

滤食性贝类对浅海养殖系统中营养盐循环的影响*

EFFECT OF FILTER-FEEDING BIVALVES ON NUTRIENT CYCLE OF MARICULTURE SYSTEM: A VIEW

秦培兵 卢继武

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

在浅海贝类养殖系统中,营养盐的浓度和形态对贝类生长有重要影响,与此同时,贝类对系统中的营养盐循环也产生一定的影响:一方面,贝类滤食水体中的浮游植物和有机碎屑等,使其组成和密度发生变化;另一方面,贝类又可向水体中排泄无机营养盐,如铵等,还将粪和假粪排放于底泥中,改变了底泥的数量和质量,增加了底泥中营养盐的浓度,而底泥中的沉积有机物经矿化作用和再悬浮作用,又可使沉积物中的营养盐重新进入水体进行物质循环,为贝类及其他生物的生长提供营养条件(见图1)。

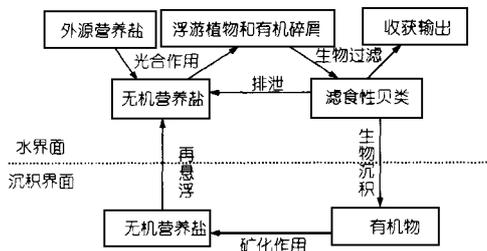


图1 浅海贝类养殖系统中的营养盐循环 (仿 Kasspar,1985)

有关滤食性贝类自然种群对浅海区营养盐循环的影响的研究始于20世纪50年代,主要研究对象有贻贝 (*Mytilus edulis*, *Perna canaliculus*)、牡蛎 (*Crassostrea virginica*) 和扇贝 (*Chlamys islandica*) 等。Kasspar 于1985年, Dame 于1984, 1989, 1993和1994年, Asmus 于1991和1995年, Bacher 于1995年, Herman 于1993年都曾对浅海营养动力学作过专门的研究,其中有些还建立了营养动力学模型,但我国在这方面的研究还很少。

1 滤食性贝类对水体中营养盐循环的影响

1.1 滤食性贝类的生物过滤作用

贝类的滤食系统十分发达,有着极高的滤水率,以贻贝为例,贻贝的滤水率可达 $5 \text{ L} / (\text{g} \cdot \text{h})$,能够利用上覆水乃至整个水域的浮游植物及有机碎屑。Richard 和 Ranghild 1991年, Harald 和 Prins 1995年的研究表明滤食性贝类能通过生物过滤作用和生物沉积作用从水体中去除悬浮的颗粒物,除此以外, Mnahan 和 Wight 发现滤食性贝类也能直接利用水体中的小分子有机物,如氨基酸、脂类等。

Richard 等于1991年利用在野外设置模拟管道,研究了挪威海贻贝床滤取和释放的特征,结果表明贻贝床滤取叶绿素 a 和悬浮物和有机碎屑,而释放氨、无机磷酸盐和硅酸盐; Harald 于1995年利用 Solt 水槽在野外现场测定了贻贝床对水体中磷循环的影响,结果表明贻贝床滤取有机磷和颗粒磷,释放溶解无机磷,从而对系统的磷循环产生直接影响,当水体中浮游植物密度低时,磷的重悬浮和扩散就不足以平衡贝类的摄食利用。

浮游植物作为水体中颗粒物的重要组成部分,其数量直接影响水体中的悬浮物质多少,滤食性贝类可以控制浮游植物的生物量,进而影响水体中颗粒物的数量和质量。Ranghild 于1991年利用水槽研究贻贝床对水体中的悬浮植物的影响,表明贻贝床滤取水体中的浮游植物,导致浮游植物生物量的减少(从水槽中流出的浮游植物生物量比流入的浮游植物生物量减少了 $37 \pm 20\%$)。据 Dame 1993年报道,贻贝床在滤取浮游植物的同时也释放出高浓度的溶解营养盐,而为浮游植物的生长提供条件; Prins 认为当贻贝放养量适中时,浮游植物的密度可以保持稳定。董双林^[1],

