

# 几种单胞藻对火腿许水蚤脂肪酸组成的影响

刘光兴<sup>1,2</sup>, 崔建丽<sup>1</sup>, 黄 瑛<sup>1</sup>

(1 中国海洋大学海洋生命学院, 2 海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 采用气相色谱分析法测定了几种常用单胞藻及其投喂培养的火腿许水蚤的脂肪酸组成. 结果表明, 金藻 8701 和三角褐指藻分别具有较高的 DHA 和 EPA 含量, 比较适合作为桡足类饵料. 金藻 8701 及其与三角褐指藻、绿色巴夫藻、亚心形扁藻等组合作为混合饵料投喂时, 培养的火腿许水蚤的几种重要必需脂肪酸 (ARA、EPA、DHA) 的含量都较高, 其中, 以金藻 8701 和绿色巴夫藻按体积比 1:1 作为混合饵料时, 火腿许水蚤的 DHA/EPA 值接近 2:1, 更有利于其作为海水仔稚鱼的优质饵料.

**关键词:** 饵料; EPA; DHA; ARA; 火腿许水蚤

**中图分类号:** Q 501

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0438-0479(2006)S2-0250-06

在海洋食物链中, 桡足类是重要的次级生产者, 也是仔稚鱼的重要天然饵料. 目前, 虽然水产养殖中广泛使用轮虫和卤虫 (*Artemia*) 无节幼体等作为海水仔稚鱼的活饵料, 但是, 对于某些鱼类而言, 以轮虫和卤虫无节幼体为饵料存活率较低, 如笛鲷科 (*Lutjanidae*)<sup>[1]</sup> 和石斑鱼亚科 (*Serranidae*, *Epinephelinae*)<sup>[2]</sup>. 因此, 桡足类及其幼体作为仔稚鱼活饵料受到广泛关注<sup>[3,4]</sup>.

哲水蚤和猛水蚤由于产量高且较稳定被普遍作为仔稚鱼的饵料<sup>[5,6]</sup>. 猛水蚤可以适应高密度培养条件, 因此, 它们是桡足类培养深入研究的对象<sup>[7-9]</sup>. 然而, 猛水蚤主要营底栖生活, 因此不容易被仔稚鱼所捕食<sup>[10]</sup>. 与此相对照, 哲水蚤几乎是浮游的, 因此它们更合适作为仔稚鱼的饵料. 火腿许水蚤 (*Schmaderia poplesia*) 广泛分布于我国沿海河口水域, 经常成为低盐区的优势种并在河口生态系统中扮演着重要的角色<sup>[11-14]</sup>. 本文对不同饵料条件下火腿许水蚤的脂肪酸组成进行了研究, 一方面为海水鱼类养殖用活饵料的培养积累基础资料, 另一方面, 也为探讨桡足类在不同环境条件下生化组成的变化积累基础资料.

## 1 材料和方法

### 1.1 实验用水和饵料培养

实验用水取自青岛沙子口的砂滤海水, 先后经

300 目筛绢和 0.45  $\mu\text{m}$  微孔滤膜过滤, 最后调盐度至  $15 \pm 1$ .

为了提供饵料中不同的必需脂肪酸 (essential fatty acids, EPA) 水平, 选用三角褐指藻 (*Phaeodactylum tri-cornutum* Bohlin), 金藻 8701 (*Isochrysis galbana* Parke 8701), 绿色巴夫藻 (*Pavlova viridis* Tseng Chen et Zhang) 和亚心形扁藻 [*Platymonas subcordiformis* (Wille) Hazen] 作为饵料. 单胞藻均用 f/2 培养液培养至对数生长期待用.

