

两种甲藻和两种硅藻脂肪酸组成的比较研究

刘梦坛^{1,2}, 李超伦^{1,3}, 孙松^{1,3}

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站, 山东 青岛 266071)

摘要: 研究了 4 种海洋微藻的脂肪酸组成。研究结果显示, 锥状斯氏藻(*Scrippsiella trochoidea*)和海洋原甲藻(*Prorocentrum micans*)的主要脂肪酸有 16:0、18:4 ω 3、18:5 ω 3、20:3 ω 6、22:6 ω 3, 中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)和角毛藻(*Chaetoceros sp.*)的主要脂肪酸为 14:0、16:0、16:1 ω 7、20:5 ω 3。两种甲藻和两种硅藻分别都表现出典型的甲藻门和硅藻门的脂肪酸特征。从总脂肪酸、PUFA、 ω 3 和 ω 6 脂肪酸的含量来看, 单位干质量的两种甲藻能够比两种硅藻提供更多的脂肪酸类营养物质。但是某些动物生长发育所必需的脂肪酸(如 20:5 ω 3)在硅藻中的含量却高于甲藻。因此实际应用中单种饵料往往不能提供足够的营养物质, 通常需要将不同饵料混合以获得营养价值更高的饵料。对 4 种微藻的脂肪酸组成进行聚类分析和主成分分析, 结果不仅反映了 4 种微藻在分类上亲缘关系的远近, 也反映了几种微藻各自的脂肪酸组成特征。

关键词: 甲藻; 硅藻; 脂肪酸

中图分类号: Q176

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)10-0077-06

微藻作为海洋初级生产者的主要组成部分, 是海洋中有机物的主要提供者^[1]。海洋中的脂肪酸有很大一部分都是由微藻合成并通过食物链向高营养级进行传递的^[2]。作为饵料的微藻其脂肪酸组成对桡足类幼体^[3]和鱼类幼体^[4]的存活和生长发育具有重要的作用。如 20:5 ω 3 和 22:6 ω 3 被认为是许多水产养殖生物幼体存活和发育的必需脂肪酸^[5, 6]。一些饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸则与生物体内的能量代谢、维持细胞结构、激素调节等一些重要的生理过程息息相关^[7]。此外, 微藻的脂肪酸, 特别是多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)和 ω 3 脂肪酸的组成和含量通常被用来作为衡量其营养价值的重要指标^[5]。

同一分类单元的微藻脂肪酸组成往往相似, 而且具有不同于其他分类单元的脂肪酸组成特征^[2]。如硅藻门的主要脂肪酸为 14:0、16:0、16:1 ω 7、16:3 ω 4、20:5 ω 3, 其显著特点是 16:1 ω 7 的含量高于 16:0。而甲藻门的主要脂肪酸有 16:0、18:4 ω 3、18:5 ω 3、20:3 ω 6、22:6 ω 3, 其显著特点是含有较高含量的 18:4 ω 3、18:5 ω 3 和 22:6 ω 3^[1, 8]。将藻类脂肪酸组成用于藻类化学分类学的研究不仅能准确的反映藻类的分类地位, 还能避免传统分类学中主观因素的干扰^[9, 10]。

本文比较了两种甲藻(锥状斯氏藻, *Scrippsiella*

trochoidea; 海洋原甲藻, *Prorocentrum micans*)和两种硅藻(中肋骨条藻, *Skeletonema costatum*; 角毛藻, *Chaetoceros sp.*)脂肪酸组成的异同, 在此基础上探讨了其对于捕食者来说潜在的营养价值, 并通过多元统计分析研究了这几种微藻的脂肪酸组成特征以及在海藻化学分类学中的相对地位。

