

四十里湾几种双壳贝类及污损动物的 氮、磷排泄及其生态效应*

周毅 杨红生¹⁾ 何义朝 张福绥

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 对多种经济双壳贝类和养殖中的污损动物的 N 和 P 排泄进行了测定,包括排泄成分和排泄速率。在这些动物的 N 排泄中, $\text{NH}_4\text{-N}$ 占主要部分,如笼式养殖的双壳贝类 $\text{NH}_4\text{-N}$ 占总 N 排泄的平均值范围为 70.8%—80.1%;氨基酸是第二大排泄成分,平均占总 N 排泄的 10%—25%。其他形态的 N,如尿素、亚硝酸盐和硝酸盐也有检出。在 P 排泄中,有机磷(DOP)约占总溶解磷(TDP)排泄的 15%—27%。据估算,整个四十里湾所养殖的双壳贝类在夏季每天将排泄 4.54t 总溶解氮,其中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 3.36t、Amino-N 0.69t、Urea-N 0.2t。同时每天磷的排泄为 0.57t(TDP, 其中 DOP 0.15t。对面积为 $1.3 \times 10^4 \text{hm}^2$ 的海区而言,贝类的 N、P 排泄分别能满足浮游植物生产所需 N、P 的 44% 和 40%。高密度的贝类养殖对养殖生态系统营养循环的影响是很显著的。附着动物(柄海鞘等)的 N、P 排泄及其对营养循环的影响也不容忽视。

关键词 四十里湾,双壳贝类,污损动物,氮,磷,排泄,营养循环

中图分类号 Q178.53

海洋无脊椎动物 N、P 排泄对于海洋营养盐循环是很重要的(Smaal *et al*, 1997)。双壳贝类 N、P 排泄,尤其是再循环无机形态的 $\text{N}(\text{NH}_4^+)$ 和 $\text{P}(\text{PO}_4^{3-})$ 对浮游植物生产的意义已被广泛研究(Cockcroft, 1990)。关于双壳贝类的 N 或 P 排泄早有报道,但同时测定多种形态的氮排泄和磷排泄的报道却很少见。四十里湾是我国北方一个重要养殖海区,有关养殖海区的环境状况已有不少报道(赵卫红等, 2000; 吴玉霖等, 2001)。作者对多种经济双壳贝类和养殖中的污损动物多种形态的 N 和 P 排泄进行了研究,并以四十里湾养殖海区为例,探讨这些动物的 N、P 排泄在养殖生态系统营养循环中所扮演的角色。

1 材料与方 法

栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*)、海湾扇贝 (*Argopecten irradians irradians*)、柄海鞘 (*Styela clava*) 于 1999 年 5 月取自烟台四十里湾养殖区,纹斑稜蛤 (*Trapezium liratum*) 取自日照岚山港沿海养殖区;其他生物,紫贻贝 (*Mytilus edulis*)、长牡蛎 (*Crassostrea gigas*)、玻璃海鞘 (*Ciona intestinalis*) 和藤壶 (*Balanus amphitrite*) 取自青岛胶州湾养殖区。实验生物取回后,

* 国家重点基础研究规划项目, G1999012012 号;国家自然科学基金项目, 30100139、30170742 号;中国科学院知识创新工程项目, KZCX2-403 号、ZKCX2-211 号;国家重点科技攻关项目, 96-922-02-04 号。周毅,男,出生于 1968 年 4 月,博士,副研究员, E-mail: yizhou@ms.qdio.ac.cn

