

四十里湾栉孔扇贝的生长余力和C、N、P元素收支

周毅, 杨红生, 张福绥

(中国科学院海洋研究所, 山东青岛266071)

摘要: 运用生物沉积法在四十里湾养殖海区现场对栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)的生长余力和C、N、P元素收支进行研究。结果表明, 四十里湾不同海区生长余力 S_{SFG} 差别很大。I龄栉孔扇贝 S_{SFG} 为 $-0.74 \sim 24.08$ J/(ind·h), S_{SFG} 与饵料浓度 C_{POM} 呈正相关关系。 S_{SFG} 负值的出现主要与低饵料浓度有关。C、N、P的生长余力(S_{SFG-C} 、 S_{SFG-N} 、 S_{SFG-P})分别与 C_{POC} 、 C_{PON} 和 C_{PP} 呈正相关关系。在N的生长余力 S_{SFG-N} 计算中, 如果仅考虑 NH_4^+-N 排泄, 而不考虑其他形态N的排泄, 就可能产生相当大的偏差, 偏差范围为11%~36%, S_{SFG-N} 越低, 产生的偏差就越大。在饵料不足、扇贝生长受到限制的环境下计算 S_{SFG-N} 时, 必须考虑其他形态N的排泄。在栉孔扇贝浅海养殖中, 养殖密度和规模过大显然会影响扇贝本身的生长。

关键词: 栉孔扇贝; 生长余力; 能量; 元素收支; 四十里湾(黄海北部)

中图分类号: Q959.215

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737(2002)02-0161-06

近几年来, 越来越多研究者在现场应用生物沉积法(biodeposition method)进行贝类生理生态学参数的测定, 这些参数包括滤水率、摄食率、吸收率和生长余力^[1~2]。生长余力(scope for growth; SFG)这一概念和参数, 已经被广泛地应用于无脊椎动物, 尤其是海洋双壳贝类的生理生态学研究^[3]。计算生长余力值 S_{SFG} 的主要优点在于双壳贝类的生长表现需要长时间的研究, 而通过 S_{SFG} 可在短期实验中估计^[4]。生物沉积法已成为定量研究悬浮食性双壳贝类食物处理速率的一种有效工具, 它所测定的滤水率与常规的方法一致, 而且对生长余力的估计也与生长速率的直接测定相一致^[1]。与传统的测定方法(随机或间断式取样)相比, 这种方法能够提供双壳贝类摄食的连续记录, 因而更能精确地测量贝类的摄食与吸收, 这有助于准确地评价双壳贝类在沿海生态系统物质循环中所起的作用。

收稿日期: 2001-05-28

基金项目: 国家重点基础研究规划项目(G1999012012); 国家自然科学基金项目(30100139; 30170742); 中国科学院知识创新工程项目(kzxc2-211.403)。

作者简介: 周毅(1968-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事贝类生理生态学研究。E-mail: yizhou@ms.qdio.ac.cn

通讯作者: 杨红生。

四十里湾位于黄海北部, 烟台东面, 是栉孔扇贝的重要养殖基地。近几年来, 养殖栉孔扇贝出现大规模死亡, 有报道认为与扇贝的过度开发有关^[5]。本文运用生物沉积法在四十里湾养殖海区现场对栉孔扇贝的生长余力和C、N、P元素收支进行了研究, 旨在为可持续发展的扇贝养殖提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 站位设置

于烟台四十里湾贝类养殖海区内, 共设8个站位(图1), 各站位水深为: S1 7 m, S2 5 m, S3 8 m, S5 12 m; D1 12 m, D2 9 m, D3 14 m, D4 16 m。各站实验时间为: S1~S5 分别为1998年6月14~25日, 6月18~26日, 6月19~28日及7月4~17日; D1~D4 分别为1998年7月3~10日, 7月10~15日, 7月4~16日及7月10~15日。

