

桑沟湾养殖栉孔扇贝食物来源研究——脂肪酸标志法

许 强^{1,2}, 杨红生¹, 王 红^{1,2}, 高 菲^{1,2}

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 运用脂肪酸标志法分析了桑沟湾养殖栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 春、夏季食物来源组成。结果表明, 桑沟湾养殖栉孔扇贝饵料组成中含有硅藻类、细菌、大型绿藻类、鞭毛藻类等饵料来源, 且各种饵料来源比例具有较显著的季节变化。采样期间硅藻脂肪酸标志 16:1/16:0 (相对质量分数比, 下同) 从 0.91 降至 0.45, 表明扇贝硅藻类饵料来源比例呈逐渐下降趋势; 细菌脂肪酸标志 18:1n-7/18:1n-9 比值从 0.31 升至 0.90, 奇数碳、支链脂肪酸相对质量分数从 2.15% 升至 3.28%, 表明扇贝细菌类饵料来源比例呈逐渐上升趋势; 绿藻脂肪酸标志 $\Sigma(18:2n-6+18:3n-3)$ 质量分数从 2.78% 升至 5.77%, 表明大型绿藻来源有机质饵料比例逐渐上升。栉孔扇贝脂肪酸组成中较高比例的 DHA 表明扇贝摄取了富含 DHA 的有机质, 如鞭毛藻类、微型浮游动物等。栉孔扇贝食物来源的季节变化很可能是由水体中潜在食物来源的季节变化所导致。

关键词: 脂肪酸标志法; 栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*); 食物来源

中图分类号: Q493.5; Q547; Q958.885.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-3096 (2007) 09-0078-07

滤食性贝类是近岸海洋生物群落中的重要类群之一, 同时也是中国重要的海水养殖对象之一。滤食性贝类的食物来源较复杂, 并且很大程度上依赖于其栖息环境。环境中有机质来源的多样性使得贝类食物来源组成十分复杂。水体中的悬浮颗粒如各种粒径大小的浮游生物、水底再悬浮的有机质、碎屑、粪便颗粒以及微生物等都可以被滤食性贝类所摄食^[1-3]。滤食性贝类复杂的食物来源及其与环境的密切关系吸引了许多研究者的目光。研究确定双壳贝类复杂的食物组成可为进一步了解它们的摄食生理提供基础数据。

脂肪酸标志法属于生物标志法的一种, 即通过特定化合物在生物体内的特异性表达来指示生物可能摄取的食物。该方法的理论基础是: 食物中的特定脂肪酸可被相对保守地同化至消费者体内, 从而指示生物摄取的饵料种类。

本研究选择桑沟湾养殖的栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 为研究对象, 运用脂肪酸标志法分析了其春、夏季食物来源组成情况及其变动状况, 揭示了栉孔扇贝饵料组成与养殖海区潜在食物源之间的关系。

1 材料与方法

1.1 实验海区

实验在中国北方典型的贝类养殖海区——桑沟湾贝藻混养区进行。桑沟湾位于山东东部 (37°01'~37°09'N, 122°24'~122°35'E), 属半开放型海湾, 面积大约 132 km², 湾口宽 10 km, 与黄海相连。湾内平均水深 7.5 m (最深 15 m)。该湾地势平坦, 是中国北方的一个重要养殖基地。该湾分为海带养殖区, 贝类养殖区和海带贝类混养区 3 部分。

收稿日期: 2007-06-08; 修回日期: 2007-07-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目 (1999012012);

国家支撑计划资助项目 (2006BAD09A02); 国家高技术研究与发展计划资助项目 (2006AA100304)

作者简介: 许强 (1980-), 男, 山东青岛人, 博士, 研究方向: 养殖生态学, 电话: 0532-82898705, E-mail: xuqiangcas@126.com

