

四种绿藻和四种褐藻脂肪酸组成的比较研究

彭全材, 宋金明, 张全斌, 林 强

(中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 对绿藻门和褐藻门 8 种大型海藻的脂肪酸组成进行了研究, 发现两类海藻都有其特征脂肪酸或有几种特征脂肪酸组合做为其化学分类的标记。4 种绿藻的主要脂肪酸是 16: 0、16: 1 ω 7、18: 4 ω 3、18: 1 ω 7、18: 2 ω 6、18: 3 ω 3、18: 1 ω 9, 其中 18: 1 ω 7 和 18: 3 ω 3 的含量相对较高; 4 种褐藻中 16: 0、18: 1 ω 9、18: 2 ω 6、18: 3 ω 3、18: 4 ω 3、20: 5 ω 3、20: 4 ω 6 的含量占绝对优势, 十八碳和二十碳多不饱和脂肪酸是褐藻门脂肪酸的典型特征。另外, 褐藻中含有较高含量的 EPA, 海带和裙带菜尤为明显。对 2 门类 5 属 8 株海藻所含脂肪酸进行聚类分析的结果显示海藻各门及种间的亲缘关系, 表明利用静态条件下海藻脂肪酸的聚类分析结果, 可在一定程度上判别海藻在分类上亲缘关系的远近, 海藻脂肪酸组成的差异可以作为海藻分类的一个辅助技术手段。

关键词: 脂肪酸; 化学分类; 绿藻; 褐藻

中图分类号: Q176, Q547 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)04-0027-07

doi: 10.11759/hyxx20130530003

海藻是古老而又原始的低等植物, 其结构简单, 没有根、茎、叶的分化。海藻属于孢子繁殖, 生活在海水里, 没有开花结果的现象, 亦属于隐花植物。海藻对海洋初级生产力的贡献约 10%^[1], 是海洋食物链中重要的一环^[2], 是继鱼类之后人们研究得最多的富含高度不饱和脂肪酸(PUFA, Polyunsaturated fatty acids)的生物, 它能合成 PUFA 并通过食物链转移到不能直接合成这些多烯酸的鱼类或其他水生生物中去^[3]。海藻的脂肪酸丰富多样, 主要包括 C14-C22 的饱和脂肪酸(Saturated fatty acids, SFA)、单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acids, MUFA)和多元不饱和脂肪酸(PUFA)^[4], SFAs 对桡足类的繁殖有重要的相关性^[5], PUFAs 在幼鱼的存活、发育、能量储存、组织结构发育以及细胞膜的形成等方面具有重要作用^[6]。20: 5 ω 3(EPA, Eicosapentenoic Acid)和 22: 6 ω 3(DHA, Docosahexaenoic Acid)是很多动物幼体发育的必需脂肪酸, 对生物神经组织的形成、眼、视网膜和脑的发育起着至关重要的作用^[7, 8]。有研究表明, 浮游动物无法合成 n-3 和 n-6 的多元不饱和脂肪酸, 而这些脂肪酸对其生殖功能起着重要作用^[9], 因此缺乏这类营养必然会影响到浮游动物的产卵和孵化。此外, 脂肪酸还通常被用来反映浮游植物群落结构变化^[10], 指示海洋动物的摄食选择性^[11]。当赤潮或水华发生时, 还可以通过监测藻类细胞脂肪酸含量和组成的变化, 推测赤潮或水华的发展阶段^[12]。

由于海洋环境的特殊性, 经过长期的自然选择, 海洋藻类与陆地植物相比更富含长链高度不饱和脂肪酸; 且各种脂肪酸在不同分类单元海藻中的分布存在异同, 不同种类的藻具有其本身的特征脂肪酸^[13-14], 这在化学分类学上有着重要的意义。

