

浮游植物增殖能力的研究探讨*

THE STUDIES OF PHYTOPLANKTON REPRODUCTION CAPACITY

杨东方^{1,2,3} 高振会² 孙培艳² 李钦亮² 陈立婧¹

(¹ 上海水产大学渔业学院 上海 200090)

(² 国家海洋局北海监测中心 青岛 266033)

(³ 中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

中图分类号 Q178.53 文献标识码 A 文章编号 1000-3096(2003)05-0019-03

作者从浮游植物生态的意义出发,提出了新概念:浮游植物的增殖能力。增殖能力包含碳同化系数、光照时间和真光层的厚度,它充分反映了自然海区的浮游植物本身的增殖过程,并能够进行定量化的描述,也排除了叶绿素含量变化的影响。该概念可以克服初级生产力和初级生产过程的基础——叶绿素量的两个变量在海域中所观察到的不一致性。与传统观念相比,在时空尺度上更清楚更有力地解释在生产过程的生态因子的属性。例如,增殖能力在胶州湾所有的站位要比初级生产力与温度有更好的相关性。这样展示了两个变量在海域中不能观察到的定量化的浮游植物的增殖生产过程。而且增殖能力解释出现春、秋季双峰型增殖和夏季单峰型增殖的现象及其增殖的机制。

1 生态现象和生物因子

浮游植物在海洋生产的意义方面很重要,假使没有这类的光化学的生产,那也不会有鱼虾类的生产。一方面,对于海洋,不同海域和不同的季节内,就有不同种类的浮游植物在增殖。增殖是旺盛而急激的还是缓慢而衰落的,这在生态研究方面是非常重要的。因此,自然海域的浮游植物的生长效率如何,如何量化地描述自然海域的浮游植物的生长过程,如何能量化表达自然海域的增殖强弱过程。另一方面,有些海域是春、秋季双峰型增殖,如在黑海^[1,2],在基尔湾(Kiel),日本的青森湾^[3]。有些海域是夏季单峰型增殖,如在黑海^[4,5],在格陵兰的卡拉约克福特(Karaiakfjord)、在北美华盛顿州的弗拉爱代港(Friday

Harbour)、北海道的花咲^[1]。

将浮游植物生长过程量化,如何能准确地量化地反映自然海域的增长过程?又如何能了解海域会出现春、秋季双峰型增殖,还是夏季单峰型增殖,而且出现单(双)峰型的增殖的机制是什么?这些问题至今还没有清楚地量化地解决,这是由于当前的生物因子参数还不能解决。目前,用浮游植物的叶绿素 a、初级生产力、碳同化系数和光合速率 P_g 来描述浮游植物增长过程。一方面,初级生产力和叶绿素 a 受到浮游植物生物量变化的影响,而其生物量变化是受到浮游动物生物量变化的影响。因此,初级生产力和叶绿素 a 还不能够充分准确地反映自然海域的浮游植物增长过程。另一方面,初级生产力和叶绿素 a 也不能一致地反映浮游植物增长过程。例如,海区 1,叶绿素 a 量大,海区 2,叶绿素 a 量小,这两个海区却具有同样的初级生产力的值。这样,初级生产力并不能准确反映海域的浮游植物增长能力,因为在海区 1 的浮游植物增长显然比在海区 2 的浮游植物增长差。碳同化数也不包含光照时间和真光层的厚度,光合速率 P_g 。

* 国家海洋局北海监测中心主任科研基金,国家自然科学基金资助项目 40036010 号和国家重点基础研究专项经费资助(G19990437)

第一作者:杨东方,出生于 1962 年,教授,研究方向:海洋生物学、生态学。E-mail: dfyang@shfu.edu.cn

收稿日期:2002-01-25;修回日期:2002-06-10

也不包含真光层的厚度,由于自然海域的浮游植物增长受到当时的光照时间和真光层的厚度的影响,故碳同化系数和光合速率也不能够充分地准确地反映自然海域的浮游植物增长过程。那么,对于上述这些问题的解决和探讨,仅依靠现有的生物因子浮游植物的叶绿素 a、初级生产力、碳同化系数和光合速率 P_b 是不够的。

为了解决这些问题,提出新的概念:浮游植物的增殖能力。它不同于初级生产力、碳同化数、单位叶绿素 a 的日碳同化速率 P_b , 并且能够对浮游植物的增长过程进行定量化的描述。