1) 通讯作者, 杨红生

收稿日期: 2001-03-23, 收修改稿日期: 2001-10-28

立即进行排泄测定。选用容积相同的玻璃缸,加入砂滤海水 4L,放入实验生物,每种生物均设三个重复,并设对照(不放实验生物;3 个重复)。实验于实验室暗处进行,自然水温为 19—22℃。每缸所实验的生物数量,栉孔扇贝($53.2 \pm 2.5\text{mm}$;平均软体干重 0.95g/ind)、贻贝($54.7 \pm 1.8\text{mm}$;平均软体干重 0.57g/ind)、牡蛎($67.2 \pm 3.5\text{mm}$;平均软体干重 1.55g/ind)和柄海鞘($55.3 \pm 2.4\text{mm}$;平均软体干重 0.43g/ind)各为 3 个,蛤仔($31.1 \pm 1.2\text{mm}$;平均软体干重 0.38g/ind)和玻璃海鞘($43.2 \pm 2.8\text{mm}$;平均软体干重 0.11g/ind)各为 6 个。纹斑稜蛤($10.5 \pm 1.1\text{mm}$)用 1L 水体实验,每缸实验数目为 20 个。实验持续 3—4h 后,取出实验生物,将水摇匀,取水样(包括对照组)进行溶解氧(DO)、氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)、亚硝酸盐($\text{NO}_2\text{-N}$)、硝酸盐($\text{NO}_3\text{-N}$)、尿素(Urea-N)、尿酸(Uric-N)、溶解游离氨基酸氮(Amino-N)和总溶解氮(TDN)以及溶解无机磷(DIP)、总溶解磷(TDP)的测定。根据放入实验生物的实验水体与对照组水体中各种成分的浓度差值计算实验生物 N、P 排泄速率和耗氧率。

DO 用 Winkler 法测定; $\text{NH}_4\text{-N}$ 用次溴酸盐氧化法测定; $\text{NO}_2\text{-N}$ 用萘乙二胺分光光度法测定; $\text{NO}_3\text{-N}$ 用镉柱还原法测定;TDN 用过硫酸盐氧化法测定;Amino-N 用荧光分光光度法测定;Urea-N 用尿素-丁二酮-肟法测定;Uric-N 用磷钨酸分光光度法测定(Cook *et al*, 1975;周毅,2000¹⁾);DIP 用萃取磷钼蓝分光光度法测定;TDP 用过硫酸盐氧化法与 DTN 同时测定;溶解有机磷(DOP)为 TDP 与 DIP 的差值。以上 DO、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TDN、Amino-N、Urea-N、DIP、TDP 的测定方法参见 Grasshoff 等(1983)。基于平均呼吸商 $RQ = 0.85:1\mu\text{mol O}_2 = 0.85\mu\text{mol CO}_2$ (Hawkins *et al*, 1985;Barber *et al*, 1985),将耗氧率转化为 C 排泄。呼吸商为呼吸过程中所产生的 CO_2 与所消耗 O_2 的分子比。此方法亦被 Smaal 等(1997)用来估算 *Mytilus edulis* 的 C 排泄²⁾。

2 结果

表 1 几种滤食性动物的氮、磷排泄速率 [$\mu\text{mol}/(\text{h}\cdot\text{ind})$, $\pm \text{SD}$]及相对比值

Tab.1 Excretion rates [$\mu\text{mol}/(\text{h}\cdot\text{ind})$, $\pm \text{SD}$]and relative ratio of N and P by several filter-feeding animals

种类	TDN	$\text{NH}_4\text{-N}$	Amino-N	Urea-N	DIP	TDP	C/N	N/P	DIP/TDP	TDN/TDP
栉孔扇贝	4.99 (0.85)	3.69 (0.59)	0.758 (0.173)	0.219 (0.048)	0.207 (0.028)	0.281 (0.040)	8.73	17.8 (2.8)	73.7 (12.1)	17.7 (3.5)
海湾扇贝	4.21 (0.65)	2.98 (0.47)	0.905 (0.181)	0.181 (0.038)	0.184 (0.030)	0.230 (0.027)	8.87	16.2 (3.1)	80.1 (10.5)	18.3 (3.0)
贻贝	3.11 (0.50)	2.29 (0.37)	0.662 (0.109)	0.075 (0.015)	0.134 (0.016)	0.161 (0.011)	9.07	17.1 (2.4)	83.2 (5.9)	19.3 (2.8)
牡蛎	4.32 (0.48)	3.46 (0.52)	0.497 (0.111)	0.207 (0.036)	0.253 (0.031)	0.300 (0.032)		13.7 (1.9)	84.3 (10.2)	14.4 (1.9)