* 国家“九五”攻关资助项目 96-922-02-04 号,国家基础研究规划资助项目 G1999012012 号,中国科学院重大项目资助课题 KZ951-AF-301 号及中国科学院特别支持项目 KZ95 F04 号。

收稿日期:2000-03-30;修回日期:2000-05-29

Smaal 和 Prins 等的研究表明滤食性贝类的滤食不仅给浮游植物造成较大的摄食压力,也刺激了初级生产,增快浮游植物的生长速度。滤食性贝类的摄食不仅会影响浮游植物的数量,还会改变浮游植物的群落结构。据 Langdon, Webb 和 Epifanio 等 1993 年报道,滤食性贝类只摄食含有特种形式脂肪酸的藻类,而少摄食或不摄食含有毒素或不易消化的藻类;不同种类和不同大小的滤食性贝类所选择滤食的藻类亦不同^[2],在海水池塘养殖系统中,海湾扇贝的滤食不仅给浮游植物造成较大的摄食压力,还使浮游植物的粒级结构向大型发展,同时也使生物多样性指数降低^[3]。

我国浅海筏式养殖海区面积不断扩大,养殖贝类的生物量已接近或超过养殖区的养殖容量,贝类摄食对海区浮游植物和悬浮物的控制尤为明显。匡世煊 1996 年对桑沟湾水体中悬浮物动态进行的研究表明,扇贝养殖区的颗粒物和浮游植物的浓度远远低于非养殖海区;项福亭 1996 年在蓬莱大季家养殖二场的调查结果表明养殖区内的浮游植物密度仅为养殖区外的 35%;Yang^[1]对烟台四十里湾扇贝密集养殖海区进行的野外调查表明水温和颗粒有机物现存量(POM)影响栉孔扇贝生长的两个主要环境因子,并且当 POM 现存量低于 0.9 mg/L 时,扇贝软体部干重的瞬时增长率趋近于零。张福绥^[4]、杨晓岩^[5]、于瑞海^[6]撰文认为近年来饵料的缺乏越来越成为限制我国贝类养殖业发展的一个重要因素。

1.2 滤食性贝类的排泄作用

贝类的代谢活动可排泄 NH_4^+ , HPO_4^{2-} 等废物, Dame 等于 1984 年利用塑料管道来测定当海水流过牡蛎礁时物质的浓度变化,发现 POC 和叶绿素 a 的浓度降低,氨的浓度增加;牡蛎礁有很高的氨释放率(1 680~7 250 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) 在沼泽-河口系统物质循环中有重要作用。Dame 和 Smaal 于 1993 年通过人为控制 6 个小河溪的方法来研究牡蛎礁在河口区生态系统营养盐循环中的作用,于对照河溪相比,有牡蛎礁的小河中活性营养盐的浓度明显增高。

在贝类密集养殖区,滤食性贝类的代谢产物不能被藻类全部或及时利用,增加了水体中的无机营养盐浓度,造成水体富营养化,影响贝类的生长,即贝类的自身污染问题。1990 年至 1991 年烟台北部沿海无机氮年平均值达 102 $\mu\text{mol}/\text{L}$,较 1980 年前后的 40.5 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 提高了 1.5 倍,四十里湾清泉寨海区的 NO_3^- 平均值由 1.7 $\mu\text{mol}/\text{L}$ (1981 年 6~7 月) 增加到 23.5 $\mu\text{mol}/\text{L}$ (1994 年 6~7 月),13 a 间增加了 13 倍;对乐清湾清江及东山口牡蛎养殖密集区水质监测结果显示,全年无机氮含量已从 49.5~401.2 $\mu\text{g}/\text{L}$ 上升至

219.0~645.6 $\mu\text{g}/\text{L}$ 的变动范围^[7]。栉孔扇贝的耗氧率和排氮率分别为 $1.20 \times 10^{-3} \sim 5.76 \times 10^{-3} \text{h}^{-1}$ (干重) 和 $113.03 \times 10^{-3} \sim 486 \times 10^{-6} \text{h}^{-1}$ (干重) (平均 $380.13 \times 10^{-6} \text{h}^{-1}$ (干重)^[12],以烟台四十里湾 1996 年扇贝产量 25 248 t 计算,可排泄铵 2 073.6 t,是水体中 NH_4^+-N 的重要来源,很多学者认为在浅海养殖区,由于滤食性贝类等养殖生物的排泄作用,增加了水体中营养盐的浓度,藻类在春夏季大量爆发,极易形成赤潮,而危害养殖生产。

