

潮间带滩涂颗粒有机碎屑生物组成及其游离氨基酸分析

张其永 洪万树 陈仕玺 吴仁协 王琼

(厦门大学海洋与环境学院海洋系, 361005)

摘要 福建省福宁湾潮间带滩涂表层粉砂质粘土海泥中含有丰富的颗粒有机碎屑和粉砂颗粒。有机碎屑颗粒大小悬殊, 其长径 5.3~95.0 μm , 平均 $46.08 \pm 27.52 \mu\text{m}$ 。粉砂颗粒粒径 4.0~37.0 μm , 平均 $17.18 \pm 9.63 \mu\text{m}$ 。具有生物群落的颗粒有机碎屑包含拟铃虫(细弱拟铃虫、圆钝拟铃虫、肿状拟铃虫、百乐拟铃虫和妥肯拟铃虫)、底栖硅藻(圆筛藻、斜纹藻、布纹藻、舟形藻、斑条藻、卵形藻、菱形藻和筒柱藻)和细菌(微球菌密度 7.728×10^9 个细胞/g~ 13.136×10^9 个细胞/g), 偶见许水蚤卵粒和海洋线虫。应用柱前衍生高效液相色谱法测定了颗粒有机碎屑的游离氨基酸含量, 其总量为 385.3~569.7 $\mu\text{mol/kg}$, 平均 $473.24 \pm 62.40 \mu\text{mol/kg}$ 。15种游离氨基酸中以甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸、赖氨酸、谷氨酸和丙氨酸含量较高, 其百分组成分别为 16.41%、15.95%、13.32%、7.29%、6.96% 和 6.91%。研究结果表明, 在潮间带滩涂形成了颗粒有机碎屑、细菌(微球菌)、微型硅藻、原生动物(拟铃虫)和大弹涂鱼的食物链营养关系。

关键词 潮间带滩涂 颗粒有机碎屑 生物组成 游离氨基酸

中图分类号 S965; Q959.4 文献识别码 A 文章编号 1009-7075(2006)04-0071-06

Biological composition and FAA content of particulate organic detritus from mudflat of intertidal zone

ZHANG Qi-yong HONG Wan-shu CHEN Shi-xi
WU Ren-xie WANG Qiong

(Department of Oceanography, College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, 361005)

ABSTRACT Surface silt clay of intertidal mudflat in Fulin Bay of Fujian province contains plenty of particulate organic detritus and silt grain. The sizes of the particulate organic detritus vary greatly, from 5.3 μm to 95.0 μm in length, with the average $46.08 \pm 27.52 \mu\text{m}$. The sizes of the silt grain vary from 4.0 μm to 37.0 μm , with the average $17.18 \pm 9.63 \mu\text{m}$. The particulate organic detritus is a biological community which contains *Tintinnopsis* (*T. gracilis*, *T. rotundata*, *T. turgita*, *T. beroidea* and *T. tocaninensis*), benthonic diatoms (*Coscinodiscus*, *Pleurosigma*, *Gyrosigma*, *Navicula*, *Grammatophora*, *Cocconeis*, *Nitzschia* and *Cylindrothe*

国家自然科学基金资助项目(40476056)、福建省重大科技项目(2003N026)和福建省科技重大专项(2004S201-02)共同资助

收稿日期: 2005-09-13; 接受日期: 2006-02-20

作者简介: 张其永(1927), 男, 教授, 主要从事海洋鱼类生物学研究。E-mail: wshong@jingxian.xmu.edu.cn, T el: (0592) 2186495

ca) and bacteria (*Micrococcus*, 7.728×10^9 cells/g ~ 13.136×10^9 cells/g). Occasionally, eggs of *Schmackeria* and the marine nematode can also be found in particulate organic detritus. Free amino acids (FAA) content in particulate organic detritus were determined by using high performance liquid chromatography with pre-column derivation. The total content of FAA varied from 385.3 $\mu\text{mol/kg}$ to 569.7 $\mu\text{mol/kg}$, with the average $473.24 \pm 62.40 \mu\text{mol/kg}$. Among 15 FAA tested, the levels of glycine, proline, serine, lysine, glutamic acid and alanine were relatively high, with the corresponding percentages being 16.41%, 15.95%, 13.32%, 7.29%, 6.96% and 6.91%, respectively. The results showed that a food chain formed in the intertidal mudflat, which was composed of particulate organic detritus, bacteria (*Micrococcus*), micro-diatoms, protozoa (*Tintinnopsis*) and the mudskipper (*Boleophthalmus pectinirostris*).

