

中国黄、渤海常见大型海藻的脂肪酸组成*

李宪瑾 范晓 韩丽君 严小军 姜清香

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 对中国黄、渤海沿岸的17种红藻、12种褐藻、7种绿藻的脂肪酸组成进行了分析研究,结果表明,黄海和渤海的绝大多数红藻都富含二十碳高度不饱和脂肪酸(主要是二十碳五烯酸, EPA 和二十碳四烯酸, AA),一般都占总脂肪酸的40%以上;仙菜目的松节藻、细枝软骨藻、隐丝藻目的亮管藻、海萝、海膜、蜈蚣藻中的EPA含量均超过40%,其中海萝达到58%;杉藻目扁江蓼中EPA含量很低,但花生四烯酸含量达到58%。褐藻中16:0、18:1(n-9)、20:4(n-6)和20:5(n-3)含量占绝对优势,十八碳高度不饱和脂肪酸(PUFAs)和二十碳PUFAs是主要的脂肪酸。在每种褐藻中还含有一定量的14:0、18:2(n-6)、18:3(n-3)和18:4(n-3)。褐藻中的十八碳PUFAs含量比红藻高,而二十碳PUFAs比红藻低。绿藻中的主要脂肪酸是16:0、十六碳高度不饱和脂肪酸(主要是16:4(n-3)和16:3(n-3))、18:1以及C₁₈PUFAs(主要包括18:2(n-6)、18:3(n-3)和18:4(n-3)),绿藻的C₁₆、C₁₈PUFAs含量较高。

关键词 红藻,褐藻,绿藻,脂肪酸

中图分类号 Q94.946

近几年来,由于高度不饱和脂肪酸的重要生理活性如抗动脉粥样硬化(Mehta *et al*, 1987)、血栓(Urakaze *et al*, 1986)、高血脂(Phillipson *et al*, 1985)和高血压以及消除炎症(Robinson *et al*, 1986)等使人们对脂化学研究产生高度重视。由于海洋藻类与陆地植物所处的环境不同,因此与陆地植物相比更富含长链高度不饱和脂肪酸;各种脂肪酸在海藻中分布的不均衡性,引起了化学分类学家极大的兴趣。虽然范晓等(1988、1995)、孙颢等(1998)及严小军等(1999)对一些大型海藻的化学成分进行了研究,但是黄渤海常见大型海藻的极性脂和脂肪酸组成方面的研究尚未见报道。

1 材料

实验所用的新鲜样品,于1997年分别采自青岛太平角和威海海边。样品先用干净海水洗去表面杂质和附着物,并将其在沸水中烫洗1min,使海藻中的脂酶失活。

2 方法

2.1 总脂的提取与含量的测定 实验采用Bligh-Dyer法(Bligh *et al*, 1959)提取海藻中的总脂。

2.2 脂肪酸的分析及鉴定

2.2.1 皂化、酯化 取约4mg的总脂按Carreau-Dubacq(Carreau *et al*, 1978)法,加入1ml

* 国家自然科学基金重点项目, B2001702号。李宪瑾,男,出生于1968年11月,博士, E-mail: fxiao@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 2000-01-15, 收修改稿日期: 2001-08-10

1. 5% 的 NaOH/MeOH 溶液, 在 55℃ 水浴中皂化 30min 后, 再加入 1. 5ml HCl/MeOH, 55℃ 水浴中甲酯化 30min。向甲酯化后的溶液中加入 0. 5ml 左右的蒸馏水, 然后用 9ml 正己烷分三次萃取, 合并萃取液, 并减压蒸干, 加入 0. 3ml 氯仿。

2. 2. 2 脂肪酸甲酯的纯化 在进行气相色谱分析之前必须先纯化。将甲酯化后的样品点到硅胶薄层层析板上, 在苯中展层。刮下含甲酯的硅胶, 并用 9ml 氯仿分三次洗脱, 合并洗脱液、减压蒸干, 再加 2—3 滴正己烷溶解。

2. 2. 3 脂肪酸甲酯的气相色谱分析、鉴定及色谱条件 实验采用 HP5880A 气相色谱仪(熔融硅毛细管柱 Carbowax20M, 25m×0. 2mm i. d.)。色谱条件: 柱温 190℃; 载气为氮气; 流速 2. 9ml/min; 检测器为火焰离子化检测器(FID)。

脂肪酸鉴定: 脂肪酸以正十六烷酸和正十八烷酸为标准计算出等碳链长值(ECL)(Christie, 1988) 为定性依据, 对各个色谱峰进行定性。

3 结果与讨论

3. 1 大型海藻总脂含量

表 1 所列各种红藻中总脂的含量差异很大。其中仙菜目中的冈村凹顶藻中总脂含量达 24mg/ g。二叉仙菜、海头红、多管藻中的总脂含量在 10mg/ g 以上。

褐藻中萱藻、酸藻、叉开网翼藻中脂类含量较高达到新鲜藻体的 20mg/ g 以上。海带、裙带菜、粘膜藻、囊藻中的脂类含量相对较低, 在 10mg/ g 以下。

绿藻中缘管浒苔、扁浒苔和孔石莼的总脂含量比较高, 都在 10mg/ g 以上, 而松藻目的藓羽藻和刺松藻的总脂含量比较低。

另外, 即使是同一种海藻, 由于采集的地点不同, 总脂的含量差异也很大。

表 1 海藻中的总脂含量(mg/ g 鲜重)
Tab. 1 Total lipids in marine macrophytes(mg/ g fresh algae)