1 材料与方法

1.1 微藻培养

培养所用海水取自青岛第三海水浴场, 经过砂滤后先后再用 38 μ m 的筛绢和 0.45 μ m 的混合纤维滤膜过滤。实验用的两种甲藻为锥状斯氏藻(*Scrippsiella trochoidea*)(文中以 ST 表示)和海洋原甲藻(*Prorocentrum micans*)(文中以 PM 表示), 两种硅藻为中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)(文中以 SC 表示)和一种角毛藻(*Chaetoceros sp.*)(文中以 CS 表示)。培养条件为: 室温 18~22 $^{\circ}$ C, 光暗比(L:D)为

收稿日期: 2010-03-17; 修回日期: 2010-04-09

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-213-3); 国家自然科学基金资助项目(40821004, 40776092); IPY 中国行动计划

作者简介: 刘梦坛(1983-), 男, 重庆人, 博士研究生, 从事海洋浮游动物生态学研究, E-mail: liumengtan@163.com, 电话: 0532-82898599; 李超伦, 通信作者, E-mail: lcl@qdio.ac.cn

12 h: 12 h。将上述几种微藻以 $f/2$ 培养液培养至对数生长期, 每种微藻取约 200 ~ 500 mL 藻液经过 2 400 r/min 离心 5 min 后收集藻细胞沉淀, 样品经冷冻干燥 48 h 后称质量。每种微藻取 3 个平行样。

1.2 脂肪酸分析测定

向样品中加入 19:0 脂肪酸甲酯作为内标, 0.01% BHT 甲醇溶液作为抗氧化剂。样品处理过程参照 Folch 等^[11]和 Parrish^[12]的方法。简单来说, 样品经二氯甲烷: 甲醇(2: 1)提取总脂后用高纯氮气吹干, 然后加入 1 mL 0.5 mol/L KOH 甲醇溶液并在氮气的保护下于 80 °C 水浴中皂化 2 h。冷却后向样品中加入 1 mL 14 % BF_3 甲醇溶液并于 80 °C 水浴中甲酯化反应 1 h。用正己烷萃取脂肪酸甲酯, 样品定容至 0.4 mL 后上机测定。甲醇、二氯甲烷和正己烷均为 Merck 公司生产的色谱纯。 BF_3 甲醇溶液、脂肪酸标样、BHT 均为 Sigma 公司生产。

脂肪酸的组成和含量用 Agilent 7890A 型气相色谱仪来分析。色谱条件如下: 毛细管色谱柱: DB-FFAP(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm); 进样口温度: 220 °C; 检测器温度: 280 °C; 柱温: 程序升温 150 °C (1 min) 3 °C/min 220 °C (33 min)。

1.3 数据统计方法

脂肪酸含量的计算先采用内标标准曲线法计算绝对含量, 然后再换算成百分含量。对 4 种微藻脂肪酸组成进行主成分分析和聚类分析。所有统计分析均采用 SPSS16.0。

2 结果

2.1 4 种海洋微藻脂肪酸组成

4 种海洋微藻的脂肪酸组成如表 1 所示。海洋原甲藻的总脂肪酸含量最高, 达到 70 mg/g, 而角毛藻的总脂肪酸含量仅有 7.1 mg/g。经过 t 检验发现, 两种甲藻的总脂肪酸含量均显著高于两种硅藻 ($P < 0.01$)。两种甲藻的总脂肪酸含量并无明显差别, 而两种硅藻的总脂肪酸含量之间的差别却达到了极显著水平 ($P < 0.01$)。

锥状斯氏藻和海洋原甲藻的主要脂肪酸均为 16:0、18:4 ω 3、18:5 ω 3、20:3 ω 6 和 22:6 ω 3。各脂肪酸的含量差别不大, 但 20:5 ω 3 在锥状斯氏藻中占了约 4 %, 而在海洋原甲藻中仅占 0.6 %。中肋骨条藻和角毛藻的主要脂肪酸有 14:0、16:0、16:1 ω 7 和