1) 周 毅,2000.滤食性贝类筏式养殖对浅海生态环境影响的基础研究。中国科学院海洋研究所博士学位论文

2) 尽管这些作者也采用平均呼吸商($RQ = 0.85$)来估算,但在换算时,本应将 $1\text{ml O}_2 = 0.46\text{mgC}$ (Hawkins *et al*, 1985)换算为 $1\text{mg O}_2 = 0.32\text{mgC}$,而却被误引用为 $1\text{mg O}_2 = 0.32\text{mg CO}_2$,而且这不仅仅是笔误,在换算时同样存在错误,这可以从他们所给出的氧消耗、 NH_4 排泄以及 C/N 排泄比看出

续表 1

种类	TDN	NH ₄ -N	Amino-N	Urea-N	DIP	TDP	C/N	N/P	DIP/TDP	TDN/TDP
柄海鞘	1.09 (0.19)	0.71 (0.13)	0.216 (0.063)	0.078 (0.017)	0.059 (0.009)	0.070 (0.007)	4.88	12.1 (2.3)	83.9 (9.7)	15.6 (2.4)
蛤蜊	0.93 (0.11)	0.64 (0.07)	0.233 (0.048)	0.028 (0.005)	0.035 (0.005)	0.041 (0.004)		18.4 (3.4)	85 (8.8)	22.8 (2.9)
玫瑰稜蛤	0.049 (0.009)	0.037 (0.005)					6.30			
玻璃海鞘	0.83 (0.14)	0.56 (0.06)	0.185 (0.043)	0.054 (0.009)	0.050 (0.010)	0.061 (0.007)		11.3 (2.7)	81.6 (10.1)	13.6 (2.2)
藤壶	0.11 (0.02)	0.07 (0.01)	0.024 (0.006)	0.011 (0.003)						

注:各种形态 N、P 排泄速率的单位均为 μmol/(h·ind);C/N、N/P 分别为 CO₂-C 和 NH₄-N、NH₄-N 与 DIP 的排泄原子比,1mol O₂ = 0.85mol CO₂(双壳贝类;Hawkins *et al*, 1985)或 1mol O₂ = 1.0mol CO₂(海鞘;Hatcher, 1994);表格括号中的数据表示 ± SD

表 2 总溶解氮排泄中各种形态的氮所占的百分比 (% ± SD)

Tab.2 Forms of nitrogen excreted as a percentage of total dissolved nitrogen(% ± SD)

种类	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Urea-N	Amino-N	∑
栉孔扇贝	7.4 (7.3)	1.3	1.6	4.4 (0.8)	15.2 (8.5)	96.5
海湾扇贝	70.8 (8.5)	1.0	0.7	4.3 (0.7)	21.5 (9.3)	98.3
贻贝	73.7 (8.2)	1.2	0.5	2.4 (0.5)	21.3 (10.5)	99.1
牡蛎	80.1 (7.1)	1.6	0.9	4.8 (0.7)	11.5 (4.9)	98.9
柄海鞘	65.2 (10.0)	2.0	1.1	7.2 (1.3)	19.8 (5.3)	95.3
蛤仔	68.7 (9.5)	1.3	2.0	3.0 (0.6)	25.0 [*] (9.2)	
玻璃海鞘	67.6 (7.9)	2.1	1.5	6.5 (1.3)	22.3 [*] (9.0)	
藤壶	65.3 (8.5)	1.2	0.7	10.1 (2.1)	22.7 [*] (7.8)	