海藻名称	总脂 含量	海藻名称	总脂 含量
红藻门 Rhodophyta		索藻目 Chordariales	
仙菜目 Ceramiales		粘膜藻(<i>Leathesia difformes</i> L. Aresh.)	2. 5
松节藻(<i>Rhodomela confervoides</i> Huds. Silva)	14. 3	萱藻目 Scytosiphonales	
松节藻(<i>Rhodomela confervoides</i> Huds. Silva)*	6. 6	囊藻(<i>Colpomenia sinuosa</i> Roth Derbes et Solier)	5. 6
冈村凹顶藻(<i>Laurencia okamurai</i> Okam)	24. 1	囊藻(<i>Colpomenia sinuosa</i> Roth Derbes et Solier)*	4. 1
二叉仙菜(<i>Ceramium kondoi</i> Yendo)	16. 8	萱藻(<i>Scytosiphon lomentarius</i> Lyngb. J. Ag.)	21. 8
多管藻(<i>Polysiphonia urocakia</i> Lightf. Grev.)	15. 1	酸藻目 Desmarestiales	
波登仙菜(<i>Ceramium boydenii</i> Gepp)	5. 1	酸藻(<i>Desmarestia viridis</i> Muller Lamx.)	21. 9
细枝软骨藻(<i>Chondria tenuissina</i> Good.)*	5. 4	网管藻目 Dictyosiphonales	
隐丝藻目 Gyptonemiales		单条肠髓藻(<i>Myelophycus simplex</i> Harv. Papenf.)	16. 0
亮管藻(<i>Hyalosiphonia caespitosa</i> Okam.)	9. 6	厚点叶藻(<i>Punctaria plantaginea</i> Roth Grev.)	11. 4
亮管藻(<i>Hyalosiphonia caespitosa</i> Okam.)*	2. 9	墨角藻目 Fucales	

续表			
海藻名称	总脂含量	海藻名称	总脂含量
海萝(<i>Gloiopeltis furcata</i> Post. Et Rupr. J. Ag.) *	9.4	鼠尾藻(<i>Sargassum thunbergii</i> Mert. O'Kuntze)	18.8
海膜(<i>Halymenia sinensis</i> Tseng et C. F. Chang) *	6.2	鼠尾藻(<i>Sargassum thunbergii</i> Mert. O'Kuntze) *	7.9
蜈蚣藻(<i>Gratelupia licina</i> Lamx. C. Ag.) *	2.5	海蒿子(<i>Sargassum pallidum</i> Turm. Ag.) *	17.2
胶管藻(<i>Gloiosiphonia capillaris</i> Huds. Carn.)	5.7	海黍子(<i>Sargassum kjellmanianum</i> Yendo)	17.3
小珊瑚藻(<i>Corallina pilulifera</i> Post. Et Rupr.)	4.8	网地藻目 Dictyokales	
海索面目 Nemalionales		叉开网翼藻(<i>Dictyopteris divaricata</i> Okam. Okam)	23.7
石花菜(<i>Gelidium amansii</i> Lamour.)	6.5	绿藻门 Chlorophyta	
杉藻目 Gigartinales		石莼目 Ulvales	
扇形叉枝藻(<i>Gymnogorgus flabelliformis</i> Harv.) *	4.5	肠浒苔(<i>Enteromorpha intestinalis</i> L. Link)	7.0
扁江蓠(<i>Gracilaria textorii</i> Sur. DeToni)	4.8	缘管浒苔(<i>Enteromorpha linza</i> L. J. Ag.) *	16.1
海头红(<i>Plocamium telfairiae</i> Harv.)	16.3	扁浒苔(<i>Enteromorpha compressa</i> L. Nees) *	10.5
中国角叉菜(<i>Chondrus sinensis</i>)	7.3	石莼(<i>Ulva lactuca</i> L.)	9.2
褐藻门 Phaeophyta		孔石莼(<i>Ulva pertusa</i> Kjellm.)	11.7
海带目 Laminariales		孔石莼(<i>Ulva pertusa</i> Kjellm.) *	16.3
裙带菜(<i>Undaria pinnatifida</i> Harv. Sur.)	10.9	松藻目 Codiales	
裙带菜(<i>Undaria pinnatifida</i> Harv. Sur.) *	5.5	藓羽藻(<i>Bryopsis hypnoides</i> Lamx.) *	7.0
海带(<i>Laminaria japonica</i> Aresh.) *	3.6	刺松藻(<i>Codium fragile</i> Sur. Heriot) *	4.2