20:5 ω 3。但 16:3 ω 4 在中肋骨条藻中占到了 16.66 %, 在角毛藻中则仅占 4 %。16:4 ω 3 则相反, 在角毛藻中占到了 10.34 %, 在中肋骨条藻中则含量很低。此外, 18:4 ω 3 在中肋骨条藻中占到了 5.6 %, 而在角毛藻中仅有 1.13 %。总的来说, 两种硅藻的脂肪酸组成差别也不大, 只有个别脂肪酸的含量存在差别。

在此基础上, 分别比较了 4 种微藻饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)、多不饱和脂肪酸(PUFA)、 ω 3、 ω 6 等几个重要的脂肪酸参数(图 1)。饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸在硅藻中占的比例均高于甲藻。而甲藻中多不饱和脂肪酸所占的比例则要高于硅藻。 ω 3 和 ω 6 脂肪酸在甲藻和硅藻中占的比重相反, 甲藻含有较多的 ω 3 脂肪酸, 而硅藻则含有较多的 ω 6 脂肪酸。另外, 硅藻的 16 碳脂肪酸高于甲藻, 而甲藻的 18 碳脂肪酸则明显高于硅藻。总的来说, 甲藻不饱和脂肪酸的含量要稍高于硅藻。

2.2 微藻脂肪酸组成的多元统计分析

以脂肪酸的含量作为变量, 对 4 种微藻进行聚类分析(图 2)。结果表明, 4 种微藻明显的分为两组: 一组是锥状斯氏藻和海洋原甲藻聚, 另一组是中肋骨条藻和角毛藻。锥状斯氏藻和海洋原甲藻之间的修正距离在 1 左右, 而中肋骨条藻和角毛藻之间的修正距离在 2.5 左右。

将 4 种微藻的脂肪酸数据进行主成分分析(图 3)。通过主成分分析的降维处理, 不仅能从统计上找出这几种微藻脂肪酸组成的差异, 还能反映各种微藻在化学分类学上的相对地位。结果显示, 甲藻和硅藻分别位于主成分 1 维度的两端, 表明甲藻和硅藻脂肪酸组成存在差别。通过主成分 1 可以看出, 甲藻和硅藻脂肪酸组成的差异主要表现在硅藻 14:0、16:1 ω 7 和 20:5 ω 3 的含量较高, 而甲藻 18:4 ω 3、18:5 ω 3、20:3 ω 6 和 22:6 ω 3 的含量较高。因此, 主成分 1 能够解释硅藻和甲藻脂肪酸组成的差异, 它代表了 51.830 % 的变异。两种甲藻在主成分分析图上的分布比较集中, 说明二者脂肪酸组成差别不大。两种硅藻分布在主成分 2 维度的两端, 说明二者的脂肪酸组成也存在差异。这种差异表现在中肋骨条藻 16:3 ω 4、18:1 ω 9、18:2 ω 6 和 18:4 ω 3 的含量较高, 另外 20:2 ω 6、20:4 ω 6 和 20:4 ω 3 是角毛藻没有的。而角毛藻 16:4 ω 3、16:2 ω 4 和 18:0 的含量较高。因此, 主成分 2 能够解释中肋骨条藻和角毛藻脂肪酸组成的差异, 它代表了 26.912 % 的变异。

表 1 4 种海洋微藻脂肪酸组成(%)

Tab. 1 Fatty acid compositions of two dinoflagellates and two diatoms (%)