KEY WORDS Intertidal mudflat Particulate organic detritus Biological composition
Free amino acids

颗粒有机碎屑 (Particulate organic detritus) 是许多海洋无脊椎动物和少数海洋鱼类的食物源, 它在碎屑食物链中起着重要作用。大多数海洋鱼类仔鱼均以活生物作为开口摄食的饵料, 但有些海洋鱼类如大弹涂鱼 (*Boleophthalmus pectinirostris*) 仔鱼开口摄食海泥中的颗粒有机碎屑 (张其永等 1988)。作者于 2004~2005 年在福建省霞浦县长沙村和台江村开展大弹涂鱼土池育苗和室内育苗研究, 采用福宁湾潮间带滩涂表层海泥投喂仔稚鱼, 证实海泥中的颗粒有机碎屑是大弹涂鱼仔鱼开口摄食的基础饵料之一 (张其永等 2005; 蔡珠金等 2005)。为了评估潮间带滩涂海泥中颗粒有机碎屑的营养价值, 本研究对福建省福宁湾粉砂质粘土 (Silty clay) 中的颗粒有机碎屑生物组成及其游离氨基酸组成进行了分析, 为大弹涂鱼人工育苗筛选适口饵料提供科学依据, 并为研究潮间带滩涂食物链提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 颗粒有机碎屑取样和镜检

采集福建省福宁湾潮间带滩涂表层海泥样品 (粉砂质粘土), 在高潮区设 5 个采样点, 间距为 100 m, 采样深度为 3 cm。用 5% 福尔马林液固定保存, 在 Olympus BX51 显微镜和 Leica DMIL 倒置显微镜下观察颗粒有机碎屑形态及其生物种类组成, 并显微拍照。原生动物拟铃虫种类参考王家楫和倪达书的分类方法鉴定 (Wang 等 1932; Nie 1934; Wang 1936; Nie 等 1947)。底栖硅藻种类鉴定参考金德祥等 (1982)。另取福尔马林液固定后的粉砂质粘土海泥样品制作涂片, 用番红染色, 自然风干后用中性树胶封片, 镜检观察颗粒有机碎屑中的微球菌 (薛廷耀等 1960)。

1.2 游离氨基酸分析

粉砂质粘土海泥样品自然风干后磨细过筛。称取 0.5 g 于 15 ml 聚丙烯离心管中, 5 ml 1 mol/L HCl 提取, 振荡混匀 0.5 h, 经 24 h 沉淀后离心, 取上清液, 同法再提取 1 次, 合并上清液, 1 mol/L NaOH 调节 pH 至 7~9, 过滤定容至 25 ml。取 10 μl 样品于衍生管, 加入 70 μl Waters AccQ-Fluor 硼酸盐缓冲溶液, 涡旋混匀, 加入 20 μl AccQ-Fluor 衍生剂, 保持涡旋 10 s, 室温放置 1 min 后用石蜡膜封口, 在 55 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱内加热 10 min, 过滤后进样分离分析。Waters 2695 型高效液相色谱仪配 2475 型荧光检测器, 进样量 10 μl , 激发波长 250 nm, 发射波长 395 nm, 柱温 37 $^{\circ}\text{C}$ 。游离氨基酸含量单位以 $\mu\text{mol/kg}$ (干质量海泥) 表示。

2 结果

2.1 粉砂质粘土中的颗粒有机碎屑和粉砂颗粒

福宁湾潮间带滩涂表层粉砂质粘土海泥中含有丰富的颗粒有机碎屑和粉砂颗粒(Silty grain)。以数量计算,颗粒有机碎屑平均占21.92%,粉砂颗粒平均占78.08%;以体积计算,颗粒有机碎屑平均占54.27%,粉砂颗粒平均占45.73%($n=30$)。有机碎屑颗粒大小悬殊,其长径5.3~95.0 μm ,平均 $46.08 \pm 27.52 \mu\text{m}$;短径5.0~65.7 μm ,平均 $34.05 \pm 18.33 \mu\text{m}$ ($n=48$)。颗粒有机碎屑形态多样化,呈圆球形、近圆球形、椭圆球形和长椭圆球形,也有呈棒形、近方形、梯形、五角形和三角形。颗粒有机碎屑的颜色多为黄褐色和黄绿色,有些是浅黄褐色、深黄褐色、浅黄绿色、深黄绿色和红褐色。