本文以取自青岛近海的四种绿藻和四种褐藻为研究对象, 研究其脂肪酸的组成的异同。在此基础上对其营养价值的进行探讨评价, 并应用多元统计方法对目标海藻的脂肪酸组成特征进行分析, 探究脂肪酸在海藻化学分类学中的应用, 确定不同研究对象的亲缘关系。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所有海藻均取自青岛近海, 采集后沥干海水, 放入 4℃冰箱备用。所选样品为两门 8 种, 包括绿藻 4 种(孔石莼、缘管浒苔、羽藻、浒苔)和褐藻 4 种(鼠尾藻、海带、裙带菜、马尾藻)。样本编号见表 1。

收稿日期: 2013-05-30; 修回日期: 2013-07-04

基金项目: 国家 863 资助项目课题(2010AA093701); 中国科学院仪器设备功能开发技术创新项目(yg2010020)

作者简介: 彭全材(1983-), 男, 江西萍乡人, 硕士, 主要从事分析检测与植物化学研究, E-mail: quancaipeng@163.com; 宋金明, 通信作者, 研究员, 博士生导师. E-mail: jmsong@qdio.ac.cn

表 1 实验用海藻代码及分类学位置

Tab.1 Names, codes and characters of seaweeds used in this experiment

序号	名称	学名	本文代码	分类学位置
1	孔石莼	<i>Ulva pertusa Kjellm</i>	UK	绿藻门、绿藻纲、石莼目、石莼科、石莼属
2	缘管浒苔	<i>Enteromorpha linza</i>	EL	绿藻门、绿藻纲、石莼目、石莼科、石莼属
3	羽藻	<i>Bryopsis plumosa Ag.</i>	BP	绿藻门、绿藻纲、松藻目、羽藻科、羽藻属
4	浒苔	<i>Enteromorpha prolifera</i>	EC	绿藻门、绿藻纲、石莼目、石莼科、石莼属
5	鼠尾藻	<i>Sargassum thunbergii Okam.</i>	ST	褐藻门、圆子纲、墨角藻目、马尾藻科、马尾藻属
6	海带	<i>Laminaria japonica Aresch</i>	LA	褐藻门、褐藻纲、海带目、海带科、海带属
7	裙带菜	<i>Undaria pinnatifida Sur.</i>	UP	褐藻门、褐子纲、海带目、翅昆布科、裙带菜属
8	马尾藻	<i>Sargassum enerve Ag.</i>	SE	褐藻门、圆子纲、墨角藻目、马尾藻科、马尾藻属

1.2 脂肪酸分析测定

1.2.1 样品处理

样品处理过程参照 Bai 等^[15]的方法。取鲜样品 10.0 g, 将其放入灼烧过的玻璃培养皿中并均匀平铺(厚度不超过 2 cm), 将培养皿放入-20 °C 预冻 10 h, 取出用冷冻干燥机干燥 20 h。将干燥好的海藻样品进行研磨, 过 40 目筛。准确称取粉碎过筛后的样品 40 mg, 置于 450 °C 灼烧 4 h 的具塞尖底玻璃管中, 加 C19: 0 内标溶液 1 mL, 分别加入 2 mL 二氯甲烷和 1 mL 甲醇, 冰浴下超声破碎提取 10 min, 加入 1.0 mL 超纯水, 弃除上清液, 用巴斯德吸管吸取下层二氯甲烷溶液, 重复以上提取步骤 3 次, 合并二氯甲烷层溶液, 用无水硫酸钠除水, 氮气吹干, 加入 0.5 mL 正己烷后, 再加入 5 mL 2 mol/L 的硫酸/甲醇溶液, 于 80 °C 水浴中甲酯化 4 h, 冷却后, 分 2 次加入 5 mL 正己烷进行萃取, 将萃取后的正己烷溶液氮气吹干, 加正己烷定容至 1 mL, 摇匀, 0.20 μm 滤膜过滤, 待测。

