# 海洋浮游动物对浮游植物水华的摄食与调控作用*

# THE GRAZING IMPACT AND REGULATION EFFECTS OF ZOOPLANKTON ON PHYTOPLANKTON BLOOM

韩希福　　王　荣

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

水华是海洋浮游植物种群一次快速、显著的增加。多数的水华是有益的,水华期是1 a中海洋生物生产性能最高的时期,也是一个新生产周期的开端。水华的发生受制于温度、海流、营养盐和生物海洋学诸因素调控作用。水华的发生时间,在不同的年份是不同的。如果水华发生过早,此时浮游动物的高峰尚没有到来,就会使浮游植物过剩,造成大量的浮游藻类沉降,这样在浮游动物种群增殖高峰到来时,它们就会因为缺乏食物使生产力低下,浮游食性鱼类如鳀鱼的仔、稚鱼就会饿死,造成渔业产量下降,即Cushring所谓的"不匹配现象"。如果水华的发生同浮游动物的增殖高峰重合,就会使多数的浮游植物转化为浮游动物产量,鳀鱼等仔、稚鱼有丰富的饵料,便带来一次丰收,也就是所说的匹配现象(见图1)。

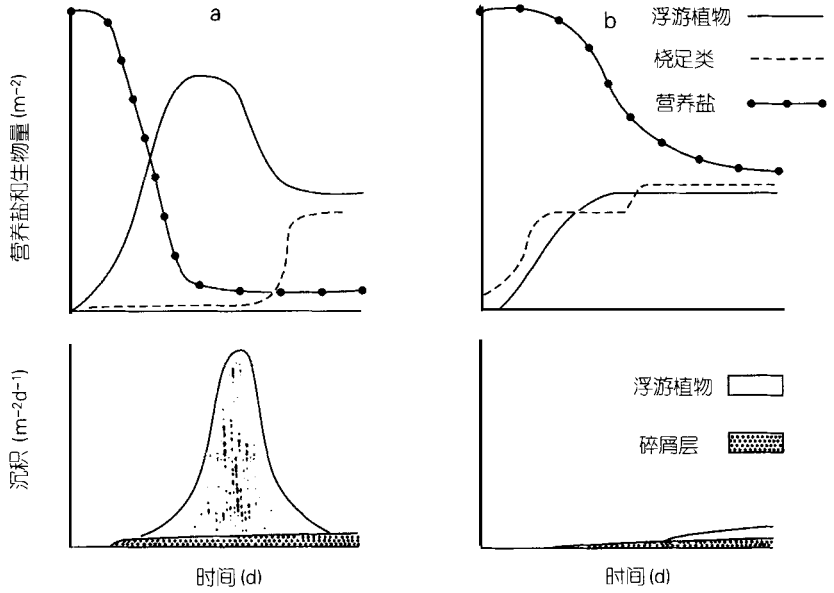


图1　在混合层中,浮游动物摄食不足和摄食过量对浮游植物水华和营养素的影响

(a)桡足类摄食开始较晚使营养盐被浮游植物吸收殆尽从而使浮游植物的生物量积累生成沉降层。

(b)桡足类摄食及时,预防了浮游植物的累积。营养盐耗尽形成自养沉积层。损失率微小和以碎屑为主。

国际著名的JGOFS(Joint Global Ocean Flux Study)计划就是从研究大西洋春季水华的海洋过程开始的。国际全球海洋生态系统动力学(GLOBEC)计划强调浮游动物对浮游植物的摄食和能量转换的枢纽作用研究。目前,美国在佛罗里达湾(Florida Bay)、墨西哥湾(Gulf of Mexico)、缅因湾(Gulf of Maine)、乔治亚海岸(Bank of Georgia)和阿拉斯加附近的北太平洋水域都在追踪水华发展过程中的浮游动物摄食作用。另外加拿大对哈里发克斯湾(Halifax Estuary)、英国对西爱尔兰海(Western Irish Sea)、日本对依势湾(Ise Bay)、