| 脂肪酸 | ST(n=3) | PM(n=3) | SC(n=3) | CS(n=3) |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 14:0 | 1.99±0.84 | 0.82±0.06 | 14.45±1.06 | 13.04±0.72 |
| 15:0i | 1.24±0.83 | 1.23±0.65 | 2.44±1.25 | 3.77±0.16 |
| 15:0ai | — | — | 0.09±0.16 | 2.20±0.91 |
| 15:0 | — | — | 0.72±0.18 | 0.18±0.31 |
| 16:0 | 15.07±1.46 | 15.21±0.22 | 7.41±3.24 | 8.62±2.27 |
| 16:1ω9 | 1.14±0.84 | — | 0.32±0.10 | — |
| 16:1ω7 | 0.21±0.19 | 0.34±0.07 | 8.32±2.22 | 9.56±1.60 |
| 16:1ω5 | 0.99±0.22 | 0.62±0.03 | 0.63±0.37 | 0.98±0.07 |
| 16:2ω4 | — | 0.04±0.08 | 1.46±0.09 | 5.99±0.16 |
| 16:3ω4 | 0.11±0.18 | 0.51±0.88 | 16.66±2.16 | 3.93±0.67 |
| 16:4ω3 | — | — | 1.33±0.26 | 10.34±2.63 |
| 17:0i | 0.45±0.08 | 0.39±0.02 | 0.64±0.31 | 0.16±0.28 |
| 17:0 | 0.03±0.06 | 0.08±0.07 | — | — |
| 18:0 | 0.50±0.23 | 0.52±0.06 | 0.30±0.01 | 0.75±0.14 |
| 18:1ω9 | 1.31±0.40 | 0.76±0.01 | 1.42±0.48 | 0.16±0.28 |
| 18:1ω7 | 0.46±0.57 | 1.10±0.08 | 2.15±0.79 | 3.39±1.15 |
| 18:2ω6 | 0.68±0.14 | 0.45±0.02 | 1.71±0.08 | 0.13±0.23 |
| 18:3ω3 | 0.62±1.07 | 1.99±0.01 | 0.52±0.12 | — |
| 18:4ω3 | 17.39±0.66 | 18.79±0.19 | 5.58±2.15 | 1.13±0.14 |
| 18:5ω3 | 22.77±0.89 | 26.37±0.69 | — | — |
| 20:0 | 0.55±0.09 | 0.54±0.04 | — | — |
| 20:2ω6 | — | — | 0.53±0.52 | — |
| 20:3ω6 | 8.16±0.22 | 9.10±0.22 | — | — |
| 20:4ω6 | — | — | 0.35±0.07 | — |
| 20:4ω3 | — | — | 0.57±0.08 | — |
| 20:5ω3 | 3.94±2.60 | 0.58±0.04 | 30.22±3.21 | 35.13±3.25 |
| 22:5ω6 | — | — | — | 0.52±0.91 |
| 22:6ω3 | 22.38±0.39 | 20.55±0.25 | 2.18±0.27 | — |
| TFA(mg/g) | 56.35±3.82 | 70.08±3.53 | 24.18±0.57 | 7.13±1.57 |

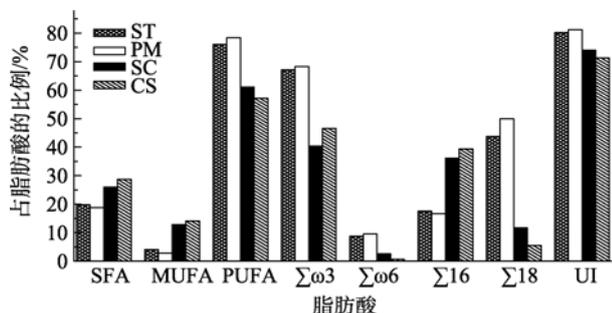


图 1 4 种微藻的几个重要脂肪酸参数

Fig. 1 Contents of selected fatty acid markers in each algae culture

SFA.饱和脂肪酸; MUFA.单不饱和脂肪酸; PUFA.多不饱和脂肪酸; UI.不饱和指数

SFA.saturated fatty acid; MUFA.monounsaturated fatty acid; PUFA.polyunsaturated fatty acid; UI.unsaturated index

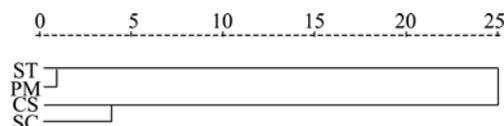


图 2 几种微藻脂肪酸组成的聚类分析图

Fig. 2 Cluster analysis based on the fatty acid compositions of four algae species