1.2.2 色谱条件

脂肪酸的测定采用气相色谱法^[16], 采用 DB-FFAP 弹性石英毛细管柱(30m×0.25mm×0.25μm); 载气流速: 1.0 mL/min; 程序升温: 50 °C 保持 3 min, 再以 10 °C/min 升至 230 °C, 保持 15 min; 载气: 氮气; 柱头压: 35.5 kPa; 分流进样, 分流比 10 : 1; 进样口温度: 220 °C; 火焰离子化检测器(FID)温度: 280 °C; 进样体积: 1.0 μL。

1.3 数据统计方法

脂肪酸含量采用内标法进行定量, 然后再换算成百分含量。通过 SPSS 软件对所得数据进行聚类分析和数理统计, 所有统计分析均采用 SPSS16.0。

2 结果与分析

2.1 海藻脂肪酸组成

8 种海藻的脂肪酸组成如表 2 所示。t 检验显示两大门类海藻的总脂肪酸含量无明显差别($P > 0.05$, 表 3)。4 种绿藻平均总脂肪酸含量(15.91 mg/g)要高于 4 种褐藻的平均总脂肪酸含量(11.24 mg/g)。羽藻的总脂肪酸含量最高, 达到 38.79 mg/g, 而鼠尾藻的总脂肪酸含量仅有 6.87 mg/g。

8 种海藻中 SFAs 含量高于 MUFAs 和 PUFAs; 16 碳脂肪酸总量(C16)高于 18 碳脂肪酸总量(C18), 20 碳脂肪酸总量(C20)含量最低(表 2)。孔石莼、缘管浒苔、羽藻、浒苔等 4 种绿藻主要脂肪酸为 16: 0、18: 1ω9、18: 3ω3、18: 2ω6、18: 1ω7, 鼠尾藻、海带、裙带菜、马尾藻等 4 种褐藻主要脂肪酸为 16: 0、18: 1ω9、18: 2ω6、18: 3ω3、20: 4ω6、20: 5ω3。绿藻中 18: 1ω7 脂肪酸含量高于褐藻, 褐藻中 18: 1ω9 脂肪酸的含量要远远高于绿藻(表 2)。

2.2 脂肪酸组成统计分析

以脂肪酸的含量作为变量, 对 8 种海藻进行了聚类分析(图 1)。当类合并距离尺度约为 18 时可为 2 类, 类 I 包括 UK、EL、EC、BP, 均属于绿藻门, 类 II 包括 ST、SE、UP、LA, 隶属于褐藻门。当类合并距离尺度定义为 4 时, 8 种海藻可分为 5 类: 类 I 包括 UK、EL、EC, 类 II 为 BP, 类 III 包括 ST 和 SE, 类 IV 为 UP, 类 V 为 LA。

当 8 种海藻分成 2 类时, 脂肪酸 18: 3ω3、18: 1ω7、18: 1ω9 有明显差别($P < 0.05$, 表 4); 8 种海藻分成 5 类时, 脂肪酸 14: 0、16: 0、18: 1ω9、18: 1ω7、18: 3ω3、18: 4ω3、20: 1ω9、20: 5ω3、20: 2ω6 有明显差别($P < 0.05$, 表 4)。