注: 上述样品采自威海沿海; * 采自青岛沿海

3.2 脂肪酸组成

3.2.1 红藻 表 2 为采自黄海和渤海的仙菜目 (Ceramiales)、隐丝藻目 (Cryptonemiales)、杉藻目 (Gigartinales) 和 海索面目 (Nemalionales) 17 种红藻的脂肪酸组成。这 17 种藻中的脂肪酸分布具有明显的红藻的脂肪酸分布特征 (Jamieson *et al.*, 1972), 即 3 种脂肪酸 16: 0、20: 5 (n-3) (即 EPA) 和 20: 4 (n-6) (即 AA) 的相对含量较高。渤海和黄海的红藻都富含二十碳 PUFAs, 而十六碳 PUFAs 含量普遍比较低, 一般不超过 1%。十八碳 PUFAs 的含量高于十六碳 PUFAs。

仙菜目富含 20: 5 (n-3), 含量都在 16% 以上。而采自青岛的松节藻、细枝软骨藻和威海的多管藻 20: 5 (n-3) 都在 40% 以上, 含量非常高。青岛的松节藻 20: 5 (n-3) 和 18: 1 (n-9) 的含量几乎是采自威海的松节藻的 1 倍, 而威海的松节藻中相对富含 18: 3 (n-3)、18: 4 (n-3) 和 20: 4 (n-6)。与其他红藻相比, 多管藻中 18: 1 (n-9) 含量最低, 但他的 18: 1 (n-7) 在所分析的红藻中又属最高。隐丝藻目 AA 和 EPA 含量也很丰富, 其 EPA 含量在所分析的红藻中最高, 而胶管藻明显例外, EPA 含量最低。胶管藻与隐丝藻目的其他藻相比, 明显地更富含饱和脂肪酸 16: 0, 含量超过所分析的任何一种红藻, 而且花生四烯酸 (AA) 的含量也是最低的。胶管藻除富含 16: 0 符合红藻脂肪酸分布特征外, 不具有红藻特有的富含 EPA 和 AA 的特征, 因此还需要再进行分析。青岛的

表 2 红藻脂肪酸组成(总脂肪酸的%)
Tab.2 Fatty acids composition of Rhodophyta(FAs%)

脂肪酸	仙菜目					隐丝藻目					杉藻目					海藻面目			
	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻	松节藻			
14:0	3.0	1.9	3.6	5.5	2.6	7.0	2.4	5.2	2.4	1.8	1.7	2.4	8.5	1.8	2.6	3.4	4.7	2.7	3.7
14:1(n-5)	0.1	0.0	0.8	0.3	0.1	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
15:0**	0.3	0.0	0.6	0.6	0.4	0.9	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.7	0.0	0.2	0.0	0.0	0.7
16:0	21.9	24.3	37.0	39.2	27.8	42.1	30.3	40.0	28.9	24.0	24.3	25.7	57.1	32.6	26.7	27.8	28.3	30.2	33.7
16:1**	2.6	4.8	8.9	7.1	2.4	7.0	8.3	7.0	2.8	1.0	4.3	1.2	3.9	3.0	1.2	1.4	4.4	0.6	3.6
16:2**	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0
16:3(n-3)	0.3	0.0	0.1	0.3	0.1	0.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
16:4(n-3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
i-17:0	0.4	0.0	0.2	0.6	0.6	0.4	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
17:0	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4
18:0	0.9	0.6	0.8	1.0	1.5	1.5	0.9	1.3	1.3	0.7	0.9	1.1	4.1	1.9	1.1	0.9	1.6	1.0	1.3
18:1(n-9)	6.6	11.5	7.3	9.4	1.5	7.6	10.2	4.9	4.7	7.8	6.2	6.9	9.3	4.1	12.1	4.7	3.1	9.0	4.5
18:1(n-7)	6.2	0.0	4.2	2.7	7.1	3.6	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
18:2(n-6)	3.1	0.8	1.4	1.9	3.4	1.6	2.0	3.4	1.5	2.3	1.8	1.1	1.8	2.5	0.8	1.0	1.7	0.9	1.5
18:3(n-6)	0.5	0.2	0.3	0.4	0.4	0.1	0.0	0.5	1.0	0.3	1.7	1.7	0.1	0.2	0.3	0.7	1.6	0.7	0.2
18:3(n-3)	5.8	1.6	0.6	0.3	0.1	0.2	0.0	1.2	0.0	0.2	0.1	0.0	1.0	2.1	0.0	0.3	0.9	0.6	1.1
18:4(n-3)	9.8	0.8	1.3	0.4	0.2	0.3	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.5	0.0	0.1	0.3	1.0	1.5
20:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0
20:1(n-11)	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
20:1(n-9)	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	tr.
20:2(n-6)	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:3(n-6)	0.0	0.8	0.0	1.2	0.5	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.6	0.0	0.3	0.0	0.0	6.0	0.0	0.3
20:4(n-6)	11.9	7.8	8.2	6.8	8.7	6.8	4.1	9.1	17.3	3.6	11.6	12.5	1.0	6.6	17.2	58.4	16.1	16.5	29.4
20:4(n-3)	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:5(n-3)	24.8	41.1	23.4	20.1	37.5	16.8	40.0	12.5	40.8	58.3	43.6	45.2	3.6	31.5	36.3	0.1	30.6	35.2	13.3
22:1(n-11)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:4(n-6)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:5(n-3)	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