1.2 样品采集与处理

于2006年2月24日,4月27日,5月30日和8月9日,在桑沟湾贝藻混养区3个站位分别取3笼栉孔扇贝(2龄),冷藏(加冰)运回青岛。同时在采样地点取100 mL水样收集至聚乙烯瓶中,200 μm 筛绢过滤后加入4 mL 50%戊二醛溶液固定,用于总异养细菌量测定。扇贝用砂滤海水清洗干净,去除污损生物,随机取12~30只测定壳高及肥满指数。其它扇贝放于砂滤海水中清养24 h排空胃含物后解剖,取肝胰脏组织进行脂肪酸组成测定(4只贝合并, $n=3$)。组织用纯水润洗后冷冻干燥48 h,密封保存于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 待分析。

1.3 脂肪酸分析

1.3.1 试剂与仪器

试剂:二氯甲烷、甲醇、正己烷(天津四友试剂有限公司,色谱纯);无水乙醚;硫酸(优级纯);冰乙酸;4% I_2 -甲醇显色液;三硬脂酸甘油酯(TAG)标准品,脂肪酸甲酯标准品 Cod Liver Oil (Sigma Co., USA)。

仪器:岛津 GC-9A 气相色谱仪。

1.3.2 分析步骤

脂肪酸分析参照 Parrish^[4]的方法。

1.3.2.1 总脂抽提

在螺口玻璃离心管中(盖子加 Teflon 内垫)加入0.5 g 扇贝干样、10 mL 体积比为2:1的二氯甲烷与甲醇的混合液和2.5 mL 超纯水,漩涡混合30 s,超声(冰浴)提取5 min。离心5 min (3000 r/min),取下层相。将离心管中加入二氯甲烷5 mL,重复提取一次,下层相与第一次提取相合并。用氮气吹干($40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴),称质量得到总脂质量;加入0.5 mL 二氯甲烷重溶,置 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 待下一步分析。

1.3.2.2 脂族分离

在硅胶 G 薄层层析板(20 cm $\times$ 20 cm)上点总脂样品、TAG 标准品,以体积比为90:10:1的正己烷、无水乙醚和乙酸混合液为展层剂,分离总脂中的甘油三酯(TAG)。喷质量体积分数为4%的 I_2 -甲醇溶液显色,切下黄褐色 TAG 部分转移至玻璃试管中,加入3 mL 二氯甲烷重新提取。离心5 min (2 500 r/min),取上层澄清相至小玻璃瓶中,用氮气吹干($40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴)。加适量二氯甲烷至终浓度10 g/L。

1.3.2.3 脂肪酸甲酯(FAME)制备

吸取含脂量1~5 mg的脂肪样品至色谱瓶中,用氮气吹干溶剂,加入500 μL 质量体积分数为2%的硫酸/甲醇溶液,250 μL 正己烷,充氮气拧紧盖子后振荡, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴2 h。加入250 μL 正己烷,125 μL 超纯水,充分振荡后静置,吸取上层相至小试管中。加500 μL 正己烷于下层相,重复提取一次,上层相与第一次的合并。吹氮气浓缩至合适体积。充氮气,置 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 待气相色谱测定。

1.3.2.4 色谱条件

DB-FFAP 毛细管色谱柱(30 m $\times$ 0.32 mm);载气为氢气,流速1.2 mL/min;进样口温度 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$;进样体积为1 μL 。单个色谱峰对照 Cod Liver Oil (Sigma Co., USA) 标准品定性。

1.3.3 脂肪酸标志

本研究所选择的脂肪酸标志如表1所示,主要指示6类饵料来源

1.4 总异养菌数测定

水体总异养细菌量采用流式细胞仪测定,步骤如下:将水样用超声清洗机(60 W)匀化2 min;吸取100 μL 稀释至500 μL ,加入5 μL SYBRGREEN (用超纯水稀释100倍),避光染色20 min;流式细胞仪计数。