粉砂颗粒粒径为4.0~37.0 μm ,平均 $17.18 \pm 9.63 \mu\text{m}$ ($n=60$),粉砂质粘土不含有游离氨基酸。

2.2 颗粒有机碎屑生物组成

具有生物群落的颗粒有机碎屑包含原生动动物拟铃虫(*Tintinnopsis*)、底栖硅藻和细菌(主要是微球菌 *Micrococcus*), 偶见许水蚤(*Schmackeria*) 卵粒和海洋线虫(Marine nematode)。拟铃虫生长发育在颗粒有机碎屑的表面及其内部,每粒碎屑含有拟铃虫可多达8~10个,主要种类有细弱拟铃虫(*Tintinnopsis gracilis*)、圆钝拟铃虫(*T. rotundata*)、肿状拟铃虫(*T. turgita*)、百乐拟铃虫(*T. beroidea*)和妥肯丁拟铃虫(*T. tocantinensis*),其中细弱拟铃虫为优势种。颗粒有机碎屑内的细弱拟铃虫外壳长8.0~60.0 μm ,平均 $22.31 \pm 14.89 \mu\text{m}$;口径3.0~24.0 μm ,平均 $10.69 \pm 5.93 \mu\text{m}$ ($n=46$)。拟铃虫在颗粒有机碎屑内生长发育后游离悬浮于水体中。悬浮于水体中的细弱拟铃虫比颗粒有机碎屑内的细弱拟铃虫个体大,其外壳长16.3~97.5 μm ,平均 $39.56 \pm 18.55 \mu\text{m}$;口径7.5~25.3 μm ,平均 $13.21 \pm 4.73 \mu\text{m}$ ($n=46$)。在颗粒有机碎屑上附有底栖硅藻或其空壳,出现的硅藻种类有辐射圆筛藻(*Coscinodiscus radiatus*)、美丽斜纹藻(*Pleurosigma formosum*)、布纹藻(*Gyrosigma*)、舟形藻(*Navicula*)、海生斑条藻(*Grammatophora marina*)、盾卵形藻(*Cocconeis scutellum*)、洛伦菱形藻(*Nitzschia lorenziana*)、卵形菱形藻(*N. cocconeiformis*)、尖锥菱形藻(*N. acuminata*)、奇异菱形藻(*N. paradoxa*)和筒柱藻(*Cylindrotheca gracilis*)等种类,以菱形藻占优势(见表1)。

表1 潮间带滩涂颗粒有机碎屑的生物组成

Table 1 Biological composition of particulate organic detritus from intertidal mudflat

种 类 Species	分类单位 Taxa	数量级 Quantitative class
微球菌 <i>Micrococcus</i> spp.	微球菌目微球菌科	++++
辐射圆筛藻 <i>Coscinodiscus radiatus</i>	圆筛藻目圆筛藻科	+
美丽斜纹藻 <i>Pleurosigma formosum</i>	舟形目舟形科	++
布纹藻 <i>Gyrosigma</i> spp.	舟形目舟形科	+
舟形藻 <i>Navicula</i> spp.	舟形目舟形科	+
海生斑条藻 <i>Grammatophora marina</i>	等片藻目等片藻科	++
盾卵形藻 <i>Cocconeis scutellum</i>	曲壳藻目卵形藻科	+
洛伦菱形藻 <i>Nitzschia lorenziana</i>	双菱藻目菱形藻科	++
卵形菱形藻 <i>N. cocconeiformis</i>	双菱藻目菱形藻科	+
尖锥菱形藻 <i>N. acuminata</i>	双菱藻目菱形藻科	+
奇异菱形藻 <i>N. paradoxa</i>	双菱藻目菱形藻科	++
筒柱藻 <i>Cylindrotheca gracilis</i>	双菱藻目菱形藻科	+
细弱拟铃虫 <i>Tintinnopsis gracilis</i>	寡毛目铃壳纤毛虫科	+++
圆钝拟铃虫 <i>T. rotundata</i>	寡毛目铃壳纤毛虫科	++
肿状拟铃虫 <i>T. turgita</i>	寡毛目铃壳纤毛虫科	++
百乐拟铃虫 <i>T. beroidea</i>	寡毛目铃壳纤毛虫科	++
妥肯丁拟铃虫 <i>T. tocantinensis</i>	寡毛目铃壳纤毛虫科	+
许水蚤卵粒 Eggs of <i>Schmackeria</i>	哲水蚤目伪镖水蚤科	+
海洋线虫 Marine nematode		+