* 采自青岛沿海; ** 15:0,16:1,16:2 包括多种异构体

表 3 褐藻中脂肪酸组成 (总脂肪酸的 %)

Tab. 3 Fatty acid composition of Phaeophyta (FAs %)

脂肪酸	海带目			紫藻目			蓝藻目			网管藻目			墨角藻目			网地藻目
	裙带菜	裙带菜*	海带*	粘膜藻	囊藻	囊藻*	蓝藻	酸藻	单条	厚点	鼠尾藻	鼠尾藻	鼠尾藻	海蒿子	海蒿子	
14:0	3.6	2.1	5.4	8.8	7.5	6.0	4.2	14.4	2.8	8.9	4.0	2.9	1.7	4.0	6.8	叉开 网翼藻
14:1(n-5)	0.1	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	tr.	0.0	
15:0**	0.3	0.0	0.50	0.6	0.7	1.2	0.2	0.9	0.5	1.4	0.4	0.0	2.7	0.3	0.6	叉开 网翼藻
16:0	23.9	11.5	16.8	32.3	26.4	14.6	14.4	44.6	15.3	38.7	22.0	21.3	18.7	21.1	19.7	
16:1*	1.2	4.7	6.6	2.2	2.8	5.2	1.1	4.5	2.1	4.3	3.1	10.0	6.4	2.5	2.7	叉开 网翼藻
16:2**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.3	0.0	0.0	
16:3(n-3)	0.2	0.0	0.0	0.4	0.5	0.0	0.1	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	叉开 网翼藻
16:4(n-3)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	tr.	0.0	
i-17:0	0.8	0.0	0.0	0.3	1.0	0.0	0.9	0.9	0.6	1.7	0.9	0.0	0.0	0.5	0.8	叉开 网翼藻
17:0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	0.0	0.0	0.6	tr.	
17:1(n-9)	0.0	0.2	0.6	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	叉开 网翼藻
18:0	1.7	0.7	0.5	1.8	1.6	0.8	0.4	6.8	0.5	3.1	0.8	1.6	1.0	1.3	1.4	
18:1(n-11)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	叉开 网翼藻
18:1(n-9)	9.7	5.6	12.6	28.5	13.6	9.1	9.0	10.9	8.8	18.0	6.2	11.7	7.1	7.9	11.8	
18:1(n-7)	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	叉开 网翼藻
18:2(n-6)	9.9	4.2	11.1	4.7	5.1	4.8	5.6	3.7	4.3	3.8	5.0	7.6	4.1	15.0	7.5	
18:3(n-6)	0.5	0.8	3.8	0.2	0.7	1.1	1.1	0.0	0.8	0.4	0.7	0.0	1.0	1.2	0.3	叉开 网翼藻
18:3(n-3)	5.8	11.5	9.3	1.7	3.6	7.0	6.2	2.1	7.0	3.1	9.8	9.4	9.8	4.6	9.5	
18:4(n-3)	10.8	27.8	5.0	2.2	9.6	17.1	18.8	1.4	20.1	3.6	11.6	6.7	13.3	4.4	14.0	叉开 网翼藻
20:0	0.0	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	
20:1(n-11)	0.8	0.0	0.0	0.7	0.5	0.0	0.2	3.1	0.0	1.3	0.1	0.0	2.3	0.4	0.0	叉开 网翼藻
20:1(n-9)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.0	0.0	1.2	0.0	
20:2(n-6)	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	叉开 网翼藻
20:3(n-6)	0.8	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1	0.6	0.0	1.0	3.2	0.7	
20:4(n-6)	15.5	12.0	14.3	5.5	5.1	8.4	12.0	2.7	7.6	2.4	10.2	12.6	14.0	21.0	9.6	叉开 网翼藻
20:3(n-3)	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	
20:4(n-3)	1.5	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.0	0.0	0.9	0.0	0.9	1.0	0.7	叉开 网翼藻
20:5(n-3)	12.5	14.8	8.1	8.4	12.6	23.6	24.2	1.8	23.8	4.7	17.5	9.2	14.3	5.3	9.8	
22:1(n-11)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	1.1	1.6	0.0	叉开 网翼藻
22:2	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22:3	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	叉开 网翼藻
24:0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