2 浮游植物的增殖能力

定义浮游植物的增殖能力为初级生产力与同一时间、地点的叶绿素 a 的含量之比,即增殖能力 (PRC) = 初级生产力 (PP) / 叶绿素 a 含量 ($C_{chl a}$)

增殖能力单位: $\text{mgC}(\text{mgChla d})^{-1}\text{m}$

又知 $PP = L C_{chl a} Q D$;

PP : $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$; 叶绿素 a 含量 $C_{chl a}$: mg m^{-3} ;
碳同化数 Q : $\text{mg C}(\text{mg Chla h})^{-1}$; 光照时间 L : h d^{-1} ;
真光层的厚度 D : m 。

于是有 $PRC = PP / C_{chl a} = L Q D$

可见增殖能力与碳同化数、光合速率和初级生产力是不同的概念。光合速率 P_b 是单位叶绿素 a 的日碳同化速率,初级生产力是每天的固碳量,而浮游植物的增殖能力是每平方米的海水柱体中,浮游植物的单位叶绿素 a 的日固碳能力。由于一年的光照时间是变量,不同海域的真光层厚度是变量,不同时间的叶绿素 a 含量也是变量。因此,增殖能力与碳同化数、光合速率和初级生产力具有不同的定义,而且,碳同化数、光合速率和初级生产力不能替代增殖能力。增殖能力反映了一年中的不同时间和不同海域浮游植物增长的情况。

3 增殖能力的应用

通过这个新概念,解决胶州湾的单(双)峰型的增殖机制。考虑生态因子光、营养盐和水温影响浮游植物的增殖过程。

在胶州湾内一年中的光照基本上是充足的,可保证浮游植物的光合作用正常进行^[7]。在春、秋、冬季营养盐硅是浮游植物初级生产力的限制因子^[6]。进一步确定了营养盐硅限制浮游植物的初级生产力的时间

是从 11 月中旬到翌年 5 月中旬,而营养盐硅满足的时间从 5 月底到 11 月初^[8]。而且认为从 5 月底到 11 月初,营养盐 N、P、Si 都满足浮游植物生长^[8]。这样,在胶州湾,从 5 月底到 11 月份初,对于浮游植物的生长,光照充足,营养盐氮、磷、硅丰富。那么再考虑水温对浮游植物的生长的影响。

根据 1991 年 5 月至 1994 年 2 月的观测数据^①,对胶州湾浮游植物的增殖能力的平面分布和季节变化以及水温变化对增殖能力的影响和动态模型进行分析研究,得到的结果是,在胶州湾,有些站位是每年连续的单峰型增殖,有些站位是每年连续的双峰型增殖,有些站位是每年单、双峰型增殖在交替(另文发表)。

分析认为出现单峰型的增殖起因是:从 5 月至 11 月,水温在藻类生长的最适温度区间变化。那么,浮游植物的增殖能力是随着温度升高而增长,温度降低而减少。这样,在胶州湾,当水温在夏季达到最高值时,就有单峰型增殖出现。

分析认为出现双峰型的增殖起因是:从 5 月至 11 月,水温超过藻类生长的最适温度以后,就会引起藻类迅速死亡^[9]。于是增殖能力几乎不增或缓慢下降。这样的情况一直持续到水温达到最高值。由于藻类生活在较高温度环境中一段时间后,藻类生长最适温度比那些适应于正常温度条件下的最适温度高一些^[9]。于是,随着温度下滑,增殖能力却缓慢地开始上升。到 11 月份,增殖能力达到第二个高峰值。11 月份以后,温度继续下滑时,由于温度已进入正常温度条件下的最适温度。于是,增殖能力是随着温度的降低而减少。这样,在胶州湾,在春、秋季就有双峰型增殖出现。

以上讨论夏季增殖能力对水温的依赖出现的情况。那么,对于冬季,当水温低于藻类生长的最适温度继续下降时,对藻类的生存影响就不显著^[9]。在胶州湾的冬季,虽然增殖能力与水温变化保持一致,但是低于藻类生长的最适温度的水温并不影响藻类的增殖能力。冬季的藻类的增殖能力的低值是由于营养盐硅限制浮游植物的生长^[6]。