1.2 实验扇贝

取自四十里湾各养殖海区(表1)。I、II龄栉孔扇贝壳高分别为 (41.1 ± 4.1) mm和 (60.9 ± 8.2) mm。

1.3 实验装置

沉积物捕集器如图2所示。在距PVC圆桶口3 cm(I龄扇贝)及5 cm(II龄扇贝)处各放置1层

孔径约 1 cm 的尼龙网片。实验前,先使扇贝(事先除去贝壳上肉眼可见的污损生物)均匀固着在第 2 层丝网上。PVC 桶中所用 I 龄扇贝为 18 个, II 龄 9 个。每个站均设不放扇贝的圆桶作对照(丝网上只放适量的扇贝壳)。将圆桶固定在较空旷的筏架上(周围 20 m 内无养殖),使圆桶口离水面约 2 m。

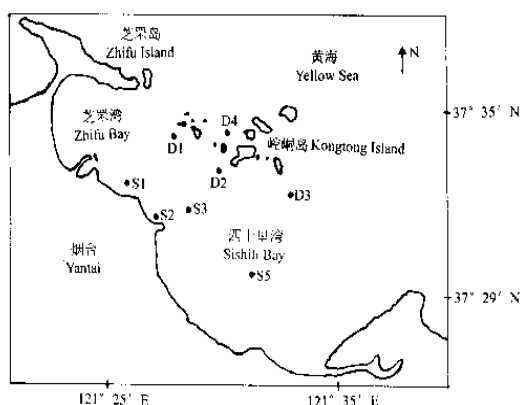


图 1 四十里湾站位设置

Fig. 1 Stations in Sishili Bay (north Yellow Sea)

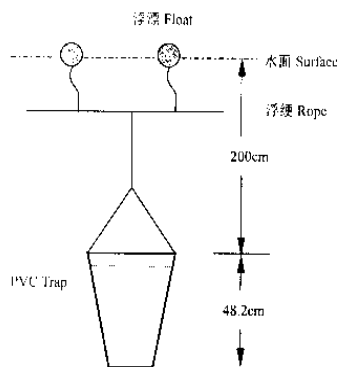


图 2 扇贝生物沉积捕集器

Fig. 2 Trap for collection of biodeposits produced by scallops

1.4 实验方法

1.4.1 海水项目测定 测定海水中的总悬浮颗粒物(TPM)、颗粒有机质(POM)、颗粒有机碳(POC)、颗粒有机氮(PON)和颗粒总磷(PP)的质量浓度。用事先于 500 °C 灼烧 3 h 并计重的 GF/C 滤膜(直径 4.7 cm)过滤 1~3 L 水样。TPM, 用蒸馏水脱盐, 滤膜于 70 °C 干燥 24 h, 称重以测定。POM, 即不含灰干重, 用传统的灰化前后重量差法测定。PP 用经改进的 Solórzano & Sharp 法^[6]测定, 即用 MgCl₂ 代替 MgSO₄ 作为灰化助剂^[7~8]。POC 和 PON 用

Perkin-Elmer(240C 型)CHN 元素分析仪测定, 分析前将滤膜放在干燥器中用 HCl 烟雾去除碳酸盐。同时测定海水水温、pH、盐度、溶解氧。

1.4.2 扇贝及沉积物 沉积物捕集器在海水中放置一定时间后, 取出并带回实验室, 取出扇贝, 静置 5 h, 让水中的悬浮颗粒物充分沉淀下来, 虹吸出多余海水, 收集沉积物, 用蒸馏水冲洗去盐后烘干(60 °C, 4 d)。分别测量圆桶中扇贝壳高及软体干重(60 °C, 4 d)。分析所收集沉积物中的有机质含量(OM), 通过灰化前后的重量差计算(500 °C, 3 h); 沉积物用稀盐酸(0.1 mol/L)去碳酸盐后, 用 Perkin-Elmer(240C 型)CHN 元素分析仪测定沉积物中的有机碳(OC)和有机氮(ON); 沉积物中的无机磷(IP)、有机磷(OP)和总磷(TP)用经改进的灰化法进行^[7~8]。