3 讨论

3.1 微藻脂肪酸组成分析

关于海洋微藻脂肪酸组成的研究从 20 世纪 50~60 年代开始就有很多的报道^[13]。海洋微藻各个门类的脂肪酸组成具有其各自明显的特征^[1, 2, 8, 14]。本研究中锥状斯氏藻和海洋原甲藻的主要脂肪酸有

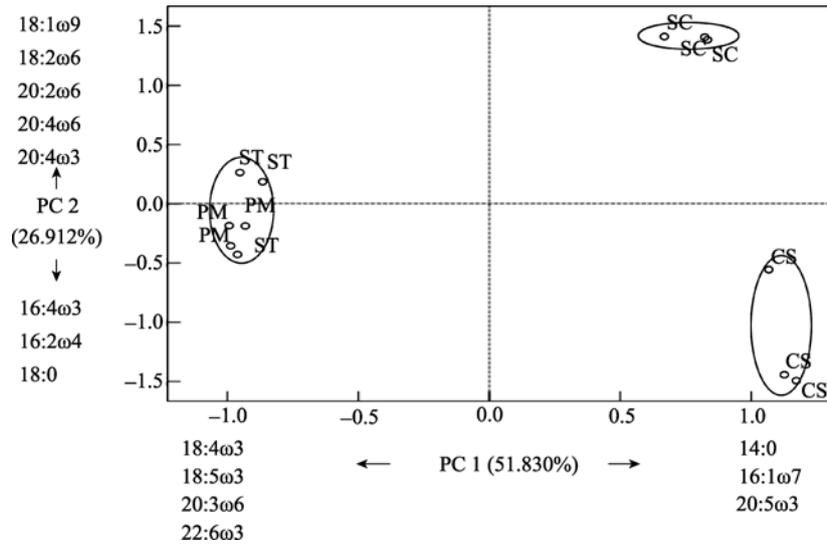


图 3 几种微藻脂肪酸组成的主成分分析

Fig. 3 Principal component analysis based on the fatty acid compositions of four algae species

16:0、18:4 ω 3、18:5 ω 3、20:3 ω 6、22:6 ω 3, 表现出甲藻门的典型特征^[1, 8]。中肋骨条藻和角毛藻中 14:0、16:0、16:1 ω 7、20:5 ω 3 的含量较高, 表现出硅藻门的典型特征^[1, 8]。其中甲藻中的 18:4 ω 3 和硅藻中的 16:1 ω 7, 目前已经被广泛作为硅藻和甲藻的特征脂肪酸, 用于指示自然生态系统颗粒悬浮物中的硅藻和甲藻成分^[15~17]以及硅藻和甲藻脂肪酸沿食物链的传递过程^[18]。本研究中两种甲藻的脂肪酸组成差别不大。中肋骨条藻和角毛藻虽然同属硅藻门, 但其 16:3 ω 4 和 16:4 ω 3 两种脂肪酸的含量仍然差别较大。说明二者某些代谢途径仍然存在较大差别。而这种差别可能就是造成二者在硅藻门中分类地位差异的原因。另外, 本研究中两种甲藻 18 碳脂肪酸的含量均高于 16 碳脂肪酸, 但 Dalsgaard 等^[2]根据 11 种甲藻的脂肪酸含量的平均得出的结果显示, 甲藻 16 碳脂肪酸的含量要稍高于 18 碳脂肪酸。这可能是由于各研究所用甲藻藻种不同, 因此各种脂肪酸含量差异较大。例如章炜等^[19]对 3 种甲藻微小亚历山大藻 (*Alexandrium minatum*)、海洋原甲藻 (*Prorocentrum micans*)、亚历山大藻 (*Alexandrium lusitanicum*) 的研究中, 3 种甲藻由于几种主要脂肪酸 16:0、18:1 ω 9、18:2 ω 6、18:4 ω 3、18:5 ω 3 含量相差较大, 其 16 碳脂肪酸和 18 碳脂肪酸的比例也截然不同。因此, 16 碳脂肪酸和 18 碳脂肪酸的相对含量可能并不适合作为甲藻门的特征。两种硅藻中 16 碳脂肪酸的含量均远高于 18 碳脂肪酸, 这与 Dalsgaard 等^[2]的结果是一致的, 这一特点也被广泛认为是硅藻的显著特征^[17, 20]。