注:Amino-N 由 100% 减去其他形态氮的百分数所得;括号内数据表示 ± SD

各种实验生物 TDN、NH₄-N、Urea-N、Amino-N、DIP 和 TDP 的排泄速率见表 1。本实验在双壳贝类中未检测出尿酸氮。其他无脊椎动物本实验未做测定。但在所实验的无脊椎动物的排泄中均检出 Urea-N、NO₂-N、NO₃-N, 尽管数量不大(表 2)。如栉孔扇贝 TDN 的排泄速率为 4.99 (SD = 0.85) μmol/(h·ind), 其中 NH₄-N 的平均排泄速率为 3.69 μmol/(h·ind), 占 TDN 排泄的 74% (SD = 7.3%), 而 Amino-N、Urea-N 平均排泄速率分别为 0.758 和 0.219 μmol/(h·ind), 分别占 TDN 排泄的 15.2% (SD = 8.5%) 和 4.4% (SD = 0.8%); 海鞘的排泄速率也相当高, 柄海鞘、玻璃海鞘 TDN 的平均排泄速率分别为 1.09、0.83 μmol/(h·ind)。

各种形态的 N 在 TDN 排泄中所占的比例如表 2 所示。可以看出, NH₄-N 在 N 排泄中占主要部分, 如悬浮养殖的双壳贝类 NH₄-N 排泄占 TDN 排泄的 70% 以上, 平均值范围为 70.8%—80.1%。相对而言, 海鞘、藤壶稍低一些, 平均值范围为 65%—70%。氨基酸是第二大排泄成分, 平均占 TDN 排泄的 10%—25%。除了 NH₄-N 和 Amino-N 以外, 其他形态的 N 如 Urea-N、NO₂-N 和 NO₃-N 所占比例不大。比较而言, Urea-N 的数量相对有一定的意义。双壳贝类 Urea-N 占 TDN 排泄的 2%—5%, 如栉孔扇贝、海湾扇贝、贻贝和牡蛎的 Urea-N 所占比例分别为 4.4%、4.3%、2.4% 和 4.8%。而海鞘、藤壶 Urea-N 所占的比例相对高一些, 为 7.2% (柄海鞘)、6.5% (玻璃海鞘) 和 10.1% (藤壶)。在 TDN 排泄中, 尚有 1%—5% 的 N 未确定成分。

在所研究动物的 P 排泄中, DOP 约占 TDP 排泄的 15%—27% (表 1)。如栉孔扇贝 TDP 排泄速率为 0.281 (SD = 0.040) μmol/(h·ind), 其中 DIP 占 TDP 排泄的 73.7% (SD = 12.1%); 其他动物 DOP 的排泄比例则相对低一些。N/P 排泄比, 栉孔扇贝为 17.8, 海湾扇贝、贻贝和蛤仔与此类似, 而牡蛎较低, 为 13.7, 海鞘(包括柄海鞘和玻璃海鞘) 此比值更低, 为 12.1 (柄海鞘) 和 11.3 (玻璃海鞘)。总的来讲, TDN/TDP 排泄比稍高于 N/P 排泄比。对于 C/N 排泄比, 栉孔扇贝、海湾扇贝和贻贝也比较类似, 分别为 8.73、8.87 和 9.07。

3 讨论

3.1 双壳贝类 N、P 排泄形态

一般而言, 贝类氮的排泄物可包括氨、尿素、尿酸、氨基酸等, 其中氮的比例最大, 达到或超过 70%, 其余部分的含量因种类而不同 (Griffiths *et al.*, 1987)。目前对双壳贝类氮排泄以及能量收支的研究一般只考虑氨的排泄。在本实验各种动物的 N 排泄中, NH₄-N 占 TDN 的 70%—80%, 氨基酸氮占 TDN 的 10%—25%。这与文献所报道的其他双壳贝类的 N 排泄比较一致 (Cockcroft, 1990)。在大多数双壳贝类的氮排泄中, 尽管 NH₄-N 占主导地位, 但氨基酸占据着相当可观的比例 (Bayne, 1973; Cockcroft, 1990)。已经证实, 贝类氨基酸排泄在总氮排泄中所占比例受外界环境因素的影响。据 Bayne (1973) 报道, 贻贝 *Mytilus edulis* 受温度和饥饿胁迫时, 氨基酸氮排泄相对于氨氮而言提高了。由于细菌能够利用溶解的有机氮, 特别是氨基酸能被迅速地结合到浮游细菌中 (Cockcroft *et al.*, 1993), 因而在较高密度的养殖海区贝类的氨基酸也可能具有重要的生态意义。