1.5 参数的计算方法

根据生物能量学原理^[9]: $C = F + U + R + P$; 其中, C 为摄食能, F 为粪便能, U 为排泄能, R 为代谢能, P 为生长能; 设 A 为吸收能, 代表被生物体吸收的那部分摄食能, 那么: $A = C - F$; $S_{SFG} = A - (R + U)$ 。另外 2 个能量预算参数为 K_1 (总生长效率)、 K_2 (净生长效率), 被定义为^[10]: $K_1 = P/C = S_{SFG}/C$; $K_2 = P/A = S_{SFG}/A$ 。本研究中进行能量预算时使用如下能量转换因子: 1 mg POM = 20.78 J; 1 ml O₂ = 20.36 J; 1 mg NH₄⁺-N = 24.87 J; 1 mg Urea-N = 10.57 J^[11]。根据 1 mg 蛋白质 = 24.0 J^[12], 换言之, 含有 1 mg N 的蛋白质热值为 150 J。由此近似估计双壳贝类氨基酸排泄的能量损失。以上有关贝类的排泄率和氧消耗的数据根据周毅^[7]以及杨红生等^[13]所报道的数据进行计算。利用以上转换因子将双壳贝类对 POM 的摄食和排粪分别转换为贝类的 C 和 F , 将氧消耗转换为 R ; 将氨排泄和氨基酸的泄漏转换为 U 。

另外, 在测定贝类对 C、N 和 P 的摄食、排粪、排泄和吸收的基础上对这 3 种元素的生长余力和净生长效率进行了计算。 C 的排泄根据氧消耗估算, 即假定栉孔扇贝的平均呼吸商 $Q_R = 0.85$, 即 1 μmol O₂ = 0.85 μmol CO₂, 将氧消耗转换为 C 排泄, 这种方法在 C 元素的预算中已被广泛应用^[14]。

2 结果与分析

2.1 海区的水质特征

整个养殖海区盐度的变化很小(30.15 ~

30.65);表层水 pH 的变化为 7.86~8.36;表层水 DO 为 5.06~6.07 mg/L。实验期间海区的表层水温 17.8~20.9℃,底层水温为 14.1~17.6℃。表 2 列出了烟台四十里湾养殖海区海水的颗粒物特

征。在整个养殖海区, S1 站 POM、POC、PON 和 PP 含量最高; S2 站由于水浅,可能受潮流等影响较大, C_{TPM} 很高, C_{POM}/C_{TPM} 值较低;担岛—崆峒岛一带海区 C_{TPM} 较低。

表 1 栉孔扇贝的规格

Table 1 Sizes of *C. farreri* individuals

站 位 Station	I 龄栉孔扇贝 One-year-old scallop			II 龄栉孔扇贝 Two year-old scallop		
	壳高/(mm, ±SD) Shell height	干重/(g·ind ⁻¹) Dry weight	软体干重/(g·ind ⁻¹) Soft tissue weight	壳高/(mm, ±SD) Shell height	干重/(g·ind ⁻¹) Dry weight	软体干重/(g·ind ⁻¹) Soft tissue weight
S1	41.2±3.2	4.29	0.42	55.1±4.5	12.1	1.51
S2	39.2±3.2	3.79	0.39	—	—	—
S3	39.7±3.5	3.99	0.40	—	—	—
S5	40.8±4.3	4.28	0.39	71.8±5.0	19.1	2.30
D1	43.0±4.5	4.86	0.44	55.9±3.4	10.6	1.55
D2	42.3±4.0	4.85	0.54	—	—	—
D3	41.5±2.9	4.55	0.60	58.9±5.3	13.6	2.03
D4	42.3±2.5	4.76	0.64	62.6±5.1	14.9	2.14
总平均 Mean	41.1±4.1	4.42±0.38	0.48±0.10	60.9±8.2	14.1±2.9	1.91±0.32

注:“—” 未测 Not detected; SD—标准偏差 Standard deviation;下同 The same below.