表 2 8 种海藻脂肪酸组成

Tab.2 Fatty acid compositions of eight seaweeds

脂肪酸(FA)	脂肪酸相对质量分数(%)							
	UK	EL	BP	EC	ST	LA	UP	SE
8: 0	0.28	0.18	0.07	0.91	0.20	0.16	0.12	0.10
12: 0	-	-	0.14	-	-	0.05	-	0.18
14: 0	2.56	1.54	3.37	1.79	8.51	0.64	9.24	6.88
15: 0	0.71	0.79	0.14	0.41	0.48	0.54	0.49	0.38
16: 0	47.23	49.51	35.04	47.11	45.57	36.18	43.76	44.99
16: 1 ω 9	0.67	0.42	0.97	0.20	0.31	0.39	0.52	0.37
16: 1 ω 7	3.59	3.10	2.56	0.36	10.97	0.11	0.28	8.54
16: 1 ω 5	-	-	0.12	-	-	0.13	-	0.08
16: 2 ω 4	0.34	-	0.12	-	0.81	0.05	-	0.23
17: 0	0.39	0.37	0.14	0.43	0.19	0.32	0.24	0.30
17: 1	0.35	0.23	0.13	0.95	0.34	0.27	0.24	-
18: 0	-	-	-	-	3.49	-	4.38	-
18: 1 ω 9	2.59	1.94	4.44	2.30	11.93	29.83	17.53	10.84
18: 1 ω 7	13.84	14.10	8.74	16.98	1.19	0.65	0.71	2.47
18: 2 ω 6	7.21	7.02	14.32	0.23	4.59	8.64	4.13	3.97
18: 3 ω 3	11.95	10.92	21.92	16.43	4.28	2.52	3.85	3.36
18: 4 ω 3	4.81	5.54	0.33	6.66	0.45	4.02	5.16	1.84
20: 0	0.23	0.40	0.08	0.54	0.32	0.87	1.01	0.50
20: 1 ω 9	0.68	1.06	0.28	0.48	2.32	0.91	0.65	2.87
20: 2 ω 6	-	-	0.31	-	-	0.17	0	0.11
20: 3 ω 6	-	0.87	1.04	1.26	-	0.38	0.32	0.43
20: 4 ω 6	0.81	1.18	4.82	0.71	2.48	7.10	3.53	8.07
20: 5 ω 3	0.55	0.82	0.71	1.13	0.71	5.85	3.83	2.41
22: 0	1.19	-	0.16	1.09	0.84	-	-	1.046
22: 6 ω 3	-	-	-	-	-	0.19	-	-
PUFA(n-3)	17.31	17.28	22.96	24.22	5.44	12.58	12.84	7.61
PUFA(n-6)	8.02	9.07	20.49	2.2	7.07	16.29	7.98	12.58
C16	51.83	53.03	38.81	47.67	57.66	36.86	44.56	54.21
C18	40.4	39.52	49.75	42.6	25.93	45.66	35.76	22.48
C20	2.27	4.33	7.24	4.12	5.83	15.28	9.34	14.39
SFA	52.60	52.80	39.17	52.29	59.61	38.77	59.24	54.39
MUFA	21.73	20.85	17.25	21.28	27.07	32.29	19.93	25.18
PUFA	25.67	26.35	43.58	26.43	13.32	28.94	20.83	20.43
TFA(mg/g)	7.37	9.24	38.79	8.25	6.87	14.68	13.44	9.98

*: “-” 表示含量在检测限以下

表 3 绿藻与褐藻总脂肪酸的显著性检验

Tab.3 The statistical significance test of average difference between the Green algae and Brown algae

名称	平均总含量(mg/g)	标准差	显著性	T 统计相伴概率
绿藻	15.91	15.27	0.069	0.57
褐藻	11.24	3.53	-	-

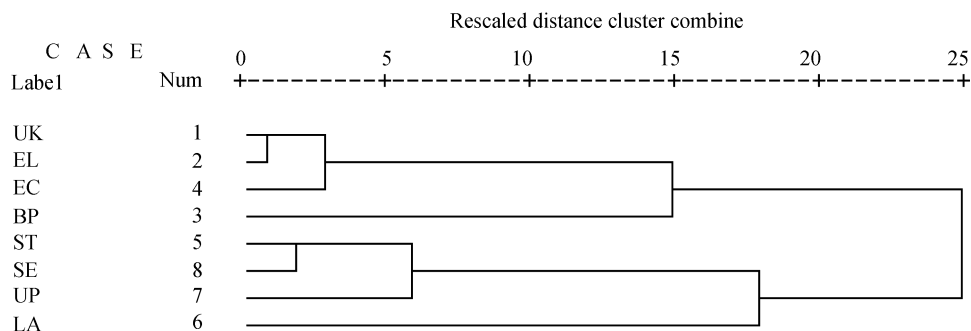


图 1 几种海藻脂肪酸组成的聚类分析图

Fig.1 Cluster analysis based on the fatty acid compositions of eight seaweeds species