本研究在所测定的双壳贝类的氮排泄中, 除 NH₄-N 和 Amino-N 占很大比例外, 也检出 Urea-N、NO₂-N 和 NO₃-N, 尽管比例不大。Cockcroft (1990) 调查了两种冲浪区贻贝 *Donax serra* 和 *D. sordidus* 的氮排泄, 在 20℃ 或 25℃ 下它们的氮排泄速率为 0.041 ± 0.004 μgN/

($\text{mg}\cdot\text{h}$),其中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 占总溶解氮的 70%—78%, Amino-N 占 21%—30%, Urea-N < 2%, $\text{NO}_3\text{-N}$ < 1%, 未检测到 $\text{NO}_2\text{-N}$ 。另外, Nakamura 等(1988)报道,在中等盐度泻湖 Shinji 中, *Corbicula japonica* 在 27℃ 下排氮速率为 $200 \times 10^{-6} \text{gN}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 但不排泄硝酸盐和亚硝酸盐。而 Magni 等(2000)测得来自砂质潮坪的菲律宾蛤仔 *Ruditapes philippinarum* 所排泄的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 总量高达 $\text{NH}_4\text{-N}$ 排泄量的一半。海水中尿素的主要来源是动物排泄以及细菌对一些有机氮化合物的降解,已被证明在多数热带海洋和温带甚至在高纬度的沿海和 offshore 区域的真光层中尿素占有相当有意义的数量,且循环快,是浮游藻类生长重要的 N 源(Remsen *et al*, 1971)。在高密度的贝类养殖海区,贝类的尿素排泄可能也具有一定的生态意义。

本文所测定的贻贝 *M. edulis* ($54.7 \pm 1.8\text{mm}$) 在 19—20℃ 下磷的排泄速率为 $0.13 \mu\text{mol}/\text{ind}$, 在文献报道的范围之内。其它双壳贝类如栉孔扇贝、海湾扇贝和牡蛎的总磷排泄也比较类似。栉孔扇贝以及本文所研究的其它无脊椎动物的磷排泄中,有机磷占总磷排泄的 15%—27%, 这低于一些浮游动物的有机磷排泄。Atkinson 等(1983)观察到底栖无脊椎动物(包括双壳贝类)的 P 排泄中, DOP 占 29%。本文所研究的无脊椎动物 DOP 排泄比例略低一些。Vink 等(1985)报道 *M. edulis* 无机磷的排泄速率为 $0.016 \mu\text{mol PO}_4\text{-P}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 而有机磷排泄占无机磷排泄的 40%。然而它们的总磷排泄速率是比较低的。Smaal 等(1997)观察到 *M. edulis* 磷的排泄速率在一年内的变化范围为 $0.04\text{—}0.20 \mu\text{mol PO}_4\text{-P}/(\text{ind}\cdot\text{h})$ 。