### 1.2 实验动物的采集和培养

实验所用的火腿许水蚤采自青岛胶南养虾池, 运回实验室内进行镜检、挑选, 在温度  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、盐度 15 条件下培养. 在不同饵料的喂养实验中, 火腿许水蚤培养于 10 L 的玻璃缸中, 在缸底放置气石充气, 维持氧饱和度以及水的流动. 实验设定 4 个组, 分别投喂金藻 8701:  $V(\text{金藻 8701}): V(\text{绿色巴夫藻}) = 1:1$ ;  $V(\text{金藻 8701}): V(\text{三角褐指藻}) = 1:1$ ;  $V(\text{金藻 8701}): V(\text{三角褐指藻}): V(\text{亚心形扁藻}) = 1:1:1$ . 每个实验组设两个平行, 培养温度为  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ , 盐度为 15. 每天投饵, 饵料浓度维持在  $10 \times 10^4$  cells/mL, 每隔一天半换水一次. 光暗比为 12 L: 12 D, 培养 4 周.

### 1.3 脂肪酸分析

#### (1) 样品处理

用于喂养实验的单胞藻样品经离心机 3 000 r/min 离心 5 min 浓缩, 后冻干. 火腿许水蚤经 200 目筛绢筛选出成体, 然后转移至新鲜海水中, 饥饿 24 h 清空消化道内的单胞藻饵料, 然后再筛滤掉排出的废物, 经蒸馏水漂洗, 冻干.

取冻干样品 20~30 mg, 加入 1 mol/L KOH-甲醇 3

收稿日期: 2006-11-20

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目 (2002AA629100, 2004AA626100) 和国家重点基础研究发展规划项目 (2005CB422306) 资助

作者简介: 刘光兴 (1964-), 男, 教授, 博导.

E-mail: gxl@ouc.edu.cn

mL, 在水浴锅中 75~ 80℃皂化 10 min, 加入 2 mol/L HCl 甲醇溶液 3 mL, 在水浴锅中 75~ 80℃酯化反应 10 min, 加入正己烷 1 mL, 振荡萃取, 静止分层, 吸取上清液约 0.5~ 1.5 mL 离心管中, 低速离心 5 min, 取 1 μL 进样测定。

(2) 气相色谱分析

使用美国惠普公司 HP6890 型气相色谱仪分析, 具体条件如下:

毛细管色谱柱: 007-CW;

汽化室温度: 270℃;

检测器温度: 270℃;

柱温: 程序升温 150℃  $\xrightarrow{15^{\circ}\text{C}/\text{min}}$  200℃  $\xrightarrow{2^{\circ}\text{C}/\text{min}}$  250℃;

载气: 高纯氮流速 2 mL/min;

数据分析: 面积归一法。

## 2 实验结果

### 2.1 脂肪酸分析方法的平行性实验

为检验样品整个前处理和测定过程的可靠性, 对 15℃和 25℃培养条件下投喂相同饵料 *V* (金藻 8701): *V* (三角褐指藻) = 1: 1 的火腿许水蚤脂肪酸含量进行了平行实验, 结果见表 1。2 由表可知, 11 种脂肪酸含量的相对偏差为 0.1%~ 6.5%, 均低于 7%, 完全符合平行样变异系数 < 10% 的分析要求, 表明本法分离效果好、重复性好、可靠性强。

### 2.2 不同饵料喂养的火腿许水蚤的脂肪酸组成分析

本实验所用的饵料单胞藻的脂肪酸组成分析结果见表 3。金藻 8701 和绿色巴夫藻都属金藻门, 其 DHA 水平极显著高于另外两种单胞藻 ( $p < 0.01$ ), 分别占总脂肪酸含量的  $(7.34 \pm 0.01)\%$  和  $(5.52 \pm 0.18)\%$ 。值得注意的是, 绿色巴夫藻虽然同属于金藻门, 但在脂肪酸组成上又有自己的特点, 即它除具有高水平 DHA 外, 还具有高水平的 EPA ( $20.09 \pm 0.12\%$ ) 和低含量的 18:1 (约 1.65%)。

三角褐指藻属硅藻门, 除具有高水平的 EPA ( $23.08 \pm 0.93\%$ ) 外, 还具有高含量的 16:1 ( $21.99 \pm 0.98\%$ ), 但其 DHA 含量较低 ( $0.77 \pm 0.05\%$ )。