表 4 海藻中各脂肪酸的显著性检验

Tab.4 The statistical significance test of average difference between the algae

脂肪酸	2 类		5 类	
	F 值	显著性	F 值	显著性
8: 0	1.286	0.300	0.484	0.752
12: 0	4.063	0.090	2.267	0.264
14: 0	4.009	0.092	30.929	0.009
15: 0	0.069	0.802	1.730	0.340
16: 0	0.284	0.613	37.389	0.007
16: 1ω 9	0.954	0.366	1.978	0.301
16: 1ω 7	0.791	0.408	8.711	0.053
16: 1ω 5	0.263	0.626	4.896	0.111
16: 2ω 4	0.606	0.466	0.905	0.555
17: 0	0.952	0.367	6.028	0.086
17: 1	1.044	0.346	0.418	0.791
18: 0	2.925	0.138	2.159	0.277
18: 1ω 9	11.242	0.015	617.204	0.000
18: 1ω 7	47.497	0.000	35.492	0.007
18: 2ω 6	0.365	0.568	2.104	0.284
18: 3ω 3	21.647	0.003	14.424	0.027
18: 4ω 3	0.706	0.433	10.604	0.041
20: 0	3.691	0.103	7.286	0.067
20: 1ω 9	3.554	0.108	13.263	0.030
20: 2ω 6	0.007	0.935	10.852	0.039
20: 3ω 6	3.041	0.132	0.504	0.741
20: 4ω 6	4.159	0.088	1.963	0.303
20: 5ω 3	4.782	0.071	11.298	0.037
22: 0	0.112	0.749	1.006	0.519
22: 6ω 3	1.000	0.356	-	-

对 8 种海藻中饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)、多不饱和脂肪酸(PUFA)、n-3 多不饱和脂肪酸(ω3)、n-6 多不饱和脂肪酸 PUFA(ω6)、16 碳脂肪酸(C16)、18 碳脂肪酸(C18)、20 碳脂肪酸(C20)、

总脂肪酸含量(TFA)等参数进行主成分分析(图 2), 结果显示, 第一主成分和第二主成分累积方差贡献率达到 83.499%, 其中第一主成分占到总方差的 56.026%, 第二主成分占 27.473%。

通过主成分 1 可以看出, 藻 3(BP)、藻 6(LA)位于主成分 1 的一端, 其他藻类位于主成分 1 的另一端, 结合表 6 可知, LA 中 C20 和 ω6 脂肪酸含量较高, BP

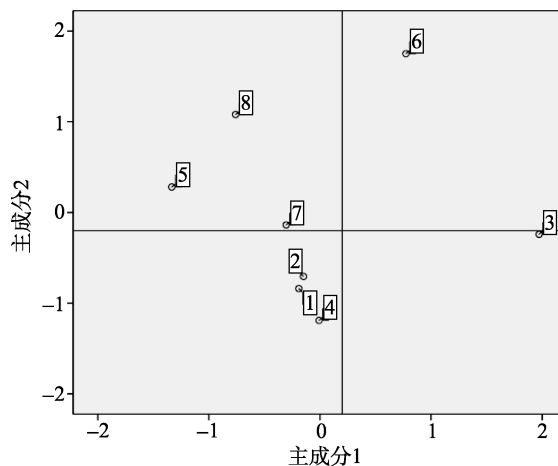


图 2 8 个海藻样品的主成分分析结果

Fig.2 Analysis of Principal Component for Classification of eight samples

表 5 总方差解释表

Tab.5 Total variance explained

成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	5.042	56.026	56.026
2	2.473	27.473	83.499
3	0.881	9.788	93.287
4	0.367	4.081	97.367
5	0.173	1.925	99.293
6	0.060	0.670	99.962
7	0.003	0.038	100.000