表1 脂肪酸标志种类及指示来源

Tab.1 Fatty acid biomarkers and their indicated food sources

脂肪酸标志	指示来源
16:1/16:0 (相对质量分数比值)	硅藻类
20:5n-3 (EPA)	硅藻类
18:1n-7/18:1n-9 (相对质量分数比值)	细菌
奇数碳及支链脂肪酸 (Odd&br FAs)	细菌
22:6n-3(DHA)	鞭毛藻类; 微型浮游动物或幼体
Σ (18:2n-6+18:3n-3)	绿藻

1.5 统计分析

用 SPSS 13.0 软件分析相关数据，差异性检验采用单因子方差分析法（ANOVA，Tukey 检验）。置信水平取 95%。

2 实验结果

2.1 基本生物学指标季节变化

春季是扇贝快速生长的时期，特别是 3 月到 5 月，扇贝的壳高和肥满指数(肥满指数=（软组织干质量/干壳质量）×100)增长迅速（表 2）。

2.2 脂肪酸组成季节变化

采样期间扇贝脂肪酸相对质量分数组成见表 3。

2 月份和 4 月份扇贝肝胰脏中不同饱和度脂肪酸组成

表 2 采样期间水温及栉孔扇贝壳高和肥满指数

Tab.2 Water temperature, shell height and condition index of *C. farreri* during sampling times

时间 (月-日)	水温 (℃)	样本数 (个)	壳高 (cm)	肥满指数
02-24	3.4	12	51.4±4.0	8.67±1.20
04-27	7.7	30	54.7±3.9	11.02±0.50
05-30	14.2	15	56.1±5.0	12.21±2.41
08-09	22.1	30	56.2±3.5	9.33±0.92

表 3 扇贝脂肪酸组成的季节变化

Tab.3 Seasonal change of fatty acid composition of *C. farreri*

脂肪酸	脂肪酸相对质量分数 (%)			
	2 月 24 日	4 月 27 日	5 月 30 日	8 月 9 日
饱和脂肪酸				
14 : 0	6.57±0.16	4.85±0.28	5.55±0.27	5.26±0.47
15 : 0	0.34±0.02	0.33±0.00	0.41±0.01	0.50±0.03
16 : 0	11.09±0.98	12.09±0.22	16.42±1.05	23.51±1.19
17 : 0	0.33±0.02	0.44±0.00	0.59±0.05	0.72±0.08
18 : 0	1.83±0.17	2.47±0.13	3.20±0.35	3.93±0.29
20 : 0	0.88±0.09	0.77±0.04	0.98±0.10	0.49±0.11
单不饱和脂肪酸				
14 : 1n-5	0.11±0.01	0.11±0.00	0.16±0.01	0.21±0.03
16 : 1n-7	10.03±0.43	8.22±0.09	8.42±0.21	10.65±0.52
16 : 1n-5	0.25±0.01	0.23±0.01	0.26±0.01	0.22±0.01
17 : 1n-9	0.19±0.00	0.24±0.00	0.24±0.00	0.29±0.02
17 : 1n-8	0.34±0.04	0.36±0.01	0.42±0.02	0.35±0.04
18 : 1n-9	8.40±0.32	7.57±0.25	7.15±0.32	7.17±0.34
18 : 1n-7	2.59±0.11	3.77±0.13	4.87±0.55	6.45±0.25
20 : 1n-9	1.27±0.16	1.10±0.01	1.13±0.02	0.86±0.36
20 : 1n-7	0.86±0.14	0.86±0.06	0.88±0.06	1.02±0.11
多不饱和脂肪酸				
16 : 2n-4	1.62±0.02	1.30±0.03	1.13±0.14	0.80±0.02
16 : 3n-3	2.73±0.00	1.87±0.04	1.49±0.07	0.98±0.11
16 : 4n-3	2.06±0.24	1.63±0.02	0.93±0.17	0.38±0.06
18 : 2n-6	1.23±0.18	1.60±0.05	2.06±0.14	2.36±0.03
18 : 2n-4	0.64±0.02	0.83±0.01	0.75±0.08	0.47±0.02
18 : 3n-6	0.28±0.01	0.28±0.00	0.32±0.02	0.32±0.01
18 : 3	0.53±0.01	0.41±0.06	0.45±0.09	0.21±0.04