表 2 四十里湾养殖海区海水悬浮物及其化学组成

Table 2 Suspended particulate matter and their chemical composition in raft culture areas in Sishili Bay

站 位 Station	$C_{TPM}/$ (mg·L ⁻¹)	$C_{POM}/$ (mg·L ⁻¹)	C_{POM}/C_{TPM} %	$C_{POC}/$ (mg·L ⁻¹)	$C_{PON}/$ (μg·L ⁻¹)	$C_{PP}/$ (μg·L ⁻¹)	C_C/C_N %	C_N/C_P %	C_C/C_P %
D1	1.69±0.38	0.68	59.2	0.25	33.0	7.4	8.8	9.9	87.4
D2	2.00±0.49	0.85	59.5	0.33	33.5	9.5	11.5	7.8	90.1
D3	1.46±0.43	0.51	51.4	0.19	24.1	4.9	9.2	10.9	100.5
D4	2.26±0.68	0.79	46.5	0.28	31.3	6.6	10.4	10.6	110.2
S1	4.15±1.05	1.85	49.4	0.75	97.0	18.8	9.0	11.4	103.1
S2	5.03±1.24	1.63	30.6	0.65	66.6	16.0	11.4	9.2	105.2
S3	3.57±0.91	1.43	41.3	0.57	61.7	14.0	10.8	9.8	105.5
S5	3.11±0.87	1.15	41.2	0.40	40.7	10.1	11.5	8.9	102.0
平均 Mean	2.91	1.11	47.4	0.43	48.5	10.9	10.3	9.8	100.5
SD	1.29	0.45	9.1	0.19	23.1	4.6	1.1	1.1	7.34

表 3 四十里湾养殖海区 I 龄栉孔扇贝的能量预算

Table 3 *Chlamys farreri* energy budgets of one-year-old scallop individuals in Sishili Bay

站 位 Station	$C/$ (J·ind ⁻¹ ·h ⁻¹)	$F/$ (J·ind ⁻¹ ·h ⁻¹)	$A/$ (J·ind ⁻¹ ·h ⁻¹)	$R/$ (J·ind ⁻¹ ·h ⁻¹)	$U/$ (J·ind ⁻¹ ·h ⁻¹)	$E_{Ammon}/$ (J·ind ⁻¹ ·h ⁻¹)	$S_{SG}/$ (J·ind ⁻¹ ·h ⁻¹)	K_1	K_2
I 龄栉孔扇贝 One-year-old scallop									
D1	10.2	3.14	7.1	6.64	0.500	0.737	-0.74	7.3	-10.4
D2	19.6	3.78	16.0	7.77	0.587	0.866	6.75	34.4	42.3
D3	14.3	4.24	10.2	7.01	0.640	0.944	1.58	11.1	15.6
D4	41.7	7.83	34.1	10.71	0.672	0.991	21.74	52.2	63.7
S1	44.1	7.90	36.5	11.16	0.488	0.719	24.08	54.6	66.1
S2	31.1	14.57	17.0	7.91	0.453	0.669	7.98	25.7	46.9
S3	35.5	10.28	25.6	9.21	0.467	0.688	15.23	42.9	59.5
S5	28.3	7.63	20.9	8.48	0.457	0.673	11.29	40.0	54.0
平均 Mean	28.1	7.42	20.9	8.61	0.533	0.786	10.99	31.7	42.2
SD	11.6	3.56	9.9	1.54	0.082	0.120	8.35	19.8	24.9
II 龄栉孔扇贝 Two-year-old scallop									
D1	45.3	9.62	35.7	11.7	0.64	0.85	22.51	49.7	63.0
D4	65.6	16.42	49.1	15.0	0.82	1.09	32.24	49.2	65.6
S5	50.0	13.60	36.4	15.9	0.87	1.15	18.49	37.0	50.8
平均 Mean	53.6	13.21	40.4	4.2	0.78	1.03	24.41	45.3	59.8
SD	8.7	2.79	6.2	1.8	0.10	0.13	5.77	5.9	6.5

注: C—摄食能 Ingested energy; F—粪便能 Fecal losses; A—吸收能 Absorbed energy; U—(氨)排泄能 Excreted (ammonia) energy; E_{Ammon} —(氨基酸)排泄能 Excreted (amino acid) energy; R—代谢能 Respiration energy; S_{SG} —生长余力 Scope for growth; K_1 —总生长效率 Gross growth efficiency; K_2 —净生长效率 Net growth efficiency.