本研究中, 在相同培养条件下两种甲藻的总脂肪酸含量均显著高于两种硅藻。此外, 甲藻中表征饵料质量的 PUFA、 ω 3 和 ω 6 脂肪酸^[21, 22]的含量也高于两种硅藻。因此, 从总脂肪酸的角度来说, 单位干质量的这两种甲藻能够比两种硅藻提供给捕食者更多的脂肪酸类营养物质。但对于不同微藻而言, 其脂肪酸组成和其他营养成分组成都是不同的^[5]。本研究中 20:5 ω 3 在硅藻中的含量很高, 在甲藻中却很低, 而 22:6 ω 3 则在甲藻中含量高在硅藻中含量低。但对于捕食者而言, 这两种脂肪酸均为必需脂肪酸^[5~7], 因此单一微藻不可能满足捕食者的营养需求, 通常需要将不同饵料混合以获得营养价值更高的饵料^[5]。

3.2 4 种海洋微藻的化学分类学分析

利用海洋微藻的脂肪酸进行化学分类学研究的可行性已经广泛的被国内外的研究者证实^[8, 23, 24]。最典型的例子是对于海洋小球藻 (*marine Chlorella*) 的化学分类学的研究。以前根据形态分类通常将小球藻归为绿藻门, 但从脂肪酸组成来看, 小球藻的主要脂肪酸为 16:0、16:1 ω 7、18:1 ω 9、20:5 ω 3, 与其他绿藻相差较大而与大眼藻的脂肪酸组成特点相似, 因此许多研究者将小球藻归为大眼藻 (*Eustigmatophyceae*)^[1, 9, 25]。

通常对藻类化学分类学的研究采用的都是聚类分析法, 这种方法不仅能直观地反映各种微藻的分类地位^[19, 23], 还能通过各种微藻之间的修正距离反映种内、种间亲缘关系的远近^[19]。本文几种微藻脂

脂肪酸组成聚类分析结果显示,硅藻和甲藻明显的分为两组,从脂肪酸的角度证明了二者在亲缘关系上存在内在差异(图 2)。两种甲藻间修正距离较小,说明二者在甲藻门中亲缘关系较近。两种硅藻间修正距离较大,说明二者在硅藻门中亲缘关系相对较远。聚类分析虽然能够反映各分类阶元亲缘关系的远近,但不能直观反映各分类单元之间的差别是由哪些脂肪酸造成的。因此,本文在聚类分析的基础上引入了主成分分析。主成分分析一方面能反映各种微藻在分类学上的相对地位,另一方面则可以反映出各分类单元的脂肪酸组成特征。根据主成分分析的结果,硅藻 14:0、16:1 ω 7 和 20:5 ω 3 的含量较高,而甲藻 18:4 ω 3、18:5 ω 3、20:3 ω 6 和 22:6 ω 3 的含量较高。这与李荷芳等^[1]、李春颖等^[8]的结果是一致的。同时,这些特征脂肪酸综合成为主成分 1,解释了两个分类单元脂肪酸组成的差异。两种甲藻分布的比较集中,说明二者在甲藻门中分类地位相近。两种硅藻在主成分 2 上的呈离散状分布,说明二者在硅藻门中分类地位相差的较远,这与聚类分析的结果也是一致的。另外,通过主成分分析还能发现两种硅藻脂肪酸组成的差异:中肋骨条藻 16:3 ω 4、18:1 ω 9、18:2 ω 6、20:2 ω 6、20:4 ω 6 和 20:4 ω 3 的含量较高,而角毛藻 16:4 ω 3、16:2 ω 4 和 18:0 的含量较高。主成分分析与聚类分析相比的缺点在于不能对不同分类单元的亲缘关系得出一个量化的结论。因此,在对藻类进行主成分分析时,将两种分析方法结合可能是一个较好的选择。