表 3(续)

脂肪酸	脂肪酸相对质量分数 (%)			
	2 月 24 日	4 月 27 日	5 月 30 日	8 月 9 日
18 : 3n-3	1.54±0.35	2.39±0.06	2.92±0.21	3.41±0.16
18 : 4n-3	6.34±0.47	6.99±0.04	6.71±0.46	4.63±0.55
18 : 4*	0.37±0.02	0.30±0.00	0.23±0.00	-
20 : 2n-9	0.46±0.07	0.48±0.07	0.60±0.05	0.37±0.09
20 : 2n-6	0.23±0.00	0.24±0.01	0.30±0.01	0.32±0.03
20 : 3n-6	0.26±0.07	0.30±0.00	0.32±0.03	0.26±0.01
20 : 4n-6	0.58±0.16	0.50±0.03	0.62±0.01	0.68±0.03
20 : 3n-3	0.21±0.01	0.28±0.02	0.31±0.02	0.28±0.01
20 : 4n-3	0.87±0.13	0.88±0.01	0.99±0.03	0.81±0.01
20 : 5n-3	19.22±0.83	21.25±0.25	17.05±2.21	9.75±1.38
22 : 3n-9	1.06±0.05	1.09±0.01	0.87±0.07	0.59±0.05
22 : 4n-6	0.18±0.01	0.19±0.00	0.18±0.00	0.27±0.02
22 : 5n-3	0.31±0.01	0.41±0.01	0.38±0.02	0.40±0.00
22 : 6n-3	12.42±0.54	11.64±0.38	8.77±0.52	9.08±0.38
支链脂肪酸				
14-isobr	-	-	0.11±0.00	0.14±0.01
15-isobr	-	-	0.12±0.00	0.15±0.01
16-isobr	0.33±0.02	0.37±0.01	0.47±0.04	0.46±0.02
16-anteiso	0.35±0.00	0.40±0.00	0.44±0.03	0.43±0.01
17-isobr	0.26±0.02	0.36±0.02	0.33±0.01	0.24±0.04
脂肪酸总量 (%)	99.19±0.03	99.28±0.19	99.30±0.04	99.31±0.36
ΣSFA(%)	21.04 ^a ±0.94	20.94 ^a ±0.58	27.14 ^b ±1.77	34.41 ^c ±2.15
ΣMUFA(%)	23.71 ^a ±0.06	22.10 ^a ±0.16	23.11 ^a ±0.89	26.87 ^b ±0.84
ΣPUFA(%)	53.16 ^a ±0.83	54.87 ^a ±0.69	47.36 ^b ±2.72	36.39 ^c ±2.25

注：*表示同分异构体；不同上标字母表示相对质量分数差异显著($P < 0.05$)

无显著差异,而 5 月份和 8 月份饱和脂肪酸 SFA 显著升高,多不饱和脂肪酸(PUFA)比例则显著降低($P < 0.05$)。16:0 为 SFA 中最主要的成分,其相对质量分数从 2 月份的 11.09% 升至 8 月份的 23.51%。16:1n-7 和 18:1n-9 是单不饱和脂肪酸(MUFA)中最重要的成分,其相对质量分数则比较稳定。EPA 和 DHA 是多不饱和脂肪酸中质量分数最高的两种组分,其中,EPA 最高值出现在 4 月份,之后则逐月下降;DHA 质量分数从 2 月份到 5 月份连续下降,8 月份质量分数稍有升高。扇贝脂肪酸组成季节变化的另一个特点是 n-3 系列脂肪酸质量分数从 5 月份的 47% 降至 8 月份的 29%;n-6 系列脂肪酸在总脂肪酸中比例始终处于较低水平,且其相对质量分数在整个采样期间呈升高趋势,但升幅较小(2.8%~4.2%) (图 1)。