绿藻中的亚心形扁藻, 含有较高水平的 16:0 ( $17.12 \pm 0.00\%$ )、18:1w9 ( $13.28 \pm 0.02\%$ ) 和 18:3n-3 ( $13.15 \pm 0.02\%$ ), 均高于 10%。但其几种重要的必需脂肪酸含量都较低, 比如 ARA 和 EPA 含量分别为  $(0.82 \pm 0.02)\%$  和  $(5.71 \pm 0.07)\%$ , DHA 含量在本实验中未检测到。

在 25℃条件下, 投喂不同饵料喂养的火腿许水蚤的脂肪酸组成见表 4。从表中可以看出, 投喂金藻或者

表 1 15℃培养条件下火腿许水蚤脂肪酸组成 (占总脂肪酸含量的百分比) 的平行性实验结果

Tab 1 Results of replicate measurements of fatty acid composition of *Schmackeria popplei* cultured at 15℃

| 脂肪酸     | 样品 1  | 样品 2  | 平均值   | 标准偏差<br>F% | 相对偏差<br>F% |
|---------|-------|-------|-------|------------|------------|
| 14:1    | 7.48  | 7.29  | 7.38  | 0.13       | 1.8        |
| 16:0    | 21.90 | 20.82 | 21.36 | 0.76       | 3.6        |
| 16:1    | 10.72 | 10.35 | 10.54 | 0.26       | 2.5        |
| 18:0    | 4.14  | 4.08  | 4.11  | 0.04       | 1.1        |
| 18:1w9  | 3.14  | 3.18  | 3.16  | 0.02       | 0.8        |
| 18:1w7  | 2.30  | 2.17  | 2.24  | 0.09       | 3.9        |
| 18:2n-6 | 2.44  | 2.39  | 2.41  | 0.03       | 1.4        |
| 18:3n-3 | 2.76  | 2.76  | 2.76  | 0.00       | 0.0        |
| 20:4n-6 | 0.98  | 1.01  | 0.99  | 0.02       | 1.8        |
| 20:5n-3 | 15.27 | 15.69 | 15.48 | 0.30       | 1.9        |
| 22:6n-3 | 16.78 | 16.58 | 16.68 | 0.15       | 0.9        |
| HUFA    | 32.03 | 34.27 | 33.15 | 1.58       | 4.8        |
| DHA/EPA | 1.03  | 1.12  | 1.08  | 0.06       | 5.7        |
| EPA/ARA | 15.58 | 15.59 | 15.59 | 0.01       | 0.1        |

注释: ARA (arachidonic acid) = 20:4n-6, DHA (docosahexaenoic acid) = 22:6n-3, EPA (eicosapentaenoic acid) = 20:5n-3

表 2 25℃培养条件下火腿许水蚤脂肪酸组成 (%) 的平行性实验结果

Tab 2 Results of replicate measurements of fatty acid composition of *Schmackeria popplei* cultured at 25℃

| 脂肪酸     | 样品 1  | 样品 2  | 平均值   | 标准偏差<br>F% | 相对偏差<br>F% |
|---------|-------|-------|-------|------------|------------|
| 14:1    | 7.51  | 8.12  | 7.81  | 0.43       | 5.5        |
| 16:0    | 23.81 | 22.00 | 22.91 | 1.28       | 5.6        |
| 16:1    | 12.31 | 11.23 | 11.77 | 0.77       | 6.5        |
| 18:0    | 5.41  | 5.51  | 5.46  | 0.07       | 1.3        |
| 18:1w9  | 3.34  | 3.33  | 3.33  | 0.00       | 0.0        |
| 18:1w7  | 1.98  | 1.98  | 1.98  | 0.00       | 0.0        |
| 18:2n-6 | 2.19  | 2.19  | 2.19  | 0.00       | 0.0        |
| 18:3n-3 | 1.91  | 1.92  | 1.92  | 0.00       | 0.0        |
| 20:4n-6 | 1.74  | 1.79  | 1.77  | 0.04       | 2.3        |
| 20:5n-3 | 12.84 | 13.43 | 13.13 | 0.42       | 3.2        |
| 22:6n-3 | 13.67 | 14.68 | 14.18 | 0.71       | 5.0        |
| HUFA    | 28.24 | 29.90 | 29.07 | 1.17       | 4.0        |
| DHA/EPA | 1.07  | 1.09  | 1.08  | 0.02       | 1.8        |
| EPA/ARA | 7.39  | 7.49  | 7.44  | 0.07       | 0.9        |