注: + 稀少(0~1个/有机碎屑颗粒), ++ 少(2~5个/有机碎屑颗粒), +++ 较多(6~10个/有机碎屑颗粒), ++++ 多(>100个/有机碎屑颗粒)

从番红染色涂片观察到颗粒有机碎屑中的微球菌密度为 483 个细胞/ 0.01 mm^2 ~ 821 个细胞/ 0.01 mm^2 , 平均 621.53 ± 115.14 个细胞/ 0.01 mm^2 ($n=50$)。换算为单位干质量海泥, 微球菌密度可高达 7.728×10^9 个细胞/g ~ 13.136×10^9 个细胞/g, 平均 $9.944 \times 10^9 \pm 1.844 \times 10^9$ 个细胞/g ($n=50$)。颗粒有机碎屑因其含有游离氨基酸等营养物质而成为微球菌繁育的培养基质。

2.3 颗粒有机碎屑游离氨基酸含量

应用柱前衍生高效液相色谱法测定了福宁湾潮间带滩涂表层粉砂质粘土海泥中的颗粒有机碎屑游离氨基酸(FAA)含量, 表2列出了颗粒有机碎屑中15种游离氨基酸含量、游离氨基酸总量以及游离氨基酸占氨基酸总量的百分组成。分析表明, 颗粒有机碎屑游离氨基酸总量为 385.3 ~ 569.7 $\mu\text{mol/kg}$, 平均 473.24 ± 62.40 $\mu\text{mol/kg}$, 样品间变异系数为 14.74% ($n=5$)。检测的15种游离氨基酸含量依次为甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸、赖氨酸、谷氨酸、丙氨酸、天冬氨酸、精氨酸、苏氨酸、缬氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸。蛋氨酸未检出, 色氨酸在酸性缓冲液中被破坏而未检出。甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸、赖氨酸、谷氨酸和丙氨酸是颗粒有机碎屑中含量较高的游离氨基酸, 这6种游离氨基酸百分组成分别为 16.41%、15.95%、13.32%、7.29%、6.96% 和 6.91%。赖氨酸和谷氨酸比较稳定, 样品间变异系数分别为 6.03% 和 7.83%; 丝氨酸和丙氨酸含量则不稳定, 样品间变异系数分别为 40.78% 和 33.78%。

表2 潮间带滩涂颗粒有机碎屑游离氨基酸组成

Table 2 Composition of free amino acids in particulate organic detritus from intertidal mudflat