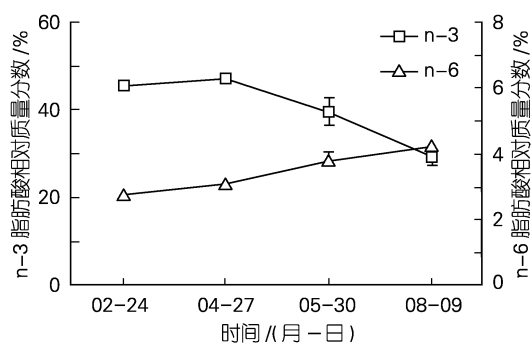


图 1 扇贝 n-3 和 n-6 系列脂肪酸相对质量分数的季节变化
Fig.1 Seasonal changes of n-3 and n-6 fatty acid contents in *C. farreri*

2.3 脂肪酸标志季节变化

扇贝肝胰脏中六类脂肪酸标志季节变化情况如图 2。2 月份到 8 月份硅藻脂肪酸标志 16:1/16:0 比值从 0.91 连续下降至 0.45, EPA 质量分数也连续下降, 这可能预示硅藻在扇贝饵料组成中的比例降低。细菌类脂肪酸标志 Odd&br FAs 相对质量分数由 2 月份的 2.15% 逐步升至 8 月份的 3.28%, 18:1n-7/18:1n-9 也从 0.31 升至 0.90, 这表明扇贝饵料组成中细菌饵料的比例在逐渐升高。实验过程中, 绿藻脂肪酸标志 $\Sigma(18:2n-6+18:3n-3)$ 在采样期间呈上升趋势, 表明采样期间扇贝饵料组成中可能有绿藻来源有机质, 且其饵料比例逐渐增大。

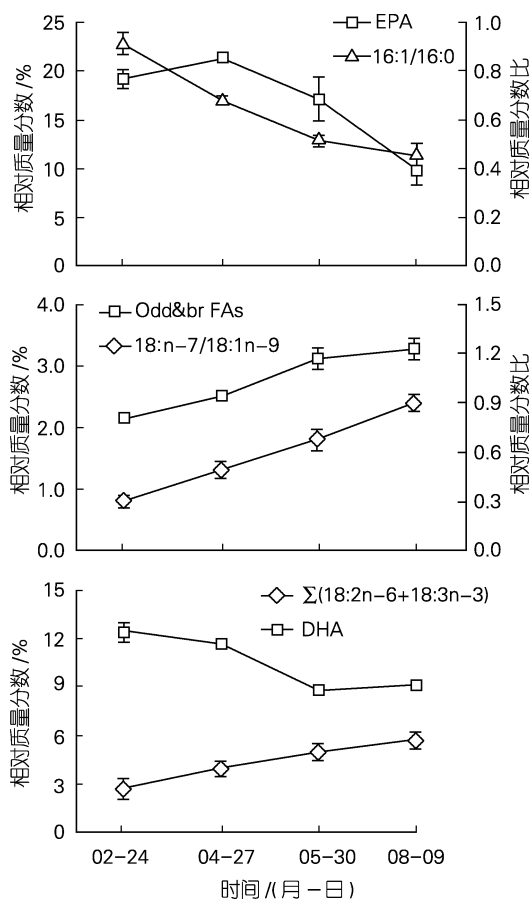


图 2 扇贝脂肪酸标志数值的季节变化

Fig.2 Seasonal changes of fatty acid biomarker contents in *C. farreri*

2.4 水体总异养菌数季节变化

采样期间混养区水体总异养细菌含量季节变动情况见图 3。2 月份到 5 月份, 水体总异养细菌量有较小幅度增加 ($2.13 \times 10^6 \sim 3.27 \times 10^6$ 个/mL), 而 8 月份, 水体总菌量则剧增至 17.94×10^6 个/mL