栉孔扇贝等无脊椎动物 C/N 排泄比是比较低的,这似乎说明这些动物蛋白质的代谢水平在春季较高。相似现象亦被报道(Hawkins *et al*, 1985; Smaal *et al*, 1997; 杨红生等, 1998)。根据 Gabbott 等(1973),之所以蛋白质在春季作为体内的能量来源被利用,是因为所贮存的糖原在冬季已被耗尽,结果使氮排泄相对于呼吸而言是增加了。本研究所调查的无脊椎动物的 C/P 排泄比,双壳贝类平均为 151:1,柄海鞘为 59:1。由于以上无脊椎动物与悬浮养殖有关,它们以近表层的浮游藻类等有机质为食,因而其 C/P 比值较低。Vink 等(1985)报道底栖无脊椎动物(包括许多双壳贝类)C/P 排泄比为 609:1, 这比浮游动物 C/P 排泄比高 5 至 6 倍,这主要与底栖无脊椎动物的饵料为底栖大型藻及碎屑有关,后者 C:N:P = 550:30:1 (Atkinson *et al*, 1985)。

3.2 四十里湾双壳贝类及污损动物 N、P 排泄的生态效应

浮游动物的营养盐排泄,已经被认为是维持海洋初级生产的重要营养盐来源(Vink *et al*, 1985),且在海洋表层浮游动物的营养盐排泄是供浮游植物生长的无机营养盐的一个主要来源。海洋无脊椎动物 N、P 排泄对于海洋营养盐循环也是很重要的(Smaal *et al*, 1997)。早期的贻贝 *M. edulis* 营养盐排泄的测定(Kautsky *et al*, 1980)说明在瑞典 Askö 海区每年再生 339t 氨氮和 104t 无机磷,这已经超过底栖藻类的需求,而且多余的氮和磷可以提供浮游藻类每年所需要的氮和磷的 6% 和 17%。

表 3 四十里湾栉孔扇贝及污损生物夏季 N、P 排泄量估算

Tab.3 Estimation of quantities of N and P excreted
by scallops and fouling organisms in Sishili Bay, summer

项目	种类	TDN	NH ₄ -N	Amino-N	Urea-N	TDP	DIP
每个每天的排泄量(mg)	栉孔扇贝	1.677	1.240	0.255	0.074	0.209	0.154
	海鞘	0.323	0.213	0.067	0.022	0.022	0.018
每“亩”每天的排泄量(g)	栉孔扇贝	235	174	35.7	10.3	29.3	21.6
	海鞘	58.1	38.4	12.1	4.00	8.77	7.30
整个海区每天的排泄量(t)	栉孔扇贝	4.54	3.36	0.690	0.199	0.566	0.417
	海鞘	1.12	0.74	0.23	0.077	0.170	0.141
对浮游植物生长所需	栉孔扇贝	43.9	32.5	6.7	1.9	39.5	29.1
N、P 的贡献(%)	海鞘	10.9	7.2	2.3	0.7	11.9	9.9

注:根据栉孔扇贝和海鞘室内排泄的平均值及它们在四十里湾的数量估算

如果以本实验所测定的数据计算,以烟台四十里湾为例,在整个贝类养殖海区的夏季,以栉孔扇贝计,贝类每天将排泄 4.54t TDN,其中 NH₄-N 3.36t、Amino-N 0.69t、Urea-N 0.2t,同时每天磷的排泄为 0.57t TDP,其中 DIP 和 DOP 0.42t 和 0.15t。而该海区夏季的初级生产力平均约为 450mgC/(m²·d)(吴玉霖,1998)¹⁾,浮游植物每天所需的 N、P 分别为 79.2mgN/(m²·d)和 11.0mgP/(m²·d)。在面积为 1.3 × 10⁴hm² 的整个海区,浮游植物生产每天所需的 N 和 P 分别为 10.3tN 和 1.43tP(根据 Redfield 比值计算),这就意味着贝类因排泄而再循环的 N 和 P 分别能满足浮游植物生产所需 N、P 的 44% 和 40%,其中 NH₄-N 和 DIP 分别能满足所需 N、P 的为 33% 和 29%。在 N 排泄中,尽管 Urea-N 所占比例有限,但也能满足海区浮游植物所需 N 的 2% 左右。以上说明高密度的贝类养殖对海区生态系统营养盐循环的影响是很显著的。