2 滤食性贝类对沉积物中营养盐循环的影响

2.1 滤食性贝类的生物沉积作用

滤食性贝类对食物具有选择性,可通过改变滤食率来适应外界食物条件的变化。当颗粒物质浓度增加时,贻贝的滤食率下降,但其吸收率增加^[13];当食物中有机物含量少时,贻贝的滤食率增大,可产生更多的假粪。贝类不能全部利用其滤食的食物,其中大部分以粪和假粪的形式形成生物沉积,有报道称此比例可高达 95%。Verwey 1952 年、Doeering 和 Oriatt 1986 年、Kautsky 1986 年和 Rodhouse 等 1993 年的研究表明滤食性贝类的生物沉积增加了沉积物的数量,改变了底栖沉积物的成分,并为其他生物的发展提供了环境条件。

牡蛎能从水体中滤食悬浮物并以粪和假粪的形式沉积下来,数量大约是自然沉积的 7 倍,实验室研究表明 0.405 ha 的牡蛎 1 周可产生 918 kg 的粪便和假粪;贻贝每年的生物沉积为 1.76 a^{-1} 。Hatcher 等于 1994 年在加拿大贻贝养殖区进行了测定并于邻近的非养殖区进行比较,发现前者的沉降量往往是后者的 2 倍以上。四十里湾扇贝养殖海区扇贝每日排泄总量达 5.5~3 t (湿重),1 a 排泄物可达 2 000~2 500 t,如果再加上海鞘等附着生物的排泄,总量高达 4 000 t^[8]。

2.2 浅海滤食性贝类养殖系统中营养盐的再生

滤食性贝类的生物沉积使养殖水域具备了营养滞留机制,减少了养殖区内颗粒物质的外移^[9],大量的沉积物构成了丰富的营养库,经矿化作用和重悬浮后又可重新进入水体营养盐循环;滤食性贝类促进了海水—底质界面间的营养盐交换,在浮游—底栖耦合作用中起着重要作用^[14,15]。

Kasspar 于 1985 年研究发现养殖区贻贝床的有机物含量和间隙水中的营养盐浓度都高于对照区,养殖区贻贝床氮的矿化作用和反硝化作用分别高于对照区的 20%~50%;Kautsky 在 1987 年利用沉积物捕捉

器现场收集北海湾贻贝床沉积物,结果表明贻贝每年增加了沉积物中 10% 的 C, N, P, 并分别提供海洋初级生产力年 N, P 需求量的 12% 和 22%。

大量的测定结果证实贝床沉积物释放氮、硅及磷,贻贝床的平均氮释放量为 $87 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 比一般海区要高得多(最大为 $22.4 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$), 贻贝床的平均硅释放量为 $52 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 磷的释放量也高于其他海底沉积物, Nixon 1981 年报道磷的释放量为 $0.5 \sim 16 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。Danc 1989 年研究了美国南加利福尼亚 Bay 湾的牡蛎礁对 C, N, P 的年利用量分别为 1 200, 189 和 $98 \text{ g}/\text{m}^2$, 氮的释放量为 $125 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

3 浅海滤食性贝类养殖系统营养动力学模型

进入 20 世纪 90 年代以来,海洋生态系统的研究异常活跃,并进入强调“动力学”研究的时期,建立了许多海洋动力学模型。贝类养殖容量模型研究也逐渐引起人们的重视,如箱式模型及营养动力学研究等,其中法国 Thau 湾太平洋牡蛎养殖海区氮元素的营养动力学研究就是较为成功的一例。模型中主要考虑了营养盐、浮游植物、浮游动物、牡蛎和有机碎屑几个氮库,建立了初级生产力和浮游动物产量公式:

$$\frac{dP}{dt} = u_{\max} \cdot f \cdot g(T) \cdot N_w / (K_N + N_w),$$

$$\frac{dZ}{dt} = P_{\max} \cdot g(T) \cdot (1 - e^{-kZ} \max(0, P - P_{\min}))$$

