine waters of New South Wales, Australia [J]. *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales*, 2001, 123:1-22.
- [5] Murray S, Suthers M. Population ecology of *Noctiluca scintillans* (Macartney), a red-tide-forming dinoflagellate [J]. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 1999, 50:243-252.
- [6] Miyaguchi H, Fujiki T, Kikuchi T, et al. Abundance and size variability of *Noctiluca scintillans*, Manazuru port, Sagami Bay, Japan[C]//Japan Society for the Promotion of Science. Proceedings of the 11th JSPS joint seminar on marine science. Tokyo: Japan Society for the Promotion of Science, 2000:180-189.
- [7] Vasas V, Lancelot C, Rousseau V, et al. Eutrophication and overfishing in temperate nearshore pelagic food webs: a network perspective [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 336:1-14.
- [8] 徐兆礼. 长江口夜光藻年间变化和海域富营养化趋势[J]. *海洋与湖沼*, 2009, 40(6):793-799.
- [9] 齐雨藻,黄伟建. 大鹏湾夜光藻种群动态的时间序列模型[J]. *暨南大学学报*, 1991, 12(3): 96-103.
- [10] Umani S F, Beran A, Parloto S, et al. *Noctiluca scintillans* (Macartney) in the Northern Adriatic Sea: long-term dynamics, relationships with temperature and eutrophication, and role in the food web [J]. *Journal of Plankton Research*, 2004, 26: 545-561.
- [11] 王雨,叶又茵,林茂,等. 南海北部夜光藻种群的时空分布及其环境适应性[J]. *生物多样性*, 2012, 20: 685-692.
- [12] Zheng L P, Chen B Z, Liu X, et al. Seasonal variations in the effect of microzooplankton grazing on phytoplankton in the East China Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 2015, 111: 304-315.
- [13] Olson R J, Zettler E R, Du R, et al. Phytoplankton analysis using flow cytometry[M]// Kemp P F, Sherr B F, Sherr E B, et al. Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Boca Raton:Lewis Publishers,1993: 175-186.
- [14] 相卫国. 南海典型海区夏季中尺度物理过程对微型浮游动物类群组成及摄食的影响[D]. 厦门:厦门大学,2009.
- [15] Zhang S W, Liu H B, Chen B Z, et al. Effects of diet nutritional quality on the growth and grazing of *Noctiluca scintillans* [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2015, 527: 73-85.
- [16] Uhlig G, Sahling G. Long-term studies on *Noctiluca scintillans* in the German Bight population dynamics and red tide phenomena 1986 ~ 1988 [J]. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1990, 25: 101-112.

[17] Devassy V P. Red tide discolouration and its impact on fisheries[C]//Okaichi T, Anderson D M ,Nemoto T. Red tides:biology, environmental science and toxicology. Takamatsu: Elsevier Science Publishing CO. Inc, 1989: 57-60.

[18] Sunju K, Myung G P, Changho M, et al. Seasonal variations in phytoplankton growth and microzooplankton grazing in a temperate coastal embayment, Korea [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 71: 159-169.

[19] Safi K A, Brian G F, Hall H A. Microzooplankton composition, biomass and grazing rates along the WOCE SR3 line between Tasmania and Antarctica [J]. Deep-Sea Research Part II, 2007, 54:1 025-1 041.

[20] 张利永. 东海大规模赤潮对微型浮游动物群落结构影响的研究[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2007.

Grazing pressure of Noctiluca in subtropical and tropical seas

ZHENG Li-ping, JING Hong-mei

(Institute of Deep-sea Science and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Sanya 572000, China)

Abstract: The growth and mortality rates of phytoplankton due to microzooplankton grazing and Noctiluca grazing were estimated at Guangxi (subtropical area) and Sanya (tropical area) in 2015. Results showed that the phytoplankton growth rates and mortality rates were high in both seas. The highest growth rates and mortality rates occurred along with bacteria. The ingestion rate of Noctiluca decreased gradually from bacteria, *Synechococcus*, picoeukaryotes and total phytoplankton. The grazing pressure of the microzooplankton on phytoplankton in the subtropical area is smaller than in the tropical area, indicating that the low temperature affects the feeding activity of the zooplankton. The nutrients are the major factor that causes the high growth rate.

Key words: marine biology; Noctiluca; microzooplankton; grazing pressure; tropical; subtropical

DOI:10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2018. 01. 018

(责任编辑:王 静)