柄海鞘(*S. clava*)、玻璃海鞘(*C. intestindlis*)为我国沿海常见的污损生物。在烟台四十里湾贝类养殖海区,在所有附着生物中两种海鞘的危害性可能最大。据 1998 年 5 月对海区贝类养殖笼的调查,柄海鞘的体长为 6cm 左右,在单个养殖笼上,数量高达 200—400 个;同样玻璃海鞘(4cm 左右)数量很高,为 100—400 个/笼。而在胶州湾养殖海区(胶南)以玻璃海鞘为最多,在一个养殖笼的单个橡胶盘上体长 2—5cm 的玻璃海鞘高达 40—100 个。另外,壳高 < 15mm(10.1 ± 3.3)的纹斑稜蛤(*T. liratum*)数量也非常大,在四十里湾养殖海区上,每 10cm 筏绳纹斑稜蛤的数量高达 40—100 个;在日照岚山养殖海区,纹斑稜蛤的数量更是惊人,它们在网笼上密集分布。海鞘在沿海自然生态系统中也可以通过滤水摄食对浮游植物数量产生影响(Peterson *et al*, 1992)。以本文所测定的柄海鞘和玻璃海鞘两者排泄的平均值估算,即每个海鞘每天 TDN、NH₄-N、Amino-N、Urea-N 和 TDP、DIP 的排泄量分别为 0.32、0.21、0.067、0.022 和 0.022、0.018mg;在四十里湾养殖海区,以每笼附着 400 个海鞘估算,那么在夏季(5—7 月份)整个海区的海鞘 TDN、NH₄-N、Amino-N、Urea-N 和 TDP、DIP 的排泄量分别为 1.12、0.74、0.23、0.077 和 0.077、0.064t/d。这意味着海鞘所

1) 吴玉霖,1998. 国家重点科技攻关项目 96-922-02-04 专题的验收报告

排泄的 TDN 和 DIP 分别能满足浮游植物生产所需 N、P 的 11% 和 12%。其中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 TDP 分别能提供藻类所需 N、P 的 7% 和 10%。另外,海鞘的 Urea-N 排泄也能提供浮游藻类所需 N 的 1%。以上充分说明污损生物的大量存在同样对养殖海区的 N、P 循环产生显著的影响。

如果同时考虑栉孔扇贝、海鞘的 N、P 排泄,那么它们在烟台四十里湾养殖海区就能满足浮游藻类生产所需 N、P 的 50%。而其中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 DIP 的排泄能分别提供藻类所需 N、P 的 40% 和 39%。