* 采自青岛沿海; * 15:0,16:1,16:2 包括多种异构体

亮管藻中的 EPA 和 AA 远高于威海的亮管藻, 可见同种海藻由于采集的地点不同有一定差异。黄海的海藻 PUFAs 相对含量比渤海的同种海藻高。值得指出的是隐丝藻目中海萝中的 EPA 含量高达 58.3%。杉藻目中扇形叉枝藻、海头红和中国角叉菜中的脂肪酸组成相似, 都富含 EPA 和 AA, 花生四烯酸的含量普遍比其他目的红藻高, 而且 EPA 的含量几乎是 AA 的 2 倍左右。惟一的例外是扁江蓼, 扁江蓼中 PUFAs 主要是 20:4 (n-6) 即花生四烯酸, 而 EPA 含量甚微, 这与文献所报道的一致, 可能是江蓼的脂肪酸组成典型特征 (Khotimchenko *et al.*, 1991; Levy *et al.*, 1992)。而海头红中的 20:3 (n-6) 含量为 6.0%, 在所有的红藻中是最高的; 较高含量的 20:3 (n-6) 可能是海头红的特征脂肪酸 (Aknin, 1990)。石花菜中的脂肪酸组成与其他的红藻不同的是 AA 含量占优势, 而且 AA 含量是 EPA 的 2 倍多。另外除松节藻、石花菜和小珊瑚藻中 n-3 系列的 18:3 (n-3) 和 18:4 (n-3) 的含量明显高于 n-6 系列的 18:2 (n-6) 和 18:3 (n-6) 外, 其余几种藻中的十八碳 n-6 系列 PUFAs 的含量高于十八碳 n-3 系列 PUFAs。而角叉菜的十八碳脂肪酸 n-3 系列与对于二十二碳 PUFAs, 除多管藻中含有少量的 22:4 (n-6) 和 22:5 (n-3) 外其余各藻均未发现有二十二碳 PUFAs。在这 17 种红藻中都含有一定量的 14:0, 16:1, 18:0 和 18:1 (n-9)。所采集的多数红藻中发现有少量 15:0 和 17:0 奇数碳脂肪酸。

3.2.2 褐藻 渤海和黄海的 12 种常见褐藻的脂肪酸组成见表 3。这 12 种褐藻分别属于海带目、索藻目、萱藻目、酸藻目、网管藻目、墨角藻目和网地藻目。这 12 种褐藻中 16:0, 18:1 (n-9)、20:4 (n-6) 和 20:5 (n-3) 含量占绝对优势, 十八碳高度不饱和脂肪酸 (PUFAs) 和二十碳 PUFAs 是主要的脂肪酸, 占总脂肪酸的一半左右, 这与其他具有代表性的褐藻脂肪酸分析结果相一致 (Jamieson *et al.*, 1972; Chuecas *et al.*, 1966)。在每种褐藻中还含有一定量的 14:0, 18:2 (n-6)、18:3 (n-3) 和 18:4 (n-3)。褐藻中十八碳 PUFAs 含量比红藻高, 而二十碳 PUFAs 比红藻低。海带目的裙带菜含 18:4 (n-3) (10.8%—27.8%), 而属同一目的海带只含 5.0%。裙带菜比海带富含 n-3 系列高度不饱和脂肪酸, 而海带富含 n-6 系列高度不饱和脂肪酸 (18:2 (n-6), 20:4 (n-6))。对同是采自青岛的裙带菜和海带进行比较, 可以看出, 裙带菜中的 20:5 (n-3), 20:4 (n-3), 18:3 (n-3) 和 18:4 (n-3) 高于海带相应的脂肪酸; 高含量的 18:4 (n-3) 可能是裙带菜脂肪酸组成的一个重要特征 (Hayashi *et al.*, 1974); 另外, 青岛的海带中 18:1 (n-9) 含量也很高。日本海的海带 (Kaneniwa *et al.*, 1987) 富含 14:0 和 16:0, 单烯不饱和脂肪酸是 16:1, 18:1 (n-9), 而 PUFAs 含量低, 其主要 PUFAs 是 18:3 (n-3) 和 20:4 (n-6)。比较黄海的裙带菜和渤海的裙带菜的脂肪酸组成可以看到, 渤海的裙带菜 16:0, 18:2 (n-6) 的含量比黄海的裙带菜高, 而 PUFAs 20:4 (n-6) 和 20:5 (n-3) 低, 相对地富含 n-6 系列 PUFAs。索藻目的粘膜藻 (渤海) 富含 16:0 和 18:1 (n-9), 占总脂肪酸的 50% 左右, 而 PUFAs (主要是 18:2 (n-6), 18:4 (n-3), 20:4 (n-6) 和 20:5 (n-3)) 相对于海带目低。萱藻目的囊藻中的饱和脂肪酸是 14:0 和 16:0, 单烯不饱和脂肪酸是 18:1 (n-9), 多不饱和脂肪酸是 18:2 (n-6), 18:3 (n-3), 18:4 (n-3), 20:4 (n-6) 和 20:5 (n-3)。黄海囊藻中 PUFAs 的含量高于渤海的同种藻类。萱藻的脂肪酸分布与囊藻相似, 而其 PUFAs 含量要稍微高些。酸藻的脂肪酸组成与粘膜藻相似, 而且 16:0 含量更高 (44.6%), 20:4 (n-6) 和 20:5 (n-3) 含量更低, 与其他褐藻不同的是 18:0 含量达到