表 6 矩阵组成表
Tab.6 Component matrix

变量	成分	
	1	2
SFA	-0.890	-0.316
MUFA	-0.292	0.785
PUFA	0.975	-0.138
TFA	0.868	0.064
n3	0.681	-0.660
n6	0.711	0.553
c16	-0.855	-0.263
c18	0.867	-0.271
c20	0.102	0.921

运用方法: 主成分分析

中 TFA、PUFA、C18、 ω 3、 ω 6 的含量都较高; 其他 6 种藻中 SFA、C16 比较高, 因此, 主成分 1 能够解释为 BP、LA 和其他藻脂肪酸组成的差别。绿藻和褐藻分别位于主成分 2 维度的两端, 差异主要表现在绿藻的 SFA、PUFA、 ω 3、C16、C18 的含量较高, 而褐藻 MUFA、 ω 6、C20 的含量较高。因此, 主成分 2 能够为解释绿藻和褐藻中脂肪酸组成的差异。

3 讨论

3.1 海藻脂肪酸组成差异在其分类中的应用

早在 20 世纪 40 年代 Millner^[17]就提出可以用脂肪酸作为藻类的分类依据。经过过半个世纪的时间, 特征脂肪酸或几种脂肪酸的组合在藻类化学分类方面的研究和运用在国内外已经有较多的报道^[18, 19]。海藻种类繁多, 最初的分类鉴定主要依据形态特征, 但仅从形态对其进行分类并不可靠, 需进一步从生理生化甚至分子水平进行系统研究^[20], 而海藻的脂肪酸组成也是研究分类的重要依据^[21]。石娟等^[22]通过测定并比较了小新月菱形藻和三角褐指藻的色素组成及脂肪酸组成, 发现二者的色素及脂肪酸组成一致, 仅个别成分的相对含量有所不同, 得到了二者亲缘关系很近的结论。

本文 8 种海藻脂肪酸组成聚类分析结果显示, 4 种绿藻和 4 种褐藻可以明显地分为两组, 当距离尺度约为 4 时, 则分为 5 类, 这与生物分类学共分为 5 个属一致。UK、EL、EC 属于石莼属, BP 属于羽藻属, ST、SE 同属于马尾藻属, UP 属于裙带菜属, LA 属于海带属, 结果与现行国际通用的海藻分类结果完全吻合, 进一步证明这种化学分类的可行性。利

用静态条件下海藻脂肪酸的聚类分析结果, 完全可以作为海藻分类的一个良好的辅助技术手段。

3.2 海藻脂肪酸组成特征分析及评价

本文所选 8 种海藻分属两门, 5 个属。4 种绿藻的主要脂肪酸有 16:0、16:1 ω 7、18:4 ω 3、18:1 ω 7、18:2 ω 6、18:3 ω 3、18:1 ω 9。绿藻中石莼属和羽藻属都含有高含量的 18:1 ω 7、18:3 ω 3, 李宪瑾等^[23]也研究证明大型绿藻的 18:3 ω 3 脂肪酸含量比较高, 高含量的 18:1 ω 7、18:3 ω 3 是绿藻脂肪酸组成的突出特征。大多数藻类中都含有比较丰富的 EPA, 但是本文所选 4 种绿藻只含有少量的 20:5 ω 3(EPA)和微量的 22:6 ω 3(DHA), 这进一步证明了 Renaud 等^[24]提出的绿藻不含或很少含 EPA 和 DHA 的论点。4 种褐藻中 16:0、18:1 ω 9、18:2 ω 6、18:3 ω 3、18:4 ω 3、20:5 ω 3、20:4 ω 6 的含量占绝对优势, 十八碳高度不饱和脂肪酸和二十碳脂肪酸的含量较高, 这与褐藻门脂肪酸的典型特征相一致, 海带目的海带所含 18:2 ω 6、20:4 ω 6 分别为 8.64%、7.10%, 而属同一目的裙带菜只含 4.13%、3.53%, 海带比裙带菜富含 n-6 系列高度不饱和脂肪酸多, 可能是海带脂肪酸组成的一个重要特征。绿藻门与褐藻门脂肪酸组分的一个重要区别是所有绿藻都含有 EPA 但是其含量比褐藻低。从主要成分分析可以看出, 羽藻中 TFA、PUFA、C18、 ω 3、 ω 6 的含量较高, 其中 ω 3、 ω 6 脂肪酸很多都是机体所必需的脂肪酸, 所以羽藻有着非常高的营养价值。