2.2 能量收支和 C、N、P 元素收支

表3列出了四十里湾不同养殖海区栉孔扇贝的能量收支。养殖海区不同, S_{SFG} 差别较大。图3说明, S_{SFG} 和 K_2 与 S_{POM} 呈正相关而与 C_{POM}/C_{TPM} 无显著关系。在 S1 站 C_{POM} 最高, S_{SFG} 也最高; 在 K1 站, S_{SFG} 最低且呈现负值, 而该海区的 C_{POM} 也相当低。I 龄栉孔扇贝对 C、N、P 的生长余力值 S_{SFG-C} 、 S_{SFG-N} 、 S_{SFG-P} 分别与 C_{POC} 、 C_{PON} 、 C_{PP} 呈较明显的正相关关系(图4)。在 D1、D2、D3 站位, S_{SFG-N} 出现了负值现象, 在 D1、D3 站位, S_{SFG-P} 出现负值。在 S1 站位 S_{SFG-C} 、 S_{SFG-N} 和 S_{SFG-P} 均最高, 而该海区的 C_{POC} 、 C_{PON} 和 C_{PP} 也最高。表5列出了 I 龄栉孔扇贝和 II 龄栉孔扇贝对 C_{POC} 、 C_{PON} 和 C_{PP} 的摄食、吸收和利用。可以看出, 不同海区有相当大的差别; 在对 N 的生长余力的计算中, 如果仅考虑 NH_4^+-N 排泄, 而不考虑其他形态 N (如氨基酸尿素等) 的排泄, 那么就产生相当大的偏差, 可达 11% ~ 36%, 显然 S_{SFG-N} 越低, 可能产生的偏差就越大。这说明在饵料不足、扇贝生长受到限制的环境下, 进行 N 生长余力的计算必须考虑其他形态 N 的排泄。

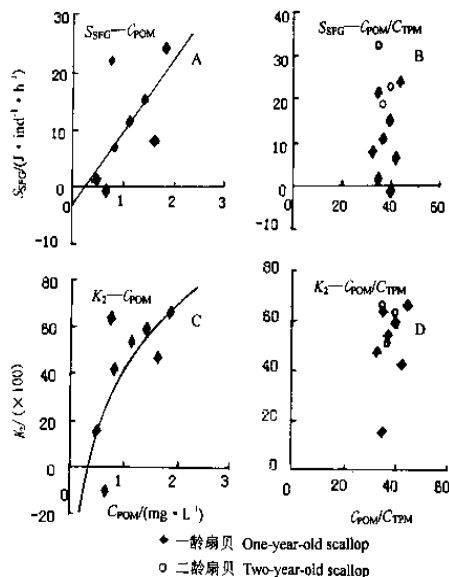


图3 栉孔扇贝生长余力和净生长效率与总悬浮颗粒物、颗粒有机物和饵料质量的关系

Fig.3 Relationships of S_{SFG} and K_2 of scallops with C_{POM} and C_{POM}/C_{TPM}