表 3 饵料单胞藻的脂肪酸组成  
Tab 3 Fatty acid composition of microalgae (%)

| 脂肪酸      | 金藻 8701    | 绿色巴夫藻      | 三角褐指藻      | 亚心形扁藻      |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| 14: 1    | 11.06±0.39 | 13.52±0.04 | 7.55±0.61  | 0.49±0.00  |
| 16: 0    | 9.43±0.56  | 10.73±0.08 | 13.15±0.23 | 17.12±0.00 |
| 16: 1    | 7.92±0.84  | 8.22±0.12  | 21.99±0.98 | 11.50±0.04 |
| 18: 0    | nd         | 0.18±0.00  | 0.46±0.01  | 0.17±0.01  |
| 18: 1w9  | 7.22±0.33  | 1.28±0.03  | 1.20±0.03  | 13.28±0.02 |
| 18: 1w7  | 0.88±0.02  | 0.37±0.01  | 0.87±0.04  | 2.83±0.00  |
| 18: 2n-6 | 5.23±0.15  | 0.31±0.01  | 2.02±0.11  | 5.67±0.01  |
| 18: 3n-3 | 10.17±0.35 | 0.31±0.02  | nd         | 13.15±0.02 |
| 20: 4n-6 | 1.52±0.12  | 2.11±0.01  | 0.57±0.08  | 0.82±0.02  |
| 20: 5n-3 | 0.56±0.03  | 20.09±0.12 | 23.08±0.93 | 5.71±0.07  |
| 22: 6n-3 | 7.34±0.01  | 5.52±0.18  | 0.77±0.05  | nd         |
| HUFA     | 9.42±0.16  | 27.72±0.31 | 24.42±1.07 | 6.53±0.05  |
| DHA /EPA | 13.17±0.58 | 0.28±0.01  | 0.03±0.00  | nd         |
| EPA /ARA | 0.37±0.01  | 9.51±0.02  | 40.74±4.07 | 6.99±0.26  |

注释: nd( not detected) = 未检测到.

表 4 不同饵料喂养的火腿许水蚤 ( 25℃ ) 的脂肪酸组成  
Tab 4 Fatty acid composition of *Schmackeria poplesia* cultured at 25℃ and fed different diets (%)

| 脂肪酸      | 金藻         | 金藻 + 绿色巴夫藻<br>(1: 1) | 金藻 + 三角褐指藻<br>(1: 1) | 金藻 + 三角褐指藻 +<br>亚心形扁藻 (1: 1) |
|----------|------------|----------------------|----------------------|------------------------------|
| 14: 1    | 8.75±1.20  | 8.69±1.08            | 7.81±0.43            | 4.61±0.17                    |
| 16: 0    | 19.25±1.48 | 18.21±1.39           | 22.91±1.28           | 22.70±0.75                   |
| 16: 1    | 4.14±0.34  | 5.61±0.45            | 11.77±0.77           | 6.16±0.21                    |
| 18: 0    | 5.77±0.09  | 5.54±0.04            | 5.46±0.07            | 6.03±0.07                    |
| 18: 1w9  | 6.36±0.05  | 4.16±0.00            | 3.33±0.00            | 5.20±0.09                    |
| 18: 1w7  | 1.91±0.02  | 1.88±0.00            | 1.98±0.00            | 2.52±0.03                    |
| 18: 2n-6 | 3.62±0.00  | 2.11±0.00            | 2.19±0.00            | 4.35±0.07                    |
| 18: 3n-3 | 5.25±0.01  | 2.82±0.02            | 1.92±0.00            | 5.50±0.07                    |
| 20: 4n-6 | 1.41±0.07  | 2.13±0.14            | 1.77±0.04            | 2.26±0.03                    |
| 20: 5n-3 | 2.98±0.10  | 11.17±0.59           | 13.13±0.42           | 11.84±0.20                   |
| 22: 6n-3 | 24.61±2.23 | 19.63±1.86           | 14.18±0.71           | 13.48±0.60                   |
| HUFA     | 28.99±2.40 | 32.93±2.60           | 29.07±1.17           | 27.58±0.83                   |
| DHA /EPA | 8.24±0.47  | 1.76±0.07            | 1.08±0.02            | 1.14±0.03                    |
| EPA /ARA | 2.13±0.03  | 5.26±0.08            | 7.44±0.07            | 5.23±0.01                    |