本研究中两类海藻中都含有丰富的 MUFA、PUFA、 ω 3、 ω 6 脂肪酸, 可以为海洋动物提供机体所需要的必需脂肪酸。绿藻不含或很少含 EPA 和 DHA, 褐藻含 EPA 和 DHA 也不多, 但是 EPA 和 DHA 又是机体必需的脂肪酸。因此, 在渔业养殖时, 饲料的配对过程中加入适量的 EPA 和 DHA 对鱼类的成活率和繁殖率会有一定的促进作用。通过 8 种海藻的脂肪酸组分研究, 利用静态条件下海藻脂肪酸的聚类分析, 将 8 个不同种类的海藻按其脂肪酸的内在数理统计规律划归 2 大类、5 小类, 这与传统的生物分类学上 8 种海藻隶属于两门五属基本吻合。研究证明脂肪酸种类的不同及其相对含量高低等组成特性, 可以用来辅助判别海藻可能所处的分类学地位。

参考文献:

- [1] Smith J V. Marine macrophytes as a global carbon sink[J]. Science, 1981, 211: 838-840.

- [2] 钱树本, 刘东艳, 孙军. 海藻学[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2005: 53-85.
- [3] 许河峰. 30种海洋绿藻的脂肪酸分类与评价[J]. 海洋科学, 2003, 27(8): 77-80.
- [4] Morris R J, Mecartney M J, Robinson G A. Studies of a spring phytoplankton bloom in an enclosed experimental ecosystem. I. Biochemical changes in relation to the nutrient chemistry of water[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1983, 70: 249-262.
- [5] Li J, Sun S, Li C L. Effect of single and mixed diatom diets on the reproduction of copepod *Calanus sinicus*[J]. Acta Hydrochim hydrobiol, 2006, 34: 117-125.
- [6] Rossi S, Sabatfes A, Latasa M. Lipid biomarkers and trophic linkages between phytoplankton, zoo-plankton and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) larvae in the Nw Mediterranean[J]. Journal of Plankton Research, 2006, 28: 551-562.
- [7] Arendt K E, Jonasdottir S H, Hansen P J. Effects of dietary fatty acids on the reproductive success of the calanoid copepod *Temora longicornis*[J]. Mar Biol, 2005, 146: 513-530.
- [8] Ishizaki Y, Masuda R, Uematsu K. The effect of dietary docosahexaenoic acid on schooling behaviour and brain development in larval yellowtail[J]. J Fish Biol, 2001, 58: 1691-1703.
- [9] Shin K, Jiang M C, Jiang P K. Influence of food quality on egg production and viability of marine planktonic copepod *Acartia ornor*[J]. Progress in Oceanography, 2003, 57: 265-277.
- [10] Daalsgard J, St-John M, Kattner G. Fatty acid trophic markers in the plegic marine environment[J]. Adv Mar Biol, 2003, 46: 225-340.
- [11] Auel H, Harjes M, da Rocha R. Lipid biomarkers indicate different ecological niches and trophic relationships of the Arctic hyperiid amphipods *Themisto abyssorum* and *T. libellula*[J]. Polar Biology, 2002, 25: 374-383.
- [12] Scott C L, Kwasniewski S, Falk-Petersen S. Lipids and fatty acids in the copepod *Jaschnovia brevis* (*Jaschnov*) and in particulates from Arctic waters[J]. Polar Biol, 2002, 25: 65-71.
- [13] 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.
- [14] Jamieson G R, Reid E H. The component fatty acids of some marine algal lipids[J]. Phytochemistry, 1972, 11: 1423-1432.
- [15] Bai X W, Song C H, You J M. Determination of Fatty Acids (C₁ – C₁₀) from Bryophytes and Pteridophytes[J]. Chromatographia, 2010, 71: 1125-1129.