游离氨基酸 ($\mu\text{mol/kg}$) FAA ($\mu\text{mol/kg}$)	样品 1 号 Sample No. 1	样品 2 号 Sample No. 2	样品 3 号 Sample No. 3	样品 4 号 Sample No. 4	样品 5 号 Sample No. 5	均值 \pm 标准误差 Mean \pm SE	变异系数 (%) CV (%)	FAA 组成 (%) (%) of the total
天冬氨酸 Asp	22.5	31.6	20.5	35.3	27.5	27.48 ± 5.51	22.42	5.81
丝氨酸 Ser	41.5	95.7	50.0	85.7	42.3	63.04 ± 23.00	40.78	13.32
谷氨酸 Glu	31.7	31.0	30.6	35.7	35.8	32.96 ± 2.31	7.83	6.96
甘氨酸 Gly	60.9	102.2	67.4	94.6	63.3	77.68 ± 17.21	24.78	16.41
* 组氨酸 His	19.6	20.2	9.5	15.6	12.4	15.46 ± 4.11	29.75	3.27
* 精氨酸 Arg	32.7	22.8	19.3	21.0	25.0	24.16 ± 4.67	21.61	5.11
* 苏氨酸 Thr	21.9	25.4	17.1	22.8	24.3	22.30 ± 2.87	14.35	4.71
丙氨酸 Ala	26.3	43.1	25.2	38.3	30.5	32.68 ± 6.95	33.78	6.91
脯氨酸 Pro	86.5	76.7	64.7	64.9	84.7	75.50 ± 9.34	13.83	15.95
酪氨酸 Tyr	14.0	15.0	7.8	10.1	12.6	11.90 ± 2.63	24.71	2.51
* 缬氨酸 Val	15.2	22.1	12.8	17.9	17.1	17.02 ± 3.09	20.27	3.60
* 赖氨酸 Lys	36.9	36.0	33.1	34.7	31.8	34.50 ± 1.86	6.03	7.29
* 异亮氨酸 Ile	16.7	18.2	11.2	13.9	16.2	15.24 ± 2.45	17.98	3.22
* 亮氨酸 Leu	14.0	16.3	9.3	11.7	13.5	12.96 ± 2.35	20.22	2.74
* 苯丙氨酸 Phe	12.1	13.4	6.8	8.2	11.3	10.36 ± 2.47	26.64	2.19
游离氨基酸总量 Total FAA	452.5	569.7	385.3	510.4	448.3	473.24 ± 62.40	14.74	
必需氨基酸总量 Total EAA	169.1	174.4	119.1	145.8	151.6	152.00 ± 19.57	14.39	
EAA 占氨基酸 总量 (%) EAA accounting for total FAA (%)	37.37	30.61	30.91	28.57	33.82	32.26 ± 3.06	10.60	

注: * 表示必需氨基酸(EAA); 变异系数 CV= 标准差 SD/ 均值 Mean \times 100%

颗粒有机碎屑中含有8种必需氨基酸(EAA),其含量依次为赖氨酸($34.50 \pm 1.86 \mu\text{mol/kg}$) > 精氨酸($24.16 \pm 4.67 \mu\text{mol/kg}$) > 苏氨酸($22.30 \pm 2.87 \mu\text{mol/kg}$) > 缬氨酸($17.02 \pm 3.09 \mu\text{mol/kg}$) > 组氨酸($15.46 \pm 4.11 \mu\text{mol/kg}$) > 异亮氨酸($15.24 \pm 2.45 \mu\text{mol/kg}$) > 亮氨酸($12.96 \pm 2.35 \mu\text{mol/kg}$) > 苯丙氨酸($10.36 \pm 2.47 \mu\text{mol/kg}$)。从表2可以看出,必需氨基酸总量为 $119.1 \sim 174.4 \mu\text{mol/kg}$,平均 $152.00 \pm 19.57 \mu\text{mol/kg}$,样品间变异系数为14.39% ($n=5$)。必需氨基酸占氨基酸总量的百分组成为28.57%~37.37%,平均 $32.26\% \pm 3.06\%$,样品间变异系数为10.60%,显示颗粒有机碎屑中必需氨基酸含量相对较高,而且较为稳定。呈味氨基酸为天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸,其中天冬氨酸和谷氨酸又被称为鲜味氨基酸,颗粒有机碎屑中的天冬氨酸和谷氨酸含量较低,分别仅占氨基酸总量的5.81%和6.96%(见表2)。

3 讨论

(1) 牟德海等(2002)对大亚湾东部大鹏澳中心的沉积物柱样(采样深度为60 cm)应用柱前衍生高效液相色谱法测定了沉积物柱样中的15种游离氨基酸,其总量在 $820 \sim 2690 \mu\text{mol/kg}$ 之间。这15种游离氨基酸总量随深度而以指数曲线降低,天冬氨酸、甘氨酸、组氨酸和苯丙氨酸的摩尔分数随深度而上升,苏氨酸、精氨酸、缬氨酸和异亮氨酸的摩尔分数随深度而下降。甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸、谷氨酸和丝氨酸在沉积物柱样中的含量较高。本研究也应用同样分析方法对福宁湾潮间带滩涂表层粉砂质粘土海泥测定了15种游离氨基酸,其中甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸、赖氨酸、谷氨酸和丙氨酸含量较高,与大亚湾沉积物柱样含量较高的甘氨酸、丙氨酸、谷氨酸和丝氨酸相类似。但由于两海区的纬度和采样的深度明显不同,以及样品之间颗粒有机碎屑含量的变化,因此福宁湾潮间带表层海泥与大亚湾潮下带沉积物中的游离氨基酸测定值则有所差异,大亚湾沉积物柱样中的游离氨基酸总量明显较高。