6.8%, 含量这样高的 18: 0 在海洋植物中是不常见的。渤海网管藻目的单条髓肠藻和厚点叶藻的脂肪酸组成差别很大。单条髓肠藻富含 n-3PUFAs (主要是 18: 3 (n-3), 18: 4 (n-3) 和 20: 5 (n-3), 约占 50%), 远高于其所含的 n-6 系列 PUFAs, 16: 0 含量相对较低; 厚点叶藻相对富含 16: 0 和 18: 1 (n-9), 而 PUFAs 含量相对较低, 其脂肪酸组成与酸藻有些相似。表 3 中所列墨角藻目的 3 种海藻有类似的脂肪酸组成。C₁₈和 C₂₀PUFAs 是除 16: 0 外的主要脂肪酸。黄海的鼠尾藻和渤海的海黍子中 20: 4 (n-6) 含量高于 20: 5 (n-3)。从表 3 中可以看到渤海的鼠尾藻富含 n-3 系列脂肪酸; 仅从主要脂肪酸组成来看, 渤海的鼠尾藻与黄海的海蒿子相似。海黍子富含 n-6 系列 PUFAs, 含量占总脂肪酸的 1/3—1/4。叉开网翼藻中 20: 4 (n-6) 和 20: 5 (n-3) 接近 1: 1, n-3 系列 PUFAs 相对占优势。另外, 叉开网翼藻中 18: 1 (n-9) 含量也相对较高。

3.2.3 绿藻 7 种绿藻的脂肪酸组成见表 4。仅从这 7 种绿藻来看它们的脂肪酸组成有共同特征。绿藻中的主要脂肪酸是 16: 0、十六碳高度不饱和脂肪酸 (主要是 16: 4 (n-3) 和 16: 3 (n-3))、18: 1 以及 C₁₈PUFAs (主要是 18: 2 (n-6), 18: 3 (n-3) 和 18: 4 (n-3))。绿藻中 C₁₆、C₁₈PUFAs 含量较高 (Jamieson *et al*, 1972; Dembitsky *et al*, 1991)。表 4 中所列的石莼目的 5 种海藻的特点是含有 16: 3 (n-3) 和很丰富的 16: 4 (n-3), 富含 18: 3 (n-3) 和 18: 4 (n-3)。高含量的 18: 3 (n-3) 是绿藻脂肪酸组成的突出特征。石莼目的肠浒苔、缘管浒苔和扁浒苔的脂肪酸组成相似。肠浒苔除含有较丰富的 n-3 系列 PUFAs 外, 18: 2 (n-6) 含量高于缘管浒苔和扁浒苔, 而 18: 4 (n-3) 低。缘管浒苔 18: 4 (n-3) 的含量远比肠浒苔和扁浒苔高而 20: 5 (n-3) 相对较低。扁浒苔的 n-3 系列 PUFAs 含量比缘管浒苔和肠浒苔低。Jamieson 等 (1972) 也发现了类似规律, 这表明不同来源的扁浒苔脂肪酸组成虽然有差异, 但基本特征是不变的。石莼和孔石莼是石莼目的另两种重要的藻类。渤海的孔石莼和黄海的孔石莼脂肪酸组成十分相似, 渤海的孔石莼还含有少量的长链 PUFAs。这种相似性反映出孔石莼的脂肪酸组成受地域的影响较少。比较石莼目和松藻目, 可以看到 16: 4 (n-3) 是石莼目的特征脂肪酸, 松藻目不含有 16: 4 (n-3)。但 16: 3 (n-3) 含量远高于石莼目中的藻类, 可以认为 16: 3 (n-3) 是松藻目的特征脂肪酸。藓羽藻与刺松藻 18: 4 (n-3) 含量相对于石莼目低。所有绿藻都含有 20: 5 (n-3), 其含量比红藻和褐藻都低。松藻目海藻的二十碳高度不饱和脂肪酸的含量尤其是 20: 4 (n-6) 的含量比石莼目高; 22: 5 (n-3) 只在石莼目某些藻类中出现。

表 4 绿藻中脂肪酸组成 (总脂肪酸的%)

Tab 4 Fatty acids composition of Chlorophyceae (Fas%)

脂肪酸	石莼目					松藻目		
	肠浒苔	* 缘管浒苔	* 扁浒苔	石莼	孔石莼	* 孔石莼	* 藓羽藻	* 刺松藻
13: 0	0. 0	1. 1	1. 5	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0
14: 0	1. 7	0. 0	1. 3	1. 1	0. 9	0. 3	0. 2	1. 3
14: 1 (n-5)	0. 1	0. 0	0. 0	0. 1	0. 4	0. 0	0. 0	0. 0
15: 0 *	0. 2	0. 0	0. 0	0. 1	0. 2	0. 0	0. 0	2. 1
16: 0	22. 7	18. 2	24. 2	24. 8	24. 7	18. 7	16. 2	22. 2
16: 1 *	0. 9	6. 8	11. 1	0. 8	1. 0	7. 3	9. 4	6. 9