- [16] 彭全材, 宋金明, 李军, 等. 超声萃取-气相色谱法测定扇贝中 30 种脂肪酸[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 163-168.
- [17] Millner H W. The fatty acids of *Chlorella*[J]. J Biochem, 1948, 176: 813-817.
- [18] 杨伯娟, 郑立, 陈军辉. 黄、渤海漂移浒苔(*Enteromorpha prolifera*)脂肪酸组成及聚类分析的研究[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(5): , 628-632.
- [19] Mejanel E L, Laureillard J, Saliot A. Novel marine flagellate fatty acid: structural elucidation by GC-MS analysis of DMOX derivatives and DMDS adducts[J]. J. Microbiol. Methods, 2002, 48: 221-237.
- [20] Sina M A D L, Alastair G B S, Mark A F. The new higher level lassification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of Protists[J]. J Eukaryot Microbiol, 2005, 52: 399-451.
- [21] Van Lenning K, Latasa M, Estrada M. Pigment signatures and phylogenetic relationships of the Pavlovophyceae (Haptophyta) [J]. J Phycol, 2003, 39: 379-389.
- [22] 石娟, 潘克厚, 王晓青. 对小新月菱形藻(*Nitzschia closterium f. minutissima*)分类地位的重新认识[J]. 科学通报, 2008, 53(2): 197-202.
- [23] 李宪瑾, 范晓, 韩丽君. 中国黄、渤海常见大型海藻的脂肪酸组成[J]. 海洋与湖沼, 2002: , 33(2): 216-224.
- [24] Renaud S M, Parry D L, Think L V. Effect of light intensity on the proximate biochemical and fatty acid composition of *Isochrysis* sp. and *Nannochloropsis oculata* for use in tropical aquaculture[J]. J Phycol, 1991, 26: 393-399.

Comparison of fatty acid compositions of four green algae and four brown algae

PENG Quan-cai, SONG Jin-ming, ZHANG Quan-Bin, LIN Qiang

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

Received: May, 30, 2013

Key words: fatty acid; chemotaxonomy markers; green algae; brown algae

Abstract: The fatty acid compositions of eight seaweeds from green algae and brown algae were analyzed. Some specific fatty acid profiles of the seaweeds as chemotaxonomy markers were found. The characteristic fatty acids of the four green algae are 16: 0, 16: 1 ω 7, 18: 4 ω 3, 18: 1 ω 7, 18: 2 ω 6, 18: 3 ω 3 and 18: 1 ω 9, and the dominative ones are 18: 1 ω 7 and 18: 3 ω 3. The dominative fatty acid profiles of the four brown algae were 16: 0, 18: 1 ω 9, 18: 2 ω 6, 18: 3 ω 3, 18: 4 ω 3, 20: 5 ω 3 and 20: 4 ω 6. And the representative feature of the brown algae was the higher contents of octadeca-carbon unsaturated fatty acid and twenty-carbon unsaturated fatty acid. In addition, the brown algae contained higher levels of EPA which was more obvious in *Laminaria japonica* Aresch and *Undaria pinnatifida* Sur. The analysis result of 8 seaweeds from 5 genus of 2 phylums by carrying out a cluster analysis of fatty acids showed , there is a good truly relationship among these lines to some extent. This study provides evidence that fatty acid compositions of seaweeds may be a good assistive technical method for classification and quantitative evaluation.

(本文编辑: 康亦兼)