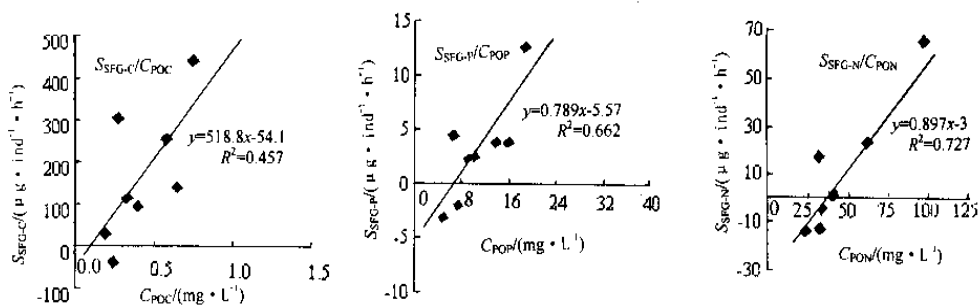


图4 四十里湾栉孔扇贝(I 龄)C、N、P 生长余力与 C_{POC} 、 C_{PON} 、 C_{PP} 的关系

Fig. 4 Relationships of S_{SFG-C} , S_{SFG-N} and S_{SFG-P} with C_{POC} , C_{PON} and C_{PP} respectively in Sishili Bay

3 讨论

捕集器内是否放置毒物或防腐剂尚存分歧。但一般认为在捕集器短期放置时间内(如1周以内)不加防腐剂时, 因微生物降解而造成测量的偏差低于加防腐剂时因浮游生物的污染而产生的偏差。本文中的扇贝能量代谢能根据实验室扇贝氧消耗的测定结果进行计算。这是基于许多双壳贝类氧消耗不受饵料数量和质量的影响。如巨扇贝 *Placopecten magellanicus* 的耗氧量不受饵料的数量和质量的影

响^[15]。其他双壳贝类如 *Aulacomya ater*、*Mytilus edulis* 和 *Spisula subtruncata* 等, 它们的氧消耗都不依赖于各种微藻和沉积物浓度的变化^[16]。但饵料数量和质量影响一些底内双壳贝类的氧消耗。MacDonald^[15]1998 年观察到巨扇贝的氮排泄和氧消耗一样, 也与饵料数量和质量关系不大。根据这一点, 本文将实验中测定的结果应用于现场扇贝的能量和元素收支中, 不会产生较大误差。

在海区现场扇贝的生长余力与饵料浓度也呈正相关关系。这说明饵料浓度是决定扇贝生长的主要

因素,而在四十里湾的一些海区, S_{SFG} 或 S_{SFG-C} 、 S_{SFG-N} 、 S_{SFG-P} 出现负值现象,这显然与低饵料浓度有关。事实上,这些海区扇贝的生长较差,死亡率也较高。在食物条件很差的情况下(低饵料数量和质量),许多双壳贝类的 S_{SFG} 会呈现负值,如 *M. edulis* 和 *Mya arenaria*^[14~15]。饵料密度的提高引起摄食率

的提高,而吸收效率保持不变,氧消耗、氮排泄变化很小,结果引起 S_{SFG} 的升高^[15]。在 C、N 生长余力的计算中经常忽略其他形态 N 的排泄^[4,9]。本文研究说明忽略其他形态 N 的排泄,可能会产生很大误差,尤其是在饵料不充足、扇贝生长受到限制的环境下。

表 5 栉孔扇贝对 C、N、P 的摄食、吸收与利用

Table 5 Ingestion, absorption and utilization of C, N and P by *Chlamys farreri* individuals