混和饵料,火腿许水蚤的 ARA 含量都在 1.4% 以上,其中,投喂金藻、三角褐指藻和亚心形扁藻混和饵料的火腿许水蚤,其 ARA 含量最高 (2.26±0.03)%。不管投喂何种饵料,火腿许水蚤的 EPA 和 DHA 含量都比较高,除了投喂金藻的火腿许水蚤体内的 EPA 含量较低 (2.98±0.10)% 外,其它组 EPA 和 DHA 含量都在 10% 以上,特别是投喂金藻以及金藻和绿色巴夫藻

混和饵料的火腿许水蚤的 DHA 含量高达 (24.61±2.23)% 和 (19.63±1.86)%。经金藻投喂的火腿许水蚤 DHA /EPA 值较高 (8.24±0.47),而 EPA /ARA 值较低。各种饵料投喂的火腿许水蚤 EPA /ARA 值都相对较低,在 7.5 以下。

### 3 讨 论

目前认为, 桡足类的营养成分尤其是脂肪酸组成能更好地满足海水仔稚鱼的营养要求<sup>[15-19]</sup>. 脂肪酸是鱼类生物膜的重要组成部分, 也是能量的来源<sup>[20-23]</sup>. 鱼组织中主要脂肪酸是  $n-3$  系列; 海洋鱼类的必需脂肪酸一般认为是 C20 和 C22 高度不饱和脂肪酸, 包括 EPA 和 DHA 及 ARA<sup>[15, 20-22, 24-26]</sup>. 大多数海水鱼类不能将 C18 转变成  $n-3$  和  $n-6$  系列的更长链脂肪酸, 因此必需脂肪酸必须由食物提供<sup>[22, 23, 27]</sup>. 传统上使用轮虫和卤虫为仔稚鱼饵料, 它们的 HUPA 含量低, 所以必须使用强化饵料来改进他们的脂肪酸组成<sup>[22, 23, 28, 29]</sup>. Sargent 等<sup>[22]</sup> 曾指出, 桡足类作为海水仔稚鱼饵料具有很多优势: 桡足类中磷脂比三酰基甘油含量更高; 其脂肪酸水平和比例更接近海水仔稚鱼的天然饵料营养要求; 另外, 它们是天然的抗氧化剂, 防止 PUFA 过氧化, 是最佳保护剂; 还可将天然抗氧化剂的最佳水平传递给仔稚鱼.

饵料中  $n-3$ HUFA 的数量和种类会直接影响海水仔稚鱼的生长速度、存活率、应激能力和体内相关成分, 其中以 DHA 和 EPA 尤为重要<sup>[22, 24, 30]</sup>. DHA/EPA 和 EPA/ARA 的值是评价鱼类饵料质量的重要指标<sup>[27, 30-32]</sup>. 研究表明, 海洋鱼类卵中 DHA 和 EPA 的比值约为 2:1<sup>[31, 33]</sup>, 因此通常认为当饵料中 DHA/EPA 值在 2:1 时仔稚鱼的存活和生长可以得到较好的效果<sup>[22, 27, 34]</sup>; 另外, Reitan 等<sup>[35]</sup> 的研究发现, 用 DHA/EPA 值为 2:1 的饵料培育大菱鲆仔稚鱼, 可以有效地防止大菱鲆非正常色素沉着的产生.