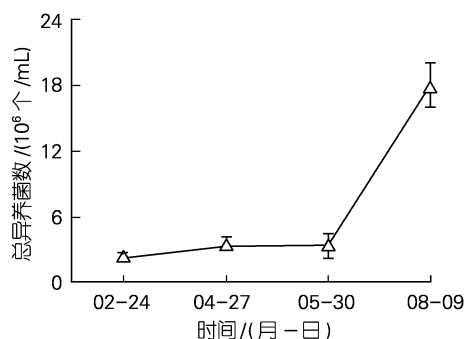


图 3 混养区水体总异养细菌数量的季节变化

Fig.3 Seasonal change of total heterotrophic bacterial amount in the polyculture area

3 讨论

肝胰脏是双壳贝类脂质的主要贮存器官, 可以对不同脂肪酸组成的饵料产生显著响应^[5,6], 因此本研究选择贝类肝胰脏作为脂肪酸标志的分析材料。同时, 有研究表明结构性脂类 (主要是磷脂类) 具有相对稳定的脂肪酸组成, 它的存在能掩盖食物对生物组织脂肪酸组成的影响, 而贮存脂类则可以将这种影响较显著地表达出来^[7]。双壳贝类的贮存脂主要是 TAG, 因此本研究对栉孔扇贝脂肪酸标志的分析重点放在贮存脂 TAG 上。

脂肪酸标志分析结果表明, 2 月份到 8 月份硅藻类饵料在扇贝食谱中所占比例逐渐降低。根据刘慧等^[8]的浮游植物调查结果, 2 月份至 5 月份, 由于湾内的海带养殖对营养盐的控制作用, 浮游硅藻数量也呈连续下降趋势, 5 月底至 6 月份湾内养殖海带已大部分收割, 但由于水体贫营养状况仍未及时改善, 浮游硅藻类数量仍旧较低。该结果与硅藻脂肪酸标志数据相吻合。EPA 作为另外一种硅藻脂肪酸标志, 其含量自 4 月份也开始下降, 笔者认为该现象部分归因于水体硅藻数量降低, 但也存在另外一种可能, 即 4, 5 月份扇贝肝胰脏中储存的 PUFA 向性腺转移以促进性腺的成熟, 为 6 月份的繁殖做准备。栉孔扇贝 TAG

中 n-3 系列脂肪酸在 4 月份以后含量也呈下降趋势,这也很可能与扇贝性腺发育过程中多不饱和脂肪酸向性腺的转移有关。因此,在本研究中,EPA 脂肪酸标志对硅藻类饵料的指示作用可能不如 16:1/16:0 更为准确。

扇贝组织中细菌脂肪酸标志含量在采样期间呈逐步上升趋势,说明细菌在其饵料组成中比例逐渐增加,这与水体中总异养菌数变化趋势一致。2 月份至 5 月份,水体总菌量缓慢增加,而 8 月份则骤增至 17.9×10^6 个/mL 扇贝通常不能利用 $0.3 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 粒径范围的浮游细菌,但悬浮颗粒物上的附着细菌则能随较大的颗粒物一起被扇贝摄入^[9],它们因此成为扇贝饵料来源的一部分。

脂肪酸标志显示,采样期间扇贝饵料组成中可能有绿藻类有机质的贡献,且其比例随水温的升高而增加。桑沟湾 5 月份之后水温逐渐升高,养殖筏架上生长有较茂盛的野生大型绿藻——缘管浒苔 (*Enteromorpha linza*) 和孔石莼 (*Ulva pertusa*) 等,它们可能通过碎屑释放也为养殖栉孔扇贝提供了一定量的饵料来源。同时,水体中的单细胞绿藻类在水温升高时也会大量繁殖,它们也可能是栉孔扇贝绿藻来源饵料的供应者。

桑沟湾栉孔扇贝 DHA 相对比例较高,因此推测桑沟湾扇贝摄食了富含 DHA 含量的饵料,可能是鞭毛藻类、原生动物、幼体或卵等。5 月份至 7 月份是许多种浮游生物和贝类的繁殖季节,网采浮游植物样品中也发现有许多卵细胞和浮游幼体。5 月份扇贝胃含物镜检结果也表明,大型硅藻类数量较少,而鞭毛藻类比例增加,同时也发现有卵细胞、D 形幼虫和浮游幼体等,它们很可能是扇贝 DHA 的重要来源。