由胶州湾的浮游植物增殖能力 - 水温的动态模

① 数据由胶州湾生态站提供



型分析认为,产生单峰型的浮游植物的集群结构主要由暖水性藻类和广温性藻类组成。产生双峰型的浮游植物的集群结构主要由寒期性藻类和广温性藻类组成。这表明在胶州湾,以暖水性藻类和广温性藻类为优势种的水域会出现单峰型,以寒期性藻类和广温性藻类为优势种的水域会出现双峰型。在同一年,甚至在同一时间内,在胶州湾不同的水域,由不同的寒期性、广温性和暖水性藻类组成不同的浮游植物的集群结构。这样,在一年中胶州湾就会同时出现单(双)峰型的增殖。

因此,通过增殖能力定量化的研究胶州湾出现的春、秋季双峰型增殖和夏季单峰型增殖的现象和增殖能力-水温的动态模型的分析,认为在全球的一般水域出现单(双)峰型的增殖的机制是:如果水域的夏季水温没有超过浮游植物集群结构的优势种生长的最适温度,此水域一般会出现浮游植物的单峰型。如果水域的夏季水温超过浮游植物集群结构的优势种生长的最适温度,此水域一般会出现浮游植物的双峰型。一个大水域有两个小水域组成,如果大水域的夏季水温没有超过部分小水域的浮游植物集群结构的优势种生长的最适温度,却超过另一部分小水域的浮游植物集群结构的优势种生长的最适温度,此大水域一般会同一年出现浮游植物的双峰型和单峰型,如胶州湾。

4 浮游植物增殖能力的重要性

引入浮游植物增殖能力的概念,排除了叶绿素 a 含量变化的影响,并考虑当时光照时间和真光层厚度。浮游植物增殖能力能够准确地量化地反映自然海域的浮游植物增长的过程。由于水温与增殖能力的相关性比初级生产力更好,这样浮游植物增殖能力更清楚地展示了水温对浮游植物生长的影响。通过水温-增殖能力动态模型的分析,认识了水温对浮游植物的增殖能力和结构的影响。探讨胶州湾的水温的特点和季节变化和胶州湾的浮游植物的增殖能力的平面分布的特点和季节变化,认为胶州湾的水温具有限制和提高浮游植物的增殖能力的双重作用,使其具有一致的周期性和起伏性。在胶州湾,光照充分和营养

盐 N、P、Si 满足浮游植物生长的条件下,随着水温的变化,展现了单、双峰型的定量化的增殖过程,确定了胶州湾同一年具有这两种特性,而且量化地阐述了在全球的一般海域的浮游植物有夏季单峰型的增殖和春、秋季双峰型的增殖的机制。这样,增殖能力与碳同化数、光合速率和初级生产力相比从另一个侧面更能准确地量化地反映自然海域浮游植物的增长过程。

参考文献

- 1 Sorokin Y I. The Black Sea. In: Ketchum B. H. (Ed.). Estuaries and Enclosed Sea. Ecosystem of the World. New York: Elsevier, 1983. 253-292
- 2 Vedernikov V I, Demidov A B. Primary production and chlorophyll in the deep regions of the Black Sea. Oceanology, 1993, 33: 193-199
- 3 小久保清治(日)著. 华汝成译. 浮游矽藻类. 上海:上海科学技术出版社, 1960. 18-51
- 4 Bologa A S. Planktonic primary productivity of the Black Sea. A review. Thalassia Yugoslavia, 1986, 21/22: 1-22
- 5 Sur H I, Ozsoy E, Ilyin Y P, et al. Coastal/deep ocean interactions in the Black Sea and their ecological/environmental impacts. Journal of Marine Systems, 1996, 7: 293-320
- 6 Yang D F, Zhang J, Lu J B, et al. Examination of silicate limitation of primary production in the Jiaozhou Bay, North China I. Silicate being a limiting factor of phytoplankton primary production. Chin J Oceanol Limnol, 2002, 20(3): 208-225
- 7 郭玉洁, 杨则禹. 胶州湾的生物环境-初级生产力. 见: 刘瑞玉主编. 胶州湾生态学和生物资源. 北京: 科学出版社, 1992. 110-125
- 8 Yang D F, Zhang J, Gao Z H, et al. Examination of silicate limitation of primary production in the Jiaozhou Bay, North China II. Critical value and time of silicate limitation and satisfaction of the phytoplankton growth. Chin J Oceanol Limnol, 2003, 21(1): 46-63
- 9 沈国英, 施并章 编著. 海洋生态学. 厦门大学出版社, 1990. 67-123

(本文编辑:张培新)