ARA 是磷脂酰肌醇的主要成分, 在鱼体内含量虽然很低, 但是在代谢中很重要, ARA 在刺激蛋白酶过程中为第二信使<sup>[36]</sup>, 是合成类二十烷酸 (如前列腺素、白细胞三烯、血栓烷等) 的前体, 这些生物活性物质具有重要的生理功能, 影响生殖、消化和呼吸系统, 影响膜对离子的通透性及抑制脂质分解等. Furuita 等<sup>[37]</sup> 提出, 对于牙鲆仔鱼的生长, ARA 比 EPA、DHA 更重要. Castell 等<sup>[38]</sup> 对大菱鲆、Bessonart 等<sup>[39]</sup> 对金头鲷的实验结果也是如此, 饵料中较高含量的 ARA 可以提高仔稚鱼的成活率, 促进仔稚鱼的生长. 但 EPA 与 ARA 之间的合适比例, 至今尚无定论, 一般来说, EPA 与 ARA 之间的合适比例, 因鱼的种类而异, 欧洲鲈鱼大约为 2:1, 比目鱼大约为 10:1<sup>[30]</sup>.

金藻和三角褐指藻分别具有高含量的 DHA 和 EPA, 并且细胞体积较小, 易于桡足类个体特别是其幼体摄食. 另外这两种单胞藻适应能力较强, 易于培养, 适合作为桡足类动物大量培养的主要饵料. 亚心形扁

藻个体较大, 桡足类幼体摄食有一定困难, 但对于桡足类成体来说, 由于其生物量较大, 所以摄食亚心形扁藻所消耗能量较少, 而绿色巴夫藻同时具有较高含量的 DHA 和 EPA, 因此这两种单胞藻都比较适合作为饵料配合金藻和三角褐指藻使用. 从本实验的结果来看, 含有高水平 DHA 的金藻, 具有很高的饵料价值, 特别是与绿色巴夫藻或者三角褐指藻混合使用, 能够达到较好的投喂效果. 金藻与绿色巴夫藻以 1:1 混和投喂, 不仅使火腿许水蚤 DHA 与 EPA 含量的比值接近 2:1 ( $1.76 \pm 0.07$ ), 而且 ARA 含量较高 ( $2.13 \pm 0.14\%$ ), EPA/ARA 值较低 ( $5.26 \pm 0.08$ ). 本实验中金藻与三角褐指藻混和组的投喂比率为 1:1, 从实验结果推测, 若将其比率提高到 2:1, 可能得到更好的效果, 这尚需进一步实验验证.

本研究既反映了不同单胞藻对火腿许水蚤脂肪酸组成的影响, 同时, 也为培养桡足类用单胞藻饵料的选择提供了参考.

### 参考文献:

- [1] Doi M, Singhagraivan T, Singhagraivan S, et al. An investigation of copepods being applied as initial food organisms for red snapper larvae [J]. Thai Marine Fisheries Research Bulletin, 1994, 5: 21-26.
- [2] Doi M, Toledo J D, Golez M S N, et al. Preliminary investigation of feeding performance of larvae of early red-spotted grouper *Epinephelus coioides* reared with mixed zooplankton [J]. Hydrobiologia, 1997, 358: 259-263.
- [3] Sitturup J G. The elusive copepods: their production and suitability in marine aquaculture [J]. Aquaculture Research, 2000, 31: 703-711.
- [4] McKinnon A D, Duggan S, Nichols P D, et al. The potential of tropical paracalanid copepods as live feeds in aquaculture [J]. Aquaculture, 2003, 223: 89-106.
- [5] Nanton D A, Castell J D. The effects of temperature and dietary fatty acids on the fatty acid composition of harpacticoid copepods for use as a live food for marine fish larvae [J]. Aquaculture, 1999, 175: 167-181.
- [6] Payne M F, Rippingale R J. Evaluation of diets for culture of the calanoid copepod *Gadiferens imparipes* [J]. Aquaculture, 2000, 187: 85-96.
- [7] Sun B, Fleeger J W. Sustained mass culture of *Amphiascoides atopus* a marine harpacticoid copepod in a recirculating system [J]. Aquaculture, 1995, 136: 313-321.
- [8] Sitturup J G, Norsker N H. Production and use of copepods in marine fish larviculture [J]. Aquaculture, 1997, 155: 231-248.
- [9] Nanton D A, Castell J D. The effects of dietary fatty acids on