(2) 颗粒有机碎屑不仅是滤食性海洋无脊椎动物的食物源(Lenz 1977),有些海洋鱼类的仔、稚、幼鱼也摄食碎屑。白亚口鱼(*Catostomus commersoni*)幼鱼体长39~70 mm,摄食碎屑、无脊椎动物和藻类,其幼鱼前肠内的碎屑量与无脊椎动物和藻类量呈反比,7月间白亚口鱼幼鱼前肠内的无脊椎动物和藻类占95%干质量(DM),10月间无脊椎动物和藻类量已降低,碎屑量却高达90%以上干质量(Ahlgren 1990)。海七鳃鳗(*Petromyzon marina*)和北方鱼吸鳃(*Ichthyomyzon fossor*)幼鱼皆以碎屑为食,年平均摄食碎屑占97.79%、藻类占2.12%和细菌占0.09%干质量(Sutton等 1994)。大弹涂鱼从仔、稚、幼鱼直到成鱼都或多或少地摄食颗粒有机碎屑。在土池育苗条件下,大弹涂鱼前期仔鱼从孵化后2日龄至4日龄(混合营养期),除了依靠吸收卵黄囊和油球为内源营养以外,还摄食含有拟铃虫的颗粒有机碎屑以及桡足类无节幼体(张其永等 2005),其稚鱼和早期幼鱼发育阶段也摄食少量颗粒有机碎屑(颜开强等 1991),从其幼鱼到成鱼仍以底栖硅藻和颗粒有机碎屑为主食(朱友芳等 1993)。大弹涂鱼仔鱼是碎屑食物链起点的捕食者。颗粒有机碎屑是微球菌的培养基质。拟铃虫的体前端小膜口缘区(AZM)围成纤毛列,能够滤食海泥碎屑中的微球菌和微型硅藻。因此,在潮间带滩涂形成了颗粒有机碎屑、微球菌、微型硅藻、拟铃虫和大弹涂鱼的食物链营养关系。

(3) 鱼类胚胎和前期仔鱼发育阶段是从卵黄或卵黄囊中获取氨基酸营养。在吸收内源营养的生长发育过程中,游离氨基酸库中的FAA含量不断降低,后期仔鱼卵黄囊和油球消失后,必须摄取外源营养以满足代谢的需求。Ronnestad等(1992)研究游离氨基酸对于大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)卵和仔鱼的重要性,不同批产出的受精卵,其游离氨基酸含量为 $55 \sim 90 \text{ nmol/卵}$,游离氨基酸的吸收与卵黄和卵黄囊的消耗相平行,约有70%的游离氨基酸为代谢基质所用,其他30%聚合为鱼体蛋白。Sivaloganathan等(1998)报道尖吻鲈(*Lates calcarifer*)受精卵含有游离氨基酸 25.3 nmol/卵 ,当仔鱼卵黄囊和油球即将完全吸收时,其中的 21.5 nmol/卵 游离氨基酸已被利用。尖吻鲈从受精卵到受精后100 h,约有14%的总能量代谢取之于游离氨基酸。在大弹涂鱼室内育苗过程中,仔鱼混合营养期死亡率高(蔡珠金等 2005),如何筛选大小适宜而且富含营养的饵料至关重要。仔、稚鱼的饵料营养结构应与仔、稚鱼的营养需求相吻合。研究表明,各种生物饵料的游离氨基酸含量不同,Helland等(2003)报道长角宽水蚤(*Temora longicornis*)游离氨基酸含量为 $2.4 \pm 0.7 \sim 19.9 \pm 1.7 \text{ nmol/个}$,不论长角宽水蚤无节幼体或成体是否占优势,其游离氨基酸均无显著差异。经过DHA Selco™和维生素营养强化的卤虫(*Artemia franciscana*),其游离氨基酸含量为 $0.67 \pm 0.14 \text{ nmol/个}$,长角宽水蚤的