续表

脂肪酸	石莼目				松藻目			
	肠浒苔	* 缘管浒苔	* 扁浒苔	石莼	孔石莼	* 孔石莼	* 鲜羽藻	* 刺松藻
16 2* *	0. 0	0. 7	0. 0	0 0	0 0	0. 9	1. 0	1. 1
16 3(n-3)	0. 2	3. 6	1. 5	0 2	0 2	3. 1	19. 9	12. 5
16 4(n-3)	9. 8	14. 1	9. 2	11. 7	9 7	14. 6	0. 0	0. 0
± 17 0	1. 9	0. 0	0. 0	2 1	1 4	0. 0	0. 0	0. 0
17 0	0. 0	0. 0	0. 8	0 0	0 0	0. 0	0. 0	0. 0
17 1(n-9)	3. 7	0. 0	0. 0	2 3	1 8	0. 0	0. 0	0. 0
18 0	0. 3	0. 0	0. 5	0 3	0 8	0. 0	0. 0	0. 7
18 1* *	7. 3	9. 2	9. 6	7. 6	9 8	9. 9	10. 8	6. 5
18 2(n-6)	12. 2	5. 5	6. 7	4 6	6 0	4. 0	6. 9	5. 3
18 3(n-6)	0. 6	0. 6	1. 1	0 8	0 8	0. 0	2. 0	2. 5
18 3(n-3)	27. 2	23. 5	19 1	20 5	21. 9	21. 9	25. 0	18. 3
18 4(n-3)	3. 1	15. 5	8. 5	17. 9	13. 2	14. 6	1. 1	2. 1
20 1(n-9)	0. 3	0. 0	0. 0	0 0	0 0	0. 0	0. 0	0. 0
20 3(n-6)	0. 7	0. 0	0. 0	0 0	0 0	0. 0	0. 0	0. 6
20 4(n-6)	0. 5	0. 0	0. 0	0 0	0 6	0. 0	4. 5	5. 8
20 4(n-3)	0. 8	0. 0	0. 0	0 8	0 5	0. 0	0. 0	0. 4
20 5(n-3)	4. 6	1. 4	5. 0	1 3	2 0	0. 0	3. 0	7. 9
22 0	0. 0	0. 0	0. 0	0 0	0 6	0. 0	0. 0	0. 0
22 1(n-9)	0. 0	0. 0	0. 0	0 0	0 2	0. 0	0. 0	0. 0
22 4(n-6)	0. 0	0. 0	0. 0	0 0	0 2	0. 0	0. 0	0. 0
22 5(n-3)	0. 7	0. 0	0. 0	2 8	2 4	0. 0	0. 0	0. 0

注: * 采自青岛沿海; * * 15 0, 16 1, 16 2 包括多种异构体

4 结语

从脂肪酸分析结果看, 红藻几乎不含二十二碳高度不饱和脂肪酸, 但富含二十碳 PUFAs (主要是二十碳五烯酸即 EPA 和二十碳四烯酸即 AA)。EPA 含量都在 30% 以上, 比绿藻和褐藻高。而扁江蓼和石花菜中花生四烯酸 (20: 4 (n-6)) 含量都在 20% 以上。褐藻富含 16 0、18: 1 (n-9)、20: 4 (n-6) 和 20: 5 (n-3); C₁₈PUFAs 和 C₂₀PUFAs 是主要的脂肪酸。褐藻中还含有 14: 0、18: 2 (n-6)、18: 3 (n-3) 和 18: 4 (n-3)。褐藻中的 C₁₈PUFAs 含量比红藻丰富; 而 C₂₀PUFAs 比红藻的含量低。绿藻中的主要脂肪酸是 16: 0、16: 4 (n-3)、16 3 (n-3)、18: 1、18: 2 (n-6), 18 3 (n-3) 和 18: 4 (n-3)。高含量的 18: 3 (n-3) 是绿藻脂肪酸组成的突出特征。所有绿藻都含有 20: 5 (n-3), 其含量比红藻和褐藻都低。黄海海藻比渤海的同种海藻的高度不饱和脂肪酸含量高, 这可能与海藻的生活环境有关。