本文的研究结果再次证明,海洋微藻同一分类单元中各物种脂肪酸组成相近,且具有不同于其他门类的脂肪酸组成特征。微藻脂肪酸的这一特性一方面能够用来对单种培养的微藻进行化学分类学的研究,另一方面则可以被用作生物标记分析自然水体中藻类的组成情况和营养价值,以及用于食物链中物质传递以及营养动力学的研究。但是,对于同一门类中不同藻种之间的脂肪酸组成特征对比分析显示,某些种类可能较为近似,例如本次研究中的两种甲藻;但是有的种类之间的种间差异可能较大,如中肋骨条藻和角毛藻。因此在应用脂肪酸作为生物标记物时,需要考虑到可能存在的种间差异,以获得更为真实准确的结果。

参考文献:

[1] 李荷芳,周汉秋. 海洋微藻脂肪酸组成的比较研究

- [J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(1): 34-40.
- [2] Dalsgaard J, St. John M, Kattner G, *et al.* Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment [J]. **Advances in Marine Biology**, 2003, 46: 225-340.
- [3] Read G H L. The response of *Penaeus indicus* (Crustacea, Penaidae) to purified and compounded diets of varying fatty acid composition [J]. **Aquaculture**, 1981, 24: 245-256.
- [4] Scott A P, Middleton C. Unicellular algae as a food for turbot (*Scophthalmus maximus* L.) larvae: the importance of dietary long-chain polyunsaturated fatty acids [J]. **Aquaculture**, 1979, 18: 227-240.
- [5] Enright C T, Newkirk G F, Craigie J S, *et al.* Evaluation of phytoplankton as diets for juvenile *Ostrea edulis* L [J]. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 1986, 96: 1-13.
- [6] Levine D M, Sulkin S D. Nutritional significance of long-chain polyunsaturated fatty acids to the zoeal development of the brachyuran crab, *Eurypanopeus depressus* (Smith) [J]. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 1984, 84: 211-223.
- [7] Spector A A. Essentiality of fatty acids [J]. **Lipids**, 1999, 34(supplement): S1-S3.
- [8] 李春颖,仇雪梅. 海洋微藻脂肪酸组成的研究进展 [J]. 生物技术通报, 2008, 4: 63-65.
- [9] Zhukova N V, Aizdaicher N A. Fatty acid composition of 15 species of marine microalgae [J]. **Phytochemistry**, 1995, 39(2): 351-356.
- [10] Viso A C, Marty J C. Fatty acids from 28 marine microalgae [J]. **Phytochemistry**, 1993, 37(6): 1 521-1 533.
- [11] Folch J, Lees M, Sloane Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. **Journal of Biology and Chemistry**, 1957, 226: 497-509.
- [12] 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. 5-20.
- [13] Ackman R G, Tocher C S, McLachlan J. Marine phytoplankter fatty acids [J]. **Journal of the Fisheries Research Board of Canada**, 1968, 25(8): 1 603-1 620.
- [14] Volkman J K, Barrett S M, Blackburn S I, *et al.* Microalgal biomarkers: a review of recent research developments [J]. **Organic Geochemistry**, 1998, 29: 1 163-1 179.
- [15] 吕淑果,韩博平,孙松,等. 藻华发生过程中胶州湾