式中: P ——浮游植物生物量; u_{\max} ——浮游植物最大增长率; f ——光反应系数; $g(T)$ ——温度效率常数; T ——水温; t ——温度变量; N_w ——水体中氮盐的浓度; K_N ——氮的半饱和和滤取浓度常数; Z ——浮游动物生物量; P_{\max} —— 0°C 时浮游动物最大摄食率; P_{\min} ——浮游植物密度阈值。

Peter 1993 年以硅作为海湾水体中的营养盐限制因子,建立了一系列的模型,模型中主要考虑浮游植物、营养盐(Si)、底栖滤食生物和有机碎屑 4 个分室,分别建立了初级生产力、底栖滤食生物两个亚分室模型。

俞光耀等^[10]建立了一个包括浮游植物、浮游动物、无机氮和磷、溶解态与悬浮有机物及溶解氧七状态变量的浅海水体生态动力学箱式模型,初步分析了胶州湾北部浮游生态系统演变的几个特征时期动力学方程中的物流动态特征;高会旺等^[16]建立了一个包括营养盐(N)、浮游植物(P)、浮游动物(Z)和碎屑(D) 4 种状态变量的生物模型,模拟计算了渤海浮游植物和初级生产力的年变化。

通过对多个海湾的研究, Smaal 1993 年报道滤食贝类在海湾生态系统中的作用主要包括以下 7 点:从水体中滤食大量物质;减少并可能耗尽浮游植物的密度;形成包含很高有机物质的生物沉积;重新矿化沉积物;向水体中释放无机营养盐;增加可利用溶解无机营养盐的浓度;影响水体中各营养盐间的比例。Richard 也于 1993 年报道滤食性贝类可刺激初级生产力;改变自然系统中浮游植物的种类或粒级结构;通过矿化沉积物重新生成营养盐而达到对水体富营养化控制的目的。

近年来,我国浅海贝类养殖超载运行,不少养殖海区养殖环境恶化,产量出现滑坡,饵料缺乏、营养盐循环失衡是其中的一个重要原因。目前,我国对浅海养殖水体中营养动力学和滤食性贝类在养殖系统营养盐循环中的作用的研究还比较少,不能跟上我国养殖生产的需要,因此,在我国重点海区,进行浅海养殖系统营养动力学的研究具有很大的理论和生产实践意义。

参考文献

- 董双林,王芳等.海洋学报,1999,21(6):138~143
- 王芳,董双林,张硕等.海洋与湖沼,2000,31(2):139~144
- 董双林,王芳,王俊等.海洋与湖沼,1999,21(6):138~143
- 张福绥,杨红生.海洋科学,1999,2:38~41
- 杨晓岩,李天保等.齐鲁渔业,1998,15(6):17~19
- 于瑞海,王如才等.海洋湖沼通报,1998,3:69~71
- 柴雪良.浙江海水养殖,1998,27:24~26
- 曲世科,马述法等.齐鲁渔业,1998,15(4):26~27
- 季如宝,毛兴华,朱明远.黄渤海海洋,1998,16(1):21~27
- 俞光耀,吴增茂,张志南等.青岛海洋大学学报,1999,29(3):421~428
- Yang H., Zhang T., Wang J. et al. Journal of Shellfish Research, 1999, 18(1):71~76
- Yang H., Zhang T., Wang P. et al. Chin. J. Oceanol. Limnol., 1998, 16(2):167~172
- Wong W. H. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 1999, 236:191~207
- Peterson B. J., Kenneth L., Heck Jr. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 1999, 140:37~52
- Clark, H. and Wikfors, G. H. Journal of Shellfish Research, 1998, 17(1):351
- Gao H., Feng SH., Y. Guan. Fisheries Oceanography, 1998, 7(3/4):258~264

(本文编辑:刘珊珊)