- the fatty acid composition of the harpacticoid copepod *Tisbe* sp., for use as a live food for marine fish larvae[ J]. *Aquaculture*, 1998, 163: 251– 261.
- [ 10] Kitajima C. Experimental trials on mass culture of copepods [ J]. *Bulletin of Plankton Society of Japan*, 1973, 20: 54– 60.
- [ 11] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学 [ M ]. 北京: 海洋出版社, 1984: 339– 340.
- [ 12] 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿, 等. 长江口最大浑浊带区浮游动物的生态研究 [ J]. *中国水产科学*, 1995, 2( 1): 39– 48.
- [ 13] 朱长寿. 闽江口浮游桡足类生态研究 [ J]. *台湾海峡*, 1997, 16(1): 75– 79.
- [ 14] 焦玉木, 田家怡. 黄河三角洲附近海域浮游动物多样性研究 [ J]. *海洋环境科学*, 1999, 18( 4): 33– 38.
- [ 15] Watanabe T, Kitajima C, Fujita S. Nutritional profiles of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a review [ J]. *Aquaculture*, 1983, 34: 115– 143.
- [ 16] Witt U, Quantz G, Kuhlmann D, et al. Survival and growth of turbot larvae *Scophthalmus maximus* L. reared on different food organisms with special regard to long-chain polyunsaturated fatty acids [ J]. *Aquacultural Engineering*, 1984, 3: 177– 190.
- [ 17] Shamsudin L, Yusof M, Azis A, et al. The potential of certain indigenous copepod species as live food for commercial fish larval rearing [ J]. *Aquaculture*, 1997, 151: 351– 356.
- [ 18] Toledo J D, Golez M a S, Doi M, et al. Use of copepod nauplii during early feeding stage of grouper *Epinephalus coioides* [ J]. *Fisheries Science*, 1999, 65: 390– 397.
- [ 19] Evjemo J O, Reitan K J, Olsen Y. Copepods as live food organisms in the larval rearing of halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L.) with special emphasis on the nutritional value [ J]. *Aquaculture*, 2003, 227: 191– 210.
- [ 20] Cowey C B, Sargent J R. Fish nutrition [ J]. *Advances in Marine Biology*, 1972, 10: 383– 492.
- [ 21] Izquierdo M S. Review article—essential fatty acid requirements of cultured marine fish larvae [ J]. *Aquaculture Nutrition*, 1996, 2: 183– 191.
- [ 22] Sargent J R, McEvoy L A, Bell J G. Requirements presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds [ J]. *Aquaculture*, 1997, 155: 117– 127.
- [ 23] Barclay W, Zeller S. Nutritional enhancement of n-3 and n-6 fatty acids in rotifers and *Artemia* nauplii by feeding spray-dried *Schizochytrium* sp. [ J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1996, 27: 314– 322.
- [ 24] Watanabe T, Izquierdo M S, Takeuchi T, et al. Comparison between eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in terms of essential fatty acid efficacy in larval red sea bream [ J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1989, 55: 1635– 1640.
- [ 25] New M B. Aquaculture diets of post larval marine fish of the superfamily Percoidae with special reference to Sea Bass, Sea Breams, Groupers and Yellowtail: a review [ J]. *Kuwait Bulletin of Marine Science*, 1986, 7: 75– 151.
- [ 26] Watanabe T. Importance of docosahexaenoic acid in marine larval fish [ J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1993, 24: 152– 161.
- [ 27] 刘镜恪. 海鱼早期阶段必需脂肪酸和磷脂的研究现状和展望 [ J]. *海洋水产研究*, 2002, 23(2): 58– 64.
- [ 28] Rodriguez C, Perez J A, Izquierdo M S, et al. Improvement of the nutritional value of rotifers by varying the type and concentration of oil and the enrichment period [ J]. *Aquaculture*, 1996, 147: 93– 105.
- [ 29] Rainuzzo J R, Reitan K J, Olsen Y. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review [ J]. *Aquaculture*, 1997, 155: 103– 115.
- [ 30] Sargent J, Bell J G, McEvoy L, et al. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish [ J]. *Aquaculture*, 1999, 177: 191– 199.
- [ 31] Parrish C C, Castell J D, Brown J A, et al. Fatty acid composition of Atlantic halibut eggs in relation to fertilization [ J]. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 1994, 94( 2): 36– 38.
- [ 32] 邱小琼, 周洪琪, 曾庆华, 等. 营养强化的轮虫、卤虫对牙鲆仔鱼的成活、生长及体脂肪酸组成的影响 [ J]. *水产科学*, 2004, 23( 2): 4– 8.
- [ 33] Tocher D R, Sargent J R. Analyses of lipids and fatty acids in ripe roes of some northwest European marine fish [ J]. *Lipids*, 1984, 19: 492– 499.
- [ 34] Sargent J, McEvoy L, Estevez A, et al. Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions [ J]. *Aquaculture*, 1999, 179: 217– 229.
- [ 35] Reitan K J, Rainuzzo J R, Olsen Y. Influence of live feed on growth, survival and pigmentation of turbot larvae [ J]. *Aquaculture International*, 1994, 2: 33– 48.
- [ 36] Maphail L C, Clayton C C, Cnydemann R. A potential second messenger role for unsaturated fatty acids: activation of  $Ca^{2+}$  dependent protein kinase C [ J]. *Science*, 1984, 224: 622– 625.
- [ 37] Funita H, Takeuchi T, Umatse K. Effects of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids on growth, survival and brain development of larval Japanese flounder (*Paralichthys olivaceous*) [ J]. *Aquaculture*, 1998, 161: 269– 279.
- [ 38] Castell J D, Bell J G, Tocher D R, et al. Effects of purified diets containing different combinations of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*)