* 国家自然科学基金"九五"重大项目49790010号"渤海生态系统动力学和生物资源持续利用研究"和国家973计划课题G1999043707号。

欧共体对波罗的海(Baltic Sea)的合作研究、挪威对北极峡湾、澳大利亚对南大洋的地区 GLOBEC 研究中,都突出研究了浮游动物对水华摄食特性研究。国际 GLOBEC 研究计划中明确提出,浮游动物的动态变化控制着初级生产力的节律和归宿,并同时控制着鱼类资源的变动。海洋生态系统中浮游植物的生产和现存量控制,浮游动物对浮游植物的摄食关系、群落结构、营养盐循环、有机物的最终归宿是近年来关注的热点。其中在海洋生态系统动力学中,浮游动物对浮游植物的摄食过程及摄食联系即上行控制又是热点中的焦点。一般认为,浮游动物中的桡足类在陆架边沿海的水华盛发期间,是碳转移的主力军。在硅藻为优势种的春季水华盛发期间,桡足类给仔、稚鱼提供重要的饵料来源。Frost 证明,北太平洋春季尽管温度回升和营养盐条件改善使浮游植物的生产力大大提高,但由于浮游动物的群体摄食作用,却阻止了浮游植物的过度生长而形成水华。关于浮游动物和浮游植物不同季节的时空耦合特点,桡足类种群和硅藻水华的发育关系都有较多的历史资料积累。大型浮游桡足类群落对水华的压制作用十分明显,有时在某些海域如大西洋的西爱尔兰海中的哲水蚤属(*Calanus*)和长腹哲水蚤属(*Metridia*)的摄食能力甚至超过了水华期的日生产量 100%。Bautista 等估计的浮游动物(主要是 *Pseudocalanus*, *Acartia*, *Temora*)能摄食英吉利海峡水华期初级生产量的 16%,小型种类(*Oithona*)和 > 710 μm 大型种类还能摄食 2%,总计 18%。Conover 等却估计中型浮游动物能摄食 Bedford Basin 水华期初级生产量的 10%~30%。但也有报道浮游动物群落在夏初时节能摄食近岸水华期日生产量的 76%,甚至超过 150%。Landry 等发现,华盛顿沿岸水浮游动物摄食浮游植物现存量的 6%~24%。Gifford 发现 Halifax 港浮游动物 4~6 月份摄食水华期浮游植物现存量的 21%~38%和初级生产量的 47%~55%,3 月份更是高达 100%。在 Hiroshima 湾 4~5 月浮游动物对浮游植物的摄食压力高于 29%~45%。

Strom 等对北太平洋的 Puget Sound 的研究中,发现微型浮游动物对浮游植物水华的摄食率高达总叶绿素的 65%,生长量的三分之二。洪华生、黄邦钦对台湾海峡上升流系统的高渔业产量原因进行了多学科的系统探讨,发现微食物环对生态系统的贡献率高达 30%。Ban 等[12]在 Funka Bay 对 *Pseudocalanus newmani* 对硅藻的摄食研究发现,阻止水华期浮游植物沉降的关键因素是浮游动物的摄食。Soutour[13]在 Gironde 河口测定发现,26%初级生产量被浮游动物所摄食。Dagg 提出浮游动物在亚热带的总捕食压力超过 95%,浮游动物对春季水华期初级生产量的摄食能力为 99%±23%。Nelsen 等提出北纬区海洋的浮游动物种群增长率远远落后于水华的暴发,有时甚至落后长达两个月,因此难于起到控制作用。在匹配的海区多数具有较高的渔业产量,而在不匹配的水域则相反。因此,浮游动物的摄食对于能量的传输作用是至关重要的。关于浮游动物和浮游植物相互作用的科学假设:(1) 浮游植物水华带来了基础生产率的大幅度提高,超出了浮游动物对基础生物量的摄食能力,导致了巨大的生物现存量的出现。(2) 某些浮游植物种类难以被浮游动物摄食,而有些被摄食后,浮游动物很难同化利用,使大量的初级生产力难以及时转移。(3) 全球气候变暖条件下,温度升高会提高浮游动物对浮游植物的摄食水平,因此浮游动物的摄食会减小浮游植物的水华规模。