站位 Station	C						N								P					
	R_{FC}	R_{DC}	R_{AC}	R_{EC}	S_{SFG-C}	K_2	R_{FN}	R_{DN}	R_{AN}	R_{EN}	S_{SFG-N}	$S_{SFG-N}R_E/\%$	K_2	R_{FP}	R_{DP}	R_{AP}	R_{EP}	S_{SFG-P}	K_2	
I 龄栉孔扇贝 One-year-old scallop																				
D1	180	70	110	149	-39	-36	23.8	10.1	13.6	27.1	-13.5	-6.4	52	-99	5.3	2.17	3.14	5.13	-1.98	-63
D2	367	76	291	175	116	40	37.3	9.7	27.6	31.9	-4.3	4.0	194	-15	10.5	2.20	8.31	6.03	2.28	27
D3	256	71	185	157	27	15	32.4	11.4	21.0	34.7	-13.7	-4.7	66	-65	6.6	3.15	3.42	6.57	-3.14	-92
D4	710	167	544	241	303	56	79.5	25.6	53.9	36.5	17.4	26.9	54	32	16.7	5.36	11.30	6.90	4.40	39
S1	860	166	694	251	443	64	111.2	19.2	92.0	26.5	65.5	72.4	11	71	21.6	4.02	17.53	5.01	12.52	71
S2	596	277	319	178	141	44	61.1	33.4	27.6	24.6	3.0	9.4	210	11	14.6	6.14	8.49	4.65	3.84	45
S3	683	221	462	207	255	55	74.0	25.9	48.1	25.3	22.8	29.4	29	47	16.7	8.05	8.68	4.79	3.89	45
S5	473	187	286	190	96	34	48.1	21.5	26.6	24.8	1.8	8.2	360	7	12.0	4.86	7.11	4.69	2.43	34
平均 Mean	516	154	361	193	168		58.4	19.6	38.8	28.9	9.9	17.4	122		13.0	4.49	8.50	5.47	3.03	
SD	210	68	170	33	139		25.6	7.6	22.3	4.2	22.9	22.7	107		4.8	1.79	4.03	0.79	4.18	
II 龄栉孔扇贝 Two-year-old scallop																				
D1	802	173	629	261	368	58	106	25.3	80.6	34.9	45.7	54.8	20	57	23.7	5.95	17.7	8.7	9.05	51
D4	1118	315	804	335	469	58	125	46.7	78.3	44.7	33.6	45.2	35	43	26.2	9.46	16.8	11.1	5.60	33
S5	837	289	548	355	193	35	85	32.1	53.1	47.4	5.7	18.1	215	11	21.2	8.96	12.2	11.8	0.42	3
平均 Mean	919	259	660	317	343		105	34.7	70.7	42.3	28.3	39.4	90		23.7	8.12	15.6	10.6	5.02	
SD	142	62	107	40	114		14	7.7	10.8	4.6	14.5	13.5	77		1.8	1.34	2.1	1.2	3.07	

注: R_{FC} 、 R_{FN} 、 R_{FP} —POC、PON 和 PP 的摄食速率; Ingestion rates of POC, PON and PP; R_{DC} 、 R_{DN} 、 R_{DP} —POC、PON 和 PP 的生物沉积速率; Biodeposition rates on basis of POC, PON and PP; R_{AC} 、 R_{AN} 、 R_{AP} —POC、PON 和 PP 的吸收速率; Absorption rates on basis of POC, PON and PP; R_{EC} 、 R_{EN} 、 R_{EP} —C、N、P 的排泄速率; C、N 和 P excretion rates; S_{SFG-C} 、 S_{SFG-N} 、 S_{SFG-P} —C、N 和 P 生长余力; C、N 和 P scopes for growth. 以上单位均为 $\mu\text{g}\cdot\text{ind}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$; All above parameters are expressed in $\mu\text{g}\cdot\text{ind}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$; S_{SFG-N} —一只考虑氨氮排泄时的生长余力; S_{SFG} with only $\text{NH}_4\text{-N}$ excretion considered; RE—仅考虑氨氮排泄时对 S_{SFG-N} 产生的误差。Relative error in S_{SFG} calculation when $\text{NH}_4\text{-N}$ excretion is considered only.

本实验对栉孔扇贝 S_{SFG} 的计算也说明排泄能在吸收能中所占比例甚小。然而,在扇贝的 N 预算中, N 排泄却占据着相当大的比例。这似乎说明研究贝类在沿岸生态动力学中所扮演的角色时,仅仅研究贝类的能量收支显然是不够的,尤其是在营养不很丰富的海区,对贝类在生态系统营养动力学中作用的研究更为重要。

参考文献:

- [1] Iglesias J I P, Urrutia M B, Navarro E, et al. Measuring feeding and absorption in suspension-feeding bivalves: an appraisal of the biodeposition method[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1998, 219: 71-86.
- [2] Cranford P J, Grant J. Particle clearance, absorption of phytoplankton and detritus by the sea scallop *Placopecten magellanicus*

(Gmelin)[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1990, 137: 105-121.