致谢: 本文细菌样品测定得到赵三军的帮助和技术支持,寻山养殖集团为本实验提供海区 and 船只。在此对他们表示谢意!谨以此文献给已故的许信灵老师,实验所需样品采集是在他的协助下完成的。

参考文献:

- [1] Alldredge A L, Gotschalk C. Direct observations of the mass flocculation of diatom blooms: characteristics, settling velocities and formation of diatom aggregates [J]. **Deep-Sea Res**, 1989, 36: 159-171.
- [2] Passow U, Alldredge A L, Logan B E. The role of particulate carbohydrate exudates in the flocculation of diatom blooms [J]. **Deep-Sea Res**, 1994, 41: 335-357.
- [3] Crocker K M, Passow U. Differential aggregations of diatoms [J]. **Mar Ecol-Prog Ser**, 1995, 117: 249-257.
- [4] Parrish C C. Determination of total lipid, lipid classes and fatty acids in aquatic samples [A]. Arts M T, Wainman B C. **Lipids in Freshwater Ecosystems** [C]. New York: Springer-Verlag, 1999. 4-20.
- [5] Napolitano G E, Ackman R G. Anatomical distributions and temporal variations of lipid classes in sea scallops *Placopecten magellanicus* (Gmelin) from Georges Bank (Nova-Scotia) [J]. **Comparative Biochemistry and Physiology B**, 1992, 103: 645-650.
- [6] Caers M, Coutteau P, Sorgeloos P, *et al*. Impact of algal diets and emulsions on the fatty acid composition and content of selected tissues of adult broodstock of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) [J]. **Aquaculture**, 2003, 217: 437-452.
- [7] Pazos A J, Sanchez J L, Roman G, *et al*. Seasonal changes in lipid classes and fatty acid composition in the digestive gland of *Pecten maximus* [J]. **Comp Biochem Phys B**, 2003, 134: 367-380.
- [8] 刘慧, 方建光, 董双林, 等. 莱州湾和桑沟湾养殖海区浮游植物的研究 II [J]. **海洋水产研究**, 2003, 24: 20-28.
- [9] Bricelj V M, Shumway S E. Physiology: energy acquisition and utilization [A]. Shumway S E. **Scallops: biology, ecology and aquaculture** [C]. Amsterdam: Elsevier, 1991. 305-318.

Food sources of cultured scallop *Chlamys farreri* in Sanggou Bay: indicated by fatty acid biomarkers

XU Qiang^{1,2}, YANG Hong-sheng¹, WANG Hong^{1,2}, GAO Fei^{1,2}

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Received: Jun., 8, 2007

Key words: fatty acid biomarker; *Chlamys farreri*; food source

Abstract: Food sources of scallop *Chlamys farreri* cultured in Sanggou Bay from February to August (2006) were determined using fatty acid biomarkers. Scallop's diet consisted of diatoms, bacteria, flagellate and seaweed (Chlorophyta) originated organic matters. Diatom biomarker 16:1/16:0 declined from 0.91 to 0.45, which indicated that diatom food source declined during the sampling period; bacterial biomarkers 18:1n-7/18:1n-9 and odd & branched fatty acids increased from 0.31 and 2.15% to 0.90 and 3.28% respectively, which indicated the increase of bacterial food source in scallop's diet. Chlorophyta biomarker $\Sigma(18:2n-6+18:3n-3)$ increased from 2.78% to 5.77%, and it was suggested that the scallop may ingested some amount of organic matters derived of Chlorophyta in warm season. High level of 22:6n-3 (DHA) biomarker indicated that the scallop probably ingested food sources rich in DHA, such as flagellates, micro-zooplankton, larvae and eggs. Seasonal changes of scallop's diet probably was caused by the variation of potential food sources in the water.

(本文编辑: 刘珊珊)