- [ J]. Aquaculture 1994 128 315– 333. sea bream ( *Sparus aurata* L. ) larvae [ J]. Aquaculture 1999, 179 265– 275.
- [ 39] Bessonart M, Izquierdo M S, Sahimi, et al Effect of dietary arachidonic acid levels on growth and survival of gilthead

## The Effects of Different Algae on the Fatty Acid Composition of *Schmackeria poplesia* (Copepoda Calanoida)

LU Guang-xing<sup>1, 2</sup>, CUI Jian-li<sup>1</sup>, HUANG Ying<sup>1</sup>

(1. College of Marine Life Sciences Ocean University of China; 2. Key Lab of Marine Environmental Science and Ecology Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Abstract** The fatty acid composition of several common monoalgae and *Schmackeria poplesia* (Copepoda Calanoida) were examined using gas chromatography (GC) technique. The result indicated the suitability of *Isochrysis galbana* Parke 8701 and *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin as main diets for copepods which contain high level of DHA and EPA respectively. In addition, the contents of several important essential fatty acids (ARA, EPA and DHA) in copepods fed by each monovalgal diet and mixed diets were higher; moreover, the ratio of DHA/EPA of *S. poplesia* was near 2:1, which fed by mixed diet of *I. galbana* Parke 8701 and *P. viridis* Tseng Chen et Zhang (1:1). On the basis of DHA/EPA ratio, *S. poplesia* was a high quality diet for marine larval fish.

**Key words** diet; EPA; DHA; ARA; *Schmackeria poplesia*