参 考 文 献

- 孙飏, 范晓, 韩丽君等, 1998 我国马尾藻中砷的化学形态及其季节变化. 海洋与湖沼, 29(3): 287—291
- 严小军, 范晓, 侯小琳, 1999 海藻中稀土元素的初步研究. 海洋与湖沼, 30(5): 558—563
- 范晓, 郑乃余, 张燕霞, 1988 海带中褐藻酸盐组成的研究. 海洋与湖沼, 19(1): 64—69
- 范晓, 韩丽君, 张燕霞, 1995 中国沿海经济海藻化学成分测定. 海洋与湖沼, 26(2): 199—207
- Aknin M, Miralles J, Komprobst J M, 1990. Sterol and fatty acid distribution in red algae from the Senegalese coast. Comp Biochem Physiol, 96B(3): 559—563
- Bligh E G, Dyer W J, 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can J Biochem Biophysiol, 37(8): 911—915
- Carreau J P, Dubacq J P, 1978. Adaptation of macroscale method to the microscale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts. J Chromatogr, 151: 384—390
- Christie W W, 1988. Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas chromatography. J Chromatogr, 447: 305—314
- Chuecas L, Riley J P, 1966 The component fatty acids of some seaweed fats. J Mar Biol Assoc UK, 46: 153—159
- Dembitsky V M, Pechenkina-Shubina E E, Rozentsvet O A, 1991. Glycolipids and fatty acids of some seaweeds and marine grasses from the Black Sea. Phytochemistry, 30(7): 2279—2283
- Hayashi K, Kida S, Kato K, Yamada M, 1974 Component fatty acids of acetone-soluble lipids of 17 species of marine benthic algae. Bull Jpn Soc Sci Fish, 40(6): 609—617
- Jamieson G R, Reid E H, 1972. The component fatty acids of some marine algal lipids. Phytochemistry, 11(4): 1423—1432
- Kaneniwa M, Itabashi Y, Takagi T, 1987. Unusual 5-olefinic acids in the lipids of algae from Japanese waters. Bull Jpn Soc Sci Fish, 53(5): 861—866
- Khotimchenko S V, Vaskovsky V E, Przhemenetskaya, 1991. Distribution of eicosapentaenoic and arachidonic acids in different species of *Gracilaria*. Phytochemistry, 30(1): 207—209
- Levy I, Maxim C, Friendlander M, 1992. Fatty acid distribution among some red algal macrophytes. J Phycol, 28: 299—304
- Mehta J, Lopez L M, Wargovich T, 1987. Eicosapentaenoic acid: Its relevance in atherosclerosis and coronary artery disease. Am J Cardiol, 59: 155—159
- Phillipson B E, Rothrock D W, Connor W E *et al*, 1985. Reduction of plasma lipids, lipoproteins and apoproteins by dietary fish oils in patients with hypertriglyceridemia. N Eng J Med, 312: 1210—1216
- Robinson D R, Prickett J D, Makoul G T *et al*, 1986. Dietary fish oil reduces progression of established renal disease in BXSB and MRL/l strains. Arthritis Rheum, 29: 539—546
- Urakaze M, Hamazaki T, Soda Y *et al*, 1986. Infusion of emulsified tri-eicosapentaenoic glycerol into rabbits. The effect on platelet aggregation, polymorphonuclear leukocyte adhesion, and fatty acid composition in plasma and platelet phospholipids. Thromb Res, 44: 673—682

FATTY ACIDS OF COMMON MARINE MACROPHYTES FROM THE YELLOW AND BOHAI SEAS

LI Xian-Cui, FAN Xiao, HAN Li-Jun, YAN Xiao-Jun, LOU Qing-Xiang

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

Abstract Fatty acid compositions of 17 species of Rhodophyceae, 12 species of Phaeophyceae, 7 species of Chlorophyceae collected in the Yellow Sea and the Bohai Sea were determined. The result indicates that Rhodophyceae in the Yellow Sea and those in the Bohai Sea are all rich in C_{20} polyunsaturated fatty acids (PUFAs) (EPA and AA); the content of C_{20} PUFAs are usually more than 40%. *Rhodomela confervoides*, *Chondria tenuissima*, *Hyalosiphonia caespitosa*, *Gloiopeltis furcata*, *Haldymenia sinensis* and *Grateloupia licina* contain EPA more than 40%; in particular, *G. furcata* accumulated 58% of EPA. *Gracilaria textorii* was poorer in EPA, but was rich in arachidonic acid (58%). $16:0$, $18:1$ ($n-9$), $20:4$ ($n-6$) and $20:5$ ($n-3$) were the predominant fatty acids in Phaeophyceae. C_{18} PUFAs and C_{20} PUFAs were the main polyunsaturated fatty acids. Every species of Phaeophyceae also contained $14:0$, $18:2$ ($n-6$), $18:3$ ($n-3$) and $18:4$ ($n-3$). Phaeophyceae were richer in C_{18} PUFAs than Rhodophyceae, but poorer in C_{20} PUFAs than Rhodophyceae. $16:0$, $18:1$, C_{16} PUFAs (the content of $16:4$ ($n-3$) and $16:3$ ($n-3$) were over 10% of total fatty acids) and C_{18} PUFAs ($18:2$ ($n-6$), $18:3$ ($n-3$) and $18:4$ ($n-3$)) were the main fatty acids in Chlorophyceae. Chlorophyceae contained high level of C_{16} PUFAs and C_{18} PUFAs.

Key words Phaeophyceae, Chlorophyceae, Rhodophyceae, Fatty acids