- [3] Bayne B L. The physiology of suspension feeding by bivalve mollusks: an introduction to the Plymouth "TROPHEE" workshop [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1998, 219: 1-19.
- [4] Grant J, Cranford P J. Carbon & nitrogen scope for growth as a function as diet in the sea scallop *Placopecten magellanicus*[J]. J Mar Biol Ass UK, 1991, 71: 437-450.
- [5] 张福绥, 杨红生. 山东沿岸夏季栉孔扇贝大规模死亡原因的分析[J]. 海洋科学, 1999, 1: 1-4.
- [6] Solórzano L, Sharp J H. Determination of total dissolved phosphorus and particulate phosphorus determination in natural waters [J]. Limnol Oceanogr, 1980, 25: 754-758.
- [7] 周 毅. 滤食性贝类筏式养殖对浅海生态环境影响的基础研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2000.
- [8] 周 毅, 张福绥, 马锡年, 等. 灰化法磷测定中灰化助剂的作用: 以焦磷酸钠作为磷标样[J]. 海洋学报, 2001, 3(5): 98-104.

- [9] Griffiths C L, Griffiths R J. Bivalvia[A]. Animal Energetics, Vol. 2[M]. New York: Academic Press, 1987. 1-88.
- [10] Bayne B L, Newell R C. Physiological energetics of marine molluscs [A]. The Mollusca, Vol. 4 [M]. New York: Academic Press, 1983. 407-515.
- [11] Brafield A E, Llewellyn M J. Animal Energetics[M]. London: Blackie, 1982.
- [12] Gnaiger E. Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption[A]. Polarographic oxygen sensors Aquatic and Physiological Applications [M]. Berlin: Springer, 1983. 337-345.
- [13] 杨红生, 张涛, 王萍, 等. 温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及排泄率的影响[J]. 海洋学报, 1998, 20(4): 91-96.
- [14] Smaal A C, Vonck A P M A. Seasonal variation in C, N and P budgets and tissue composition of the mussel *Mytilus edulis*[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1997, 153: 167-179.
- [15] MacDonald B A. Physiological responses of infaunal (*Mya arenaria*) and epifaunal (*Placopecten magellanicus*) bivalves to variations in the concentration and suspended particles. I. Feeding activity and selection. II. Absorption efficiency and scope for growth[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1998, 219: 127-141.
- [16] Stuart V. Absorbed ration, respiratory costs and resultant scope for growth in the mussel *Aulacomya alter* (Molina) fed on a diet of kelp detritus of different ages[J]. Mar Biol Lett, 1982, 3: 289-306.

Physio-ecological characteristics of scallop *Chlamys farreri* measured by biodeposition method in situ: scope for growth and C, N and P budgets

ZHOU Yi, YANG Hong-sheng, ZHANG Fu-sui

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

Abstract: Scope for growth (SFG), and C, N and P budgets of scallop *Chlamys farreri* were determined in situ in Sishili Bay based on biodeposition method. Sishili Bay, being a booming scallop culture sea area, is located in North Yellow Sea, to the east of Yantai city (121°25' - 121°35'N, 37°29' - 37°35'E). The results show that the S_{SFG} varies greatly at different shellfish culture areas (-0.74~24.08) J/(ind·h), and is mainly controlled by C_{TPM} with a positive correlation between them. The C, N and P scopes for growth (S_{SFG-C} , S_{SFG-N} and S_{SFG-P}) are also positively and highly correlated with POC, PON and PP concentrations, respectively. In the calculation of S_{SFG} , if NH_4^+-N is considered only without other forms of N, the relatively significant errors may occur in the range of 11%~36%. Especially, when food supply is not enough and the growth of scallop is constrained, the other forms of N must be considered. In scallop suspension raft-culture sea, if scallops are cultivated too intensively, the growth of the scallops may be impeded.

Key words: *Chlamys farreri*; scope for growth; energetics; element budget; Sishili Bay (north Yellow Sea)

Corresponding author: YANG Hong-sheng.