参 考 文 献

- 吴玉霖,周成旭,张永山等,2001.烟台四十里湾海域红色裸甲藻赤潮发展过程及其成因.海洋与湖沼,32(2):159—176
- 杨红生,张涛,王萍等,1998.温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及排泄率的影响.海洋学报,20(4):91—96
- 赵卫红,熊念志,赵增霞,2000.四十里湾养殖水域氮的存在形态的研究.海洋与湖沼,31(1):53—59
- Atkinson M, Smith S V, 1983. C:N:P ratios of benthic marine plants. Limnol Oceanogr, 28:568—574
- Barber B J, Blake N J, 1985. Substrate catabolism related to reproduction in the bay scallop *Argopecten irradians concentricus*, as determined by O/N and RQ physiological indexes. Mar Biol, 87:13—18
- Bayne B L, 1973. The responses of three species of bivalve mollusc to declining oxygen tension at reduced salinity. Comp Biochem Physiol, A4, 5:793—806
- Cockcroft A C, 1990. Nitrogen excretion by the surf zone bivalves *Donax serra* and *D. sordidus*. Mar Ecol Prog Ser, 60:57—65
- Cockcroft A C, McLachlan A, 1993. Nitrogen budget for a high-energy ecosystem. Mar Ecol Prog Ser, 100:287—299
- Cook M A, Adkinson J T, Lassiter W E, 1975. Uric acid excretion by the rat kidney. American Journal of Physiology, 229:586—591
- Gabbott P A, Bayne B L, 1973. Biochemical effects of temperature and nutritive stress on *Mytilus edulis* L. Mar Bio Ass U K, 53:269—286
- Grasshoff K, Erhardt M, Kremling K, 1983. Methods of seawater analysis. Verlag Chemie, Weinheim, Germany, 117—182
- Griffiths C L, Griffiths R J, 1987. Bivalvia. In: Pandian T L, Vernberg E J ed. Animal Energetics, Vol. 2. New York: Academic Press, 1—88
- Hatcher A, 1994. Nitrogen and phosphorus turnover in some benthic marine invertebrates: implication for the use of C:N ratios to assess food quality. Mar Biol, 121:161—166
- Hawkins A J S, Bayne B L, 1985. Seasonal variation in the relative utilization of carbon and nitrogen by the mussel *Mytilus edulis*: budgets, conversion efficiencies and maintenance requirements. Mar Ecol Prog Ser, 25:181—188
- Kautsky N, Wallentinus I, 1980. Nutrient release from a Baltic *Mytilus*-red algal community and its role in benthic and pelagic productivity. Ophelia(Suppl), 1:17—30
- Magni P, Montani S, Takada C *et al*, 2000. Temporal scaling and relevance of bivalve nutrient excretion on a tidal flat of Seto Inland Sea, Japan. Mar Ecol Prog Ser, 198:139—155
- Nakamura M, Yamamuro M, Ishikawa M *et al*, 1988. Role of the bivalve *Corbicula japonica* in the nitrogen cycle in a mesohaline lagoon. Mar Biol, 99:369—374
- Peterson J K, Røisgård H U, 1992. Filtration capacity of the ascidian *Ciona intestinalis* and its grazing impact in a shallow fjord. Mar Ecol Prog Ser, 88:9—17
- Remsen C C, 1971. The distribution of urea in coastal and oceanic waters. Limnol Oceanogr, 16:732—740
- Smaal A C, Vinck A P M A, 1997. Seasonal variation in C, N and P budgets and tissue composition of the mussel *Mytilus edulis*. Mar Ecol Prog Ser, 153:167—179
- Vink S, Atkinson M J, 1985. High dissolved C:P excretion ratios for large benthic marine invertebrates. Mar Ecol Prog Ser, 21:191—195

NITROGEN AND PHOSPHORUS EXCRETION AND ITS ECOLOGICAL EFFECT BY SEVERAL BIVALVES AND FOULING ANIMALS

ZHOU Yi, YANG Hong-Sheng, HE Yi-Chao, ZHANG Fu-Sui

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

Abstract Nitrogen and phosphorus excretion by several filter feeding mollusks, including *Chlamys farreri*, *Argopecten irradians*, *Mytilus edulis*, *Crassostrea gigas*, *Ruditapes philippinarum* and fouling organisms (*Styela clava*, *Ciona intestinalis*, *Balanus amphitrite* and *Trapezium liratum*) collected from coastal culture areas, were studied. $\text{NH}_4\text{-N}$ was the predominant nitrogenous excretory product, which accounted for more than 70% (mean 70.8%—80.1%) of TN excreted by these organisms. Amino acids are the second main nitrogenous component excreted by all of the studied organisms, which constituted 10%—25% of TN product. Other nitrogenous components excreted by the species were urea, nitrite and nitrate, but no significant amount of uric acid was measured in these bivalve species. Organic phosphorus constituted 15%—27% of the total phosphorus excreted by these organisms. The calculated everyday excretion rates of N and P of all raft cultured bivalves in Sishili Bay in summer could provide 44% and 40% respectively of N and P demands for pelagic primary production. The raft cultured bivalves played an important role in nutrient regeneration in a coastal aquaculture ecosystem.

Key words Sishili Bay, Bivalve, Fouling animal, Nitrogen, Phosphorus, Excretion, Nutrient cycling