现代工业产生的 $CO_2$ 产量正在改变全球的气候,北半球的温度已经有了提高。海水温度的提高必然会导致温带海区的水华发生规模增大。浮游植物的现存量水平常由两个平衡调节因子,即上行控制和下行控制,前者指浮游动物对浮游植物的摄食调节,后者指营养盐供给限制。这两个因子终年调控浮游植物的现存量。温带的植食性浮游动物对浮游植物摄食是最重要的调节因素。由于水温的提高会显著提高浮游动物的摄食水平,同时也增加了浮游植物的生长速率,因此它们之间会产生一种新的格局。对我国海洋渔业生产和海洋环境有何影响?温带的水华常受温度限制,被浮游动物摄食而其规模减小。通常认为浮游动物是水华的主要摄食者,但在上下混合完全的沿岸带,底栖动物也起一定的作用。在饵料条件不佳时,桡足类常能减低自身代谢水平,处于休眠或滞育状态。因种类和环境的不同对食物缺乏的应对策略也有不同。当低温和食物缺乏同时到来时,桡足类便进入休眠阶段。幼体阶段更可能采取休眠策略。近岸种在不适环境中会产滞育卵。中华哲水蚤在 8 月份长江口岸带可能有夏眠现象,但其他饵料缺乏时采取何种应对策略,目前尚不十分明确。

黄宗国统计,我国海区中桡足类有 523 种,其中浮游生活的种类有 419 种。黄、东海有桡足类 243 种,端足类 56 种,磷虾 24 种,浮游贝类 61 种,毛颚类 23 种。浮游动物中,最重要的种类是中华哲水蚤、太平洋磷虾、中华假磷虾、普通波水蚤和小拟哲水蚤。浮游植

物主要种类有中肋骨条藻、具槽直链藻、圆筛藻、菱形藻、角刺藻、菱形海线藻,根管藻等。近几年发现微型和超微型浮游植物在初级生产中占重要比例。黄海水华出现在 3 ~ 5 月;8,9 月有一个不太明显的次高峰。东海 7 月份有一个高峰,一直持续到 9 月份。东海进入春季后每月都有 1 ~ 2 个水华出现[1]。焦念志等对胶州湾水华的相关物理海洋学、生物海洋学因素进行了较深入的分析研究。关于浮游动物的摄食研究,我国主要有李少菁、王荣、沈国英、郑小衍、高亚辉、白雪娥、费尊乐、康元德、孟凡等都作了很多优秀的工作,但与欧、美、日本等国相比,仍有差距。到目前为止,由于人力和财力的限制,我国尚未现场追踪过一个完整的水华发育周期,也未能较系统地研究浮游动物对水华发生发展过程的调控作用。

由于全球气候变暖和近年来海洋厄尔尼诺、拉尼娜等不正常海况的出现,加之工农业污染物向海洋排放增加,海洋的藻类"水华"(包括赤潮)现象已经引起政府、科学家和民众的广泛关注。90 年代以来,中国近海赤潮发生的频率加大,10 a 间累计发现 200 多起,平均每年达 20 起,直接经济损失 $20 \times 10^8$ 元。浮游动物通过对藻类的大量摄食把大多数浮游植物水华化解在萌芽状态。浮游动物是主要经济鱼类的良好饵料,由于浮游植物水华的产生,间接提高了鱼类的产量。但是,如果浮游动物的数量高峰与浮游植物高峰出现时滞,或由于浮游动物摄食具有选择性,挑选适口无毒的硅藻等良性藻类为食物,就会使有毒的甲藻等乘机暴发形成赤潮。目前,IOC,ICES,SCORE 都制订了对水华早期预警的科学研究计划。除了物理海洋学、化学海洋学的预测外,生物海洋学预测最为引人注目,属先锋研究计划(Pilot Project)。浮游动物是海洋生态系统物质循环和能量流动的关键转换器,通过对它们在海区的分布数量和生理状况研究,结合浮游植物的种群发展趋势,参考物理海洋学和化学海洋学动态,能够有效地监测预报水华发生,这是生物海洋学的一个重要研究方向。

**参考文献**


1 唐启升,苏纪兰。中国海洋生态系统动力学研究。北京:科学出版社,2000。

2 Ban S., H. W. Lee, A. S. Shinada *et al*. *J. Plankton Res.*, 2000, 22:907 ~ 922

3 Sautour B., L. F. Artigas, D. Delmas *et al*. *J. Plankton Res.*, 2000, 22:531 ~ 552


(本文编辑:刘珊珊)