- 水体颗粒有机物脂肪酸的组成与动态 [J]. 生态学报, 2009, 5: 2 391-2 399.
- [16] Kattner G, Gercken G, Eberlein K. Development of lipids during a spring plankton bloom in the northern North Sea I. Particulate fatty acids [J]. **Marine Chemistry**, 1983, 14: 149-162.
- [17] Claustre H, Marty J C, Cassiani L, *et al.* Fatty acid dynamics in phytoplankton and microzooplankton communities during a spring bloom in the coastal Ligurian Sea: Ecological implications [J]. **Marine Microbial Food Webs**, 1988/1989, 3(2): 51-66.
- [18] Fraser A J, Sargent J R. Formation and transfer of fatty acids in an enclosed marine food chain comprising phytoplankton, zooplankton and herring (*Clupea harengus* L.) larvae [J]. **Marine chemistry**, 1989, 27: 1-18.
- [19] 章炜, 徐继林, 严小军, 等. 利用脂肪酸组成对 26 种(株)海洋微藻聚类分析研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2006, 19(4): 445-450.
- [20] Budge S M, Parrish C C. Lipid biogeochemistry of plankton, settling matter and sediments in Trinity Bay, Newfoundland. II. Fatty acids [J]. **Organic Geochemistry**, 1998, 29: 1 547-1 559.
- [21] Mourente G, Lubián L M, Odriozola J M. Total fatty acid composition as a taxonomic index of some marine microalgae used as food in marine aquaculture [J]. **Hydrobiologia**, 1990, 203: 147-154.
- [22] Kainz M, Arts M T, Mazumder A. Essential fatty acids in the planktonic food web and their ecological role for higher trophic levels [J]. **Limnology and Oceanography**, 2004, 49(5): 1 784-1 793.
- [23] 许河峰. 基于脂肪酸组成的海洋微藻化学计量学分类研究[J]. 海洋通报, 2003, 22(3): 69-72.
- [24] 徐继林, 严小军. 脂类分析在海洋微藻化学分类学上的研究进展[J]. 海洋通报, 2004, 23(2): 65-72.
- [25] Maryuama I, Nakamura T, Marsubayashi T, *et al.* Identification of the alga known as “marine Chlorella” as a member of the Eustigmatophyceae [J]. **Japanese Journal of Phycology**, 1986, 34: 319-326.

Comparative study of fatty acid compositions of two dinoflagellates and two diatoms

LIU Meng-tan^{1, 2}, LI Chao-lun^{1, 3}, SUN Song^{1, 3}

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Jiaozhou Bay Ecosystem Research Station, Qingdao 266071, China)

Received: Mar., 17, 2010

Key words: dinoflagellates; diatom; fatty acid

Abstract: Fatty acid compositions, an important index of nutrition, were analyzed for four algae, *Scrippsiella trochoidea*, *Prorocentrum micans*, *Skeletonema costatum* and *Chaetoceros* sp.. For *S. trochoidea* and *P. micans*, the dominance of 16:0, 18:4 ω 3, 18:5 ω 3, 20:3 ω 6, 22:6 ω 3 indicated a typical fatty acid composition of dinoflagellates. For *S. costatum* and *Chaetoceros* sp., the dominant fatty acids were 14:0, 16:0, 16:1 ω 7, and 20:5 ω 3, suggesting a diatom feature. It could be inferred that dinoflagellates could offer more nutritional fatty acids than the two diatoms based on the contents of total fatty acid, PUFA, ω 3, and ω 6 fatty acids. However, to the grazers, some essential fatty acids such as 20:5 ω 3 etc. were exclusively abundant in diatoms, which suggested that unialgae could hardly provide comprehensive nutrients and mixed algae would be a better choice. Principal component analysis and cluster analysis were employed in the chemotaxonomy of these algae. *S. trochoidea* and *P. micans* were close to each other in systematic status according to their concentrated distributions in the principal component analysis plot and the cluster plot. Although grouped in the same class in the cluster plot, *S. costatum* and *Chaetoceros* sp. were distributed away from each other along principal component 2, indicating their different taxonomy status in Bacillariophyceae.

(本文编辑: 康亦兼)