FAA 含量比卤虫高 3.58~29.70 倍。长角宽水蚤的 FAA 与福宁湾粉砂质粘土中颗粒有机碎屑 FAA 相比较,长角宽水蚤的 FAA 含量高 5.07~42.05 倍,可见桡足类长角宽水蚤(包括其无节幼体和成体)富含 FAA,桡足类长角宽水蚤 FAA 的含量 > 卤虫 > 粉砂质粘土碎屑。本研究表明,大弹涂鱼仔鱼混合营养期的外源营养仅依靠颗粒有机碎屑的营养还是不能满足仔鱼代谢的需求。作者 2005 年进行大弹涂鱼土池育苗研究时观察到大弹涂鱼仔鱼在混合营养期间,卵黄囊和油球尚未完全吸收以前,如果仔鱼能够初次摄食到桡足类无节幼体 1~2 个/日,仔鱼就有可能成活。由于桡足类无节幼体个体较小,体长 100~240 μm ,体宽 110~170 μm ,适于大弹涂鱼仔鱼吞食(开口摄食期仔鱼口径为 240~325 μm),而且其富含 FAA,因此桡足类无节幼体已成为土池育苗条件下大弹涂鱼开口摄食期(混合营养期)的关键性饵料。

参 考 文 献

- 牟德海,黄长江,张春霖,闫世平,舒永红,辜英杰,句合,周凯. 2002. 大亚湾沉积物中氨基酸的垂直分布——沉积物柱样 W_0 中的游离氨基酸. 分析测试学报, 21(2): 4~7
- 朱友芳,张其永. 1993. 九龙江口潮间带大弹涂鱼食性及其消化管组织结构. 台湾海峡, 12(3): 225~232
- 张其永,张杰. 1988. 大弹涂鱼仔鱼的摄食、生长和成活的研究. 水产学报, 12(3): 203~211
- 张其永,洪万树,叶启旺,陈仕玺,江国强. 2005. 土池育苗条件下大弹涂鱼早期仔鱼开口摄食的研究. 海洋水产研究, 26(4): 38~44
- 金德祥,程兆第,林均民,刘师成. 1982. 中国海洋底栖硅藻类(上卷). 北京:海洋出版社, 1~323
- 蔡珠金,洪万树,张其永,江国强,王昌各,陈仕玺,叶启旺. 2005. 大弹涂鱼室内人工繁殖和育苗技术研究. 台湾海峡, 24(2): 200~207
- 颜开强,张其永. 1991. 大弹涂鱼仔、稚、幼鱼消化系统的发育及其食性的研究. 海洋学报, 13(2): 240~246
- 薛廷耀,孙国玉,丁美丽. 1960. 胶州湾小球菌的研究. 海洋与湖沼, 3(1): 1~12
- Ahlgren, M. O. 1990. Diet selection and the contribution of detritus to the diet of the juvenile white sucker (*Catostomus commersoni*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47: 41~48
- Holland, S., Terjesen, B. F., and Berg, L. 2003. Free amino acid and protein content in the planktonic copepod *Temora longicornis* compared to *Artemia franciscana*. Aquaculture, 215: 213~228
- Lenz, J. 1977. On detritus as a food source for pelagic filter-feeders. Marine Biology, 41: 39~48
- Nie, D. S. 1934. Notes on Tintinninea from the Bay of Amoy. Third Ann. Rep. Mar. Biol. Assoc. China, 71~80
- Nie, D. S. 1947. Tintinninea of the Hainan region. Contr. Biol. Lab. Sci. Soc. China(Zool. Ser.), 16(3): 41~66
- Rønnestad, I., Fyhn, H. J., and Gravning, K. 1992. The importance of free amino acids to the energy metabolism of eggs and larvae of turbot (*Scophthalmus maximus*). Marine Biology, 114: 517~525
- Sivaloganathan, B., Walford, J., Ip, Y. K., and Lam, T. J. 1998. Free amino acids and energy metabolism in eggs and larvae of seabass, *Lateolabrax japonicus*. Marine Biology, 131: 695~702
- Sutton, T. M., and Bowen, S. H. 1994. Significance of organic detritus in the diet of larval lampreys in the Great Lakes basin. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51: 2380~2387
- Wang, C. C., and Nie, D. S. 1932. A survey of the marine protozoa of Amoy. Contr. Biol. Lab. Sc. Soc. China, (Zool. Ser.) 8(9): 285~385
- Wang, C. C. 1936. Notes on Tintinninea from the Gulf of Pe-Hai. Sinensia, 7(3): 353~370