

多个条斑紫菜品系采收期内脂肪酸组成、含量的变化分析

马 飞^{1,2}, 陆勤勤³, 胡传明³, 张 涛¹, 周 伟³,
李家富¹, 邓银银¹, 朱建一^{1*}

(1. 常熟理工学院生物与食品工程学院, 江苏 常熟 215500;

2. 南京师范大学生命科学学院, 江苏 南京 210046;

3. 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007)

摘要:为探讨条斑紫菜不同栽培品系、不同采收期脂肪酸组成及含量的变化,本实验对 10 个栽培品系进行了跟踪测定分析,结果显示:条斑紫菜的脂肪酸组成稳定,与品系、采收期内季节性变化无关,但含量存在明显的差异。各品系的 3 个采收期的饱和脂肪酸(16:0 为主,包括 13:0、16:0、18:0)的相对含量约为 20%;不饱和脂肪酸(以 EPA 为主,包括 18:1 n-9、18:2 n-6、18:3 n-3、20:1 n-9、20:2 n-7、20:3 n-7、20:4 n-6(AA)、20:5 n-3(EPA))的相对含量为 70% 左右。在温度最低 2 月份的采收样品中,总脂肪酸和 EPA 含量最高,显示低温有利于条斑紫菜脂肪酸尤其是 EPA 的积累。另外,条斑紫菜富含以 EPA 为主的不饱和脂肪酸,在整个采收期内,样品中的 n-6/n-3 比值为 4.9~7.7,符合 WHO/FAO 膳食推荐值。

关键词:条斑紫菜栽培品系;脂肪酸组成;脂肪酸含量;不饱和脂肪酸;EPA

中图分类号:TS 254.5⁺

文献标志码:A

条斑紫菜(*Pyropia yezoensis*)属红藻门(Rhodophyta)、红藻纲(Rhodophyceae)、红毛菜亚纲(Bangiophycidae)、红毛菜目(Bangiales)、红毛菜科(Bangiaceae)、紫菜属(*Pyropia*)^[1]。紫菜是重要的经济海藻,不仅味道可口,而且富含蛋白质、游离氨基酸、不饱和脂肪酸等生物活性物质^[2-5],备受消费者喜爱^[6]。

脂肪酸(fatty acid)分为饱和脂肪酸(SFAs)和不饱和脂肪酸(UFAs),不饱和脂肪酸分为单不饱和脂肪酸(MUFAs)和多不饱和脂肪酸(PUFAs)^[7]。根据第一个不饱和键相对甲基端的位置,多不饱和脂肪酸分为 n-3、n-6、n-9 等系列^[8]。n-3 和 n-6 系列是人体必需脂肪酸,在膜结构中起关键作用,并在调节血压、降低心脏病发生风险方面起积极作用^[9],n-6/n-3 比例影响人体脂类代谢,对人体健康很重要,WHO/FAO 的膳食

推荐值为 5:1~10:1^[10]。有关紫菜脂肪酸的含量已有报道^[11],但对不同采收期、不同品系的条斑紫菜脂肪酸含量及组成变化鲜有报道。本实验对条斑紫菜 10 个不同栽培品系,整个采收期内样品进行脂肪酸提取分析,以期了解各品系脂肪酸组成、含量以及不同采收季节的变化,为条斑紫菜品质分析及食品开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验材料分别于 2012 年 1 月(前期)、2 月(盛期)、3 月(后期)采集于江苏南通紫菜栽培区,信息如表 1 所示。材料采集后带回实验室,使用海水清洗藻体,并剔除杂藻和藻体基部。藻体自然阴干,研磨后过 100 目筛,藻粉低温(-20℃)保存。

收稿日期:2013-05-06 修回日期:2013-07-17

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA10A406-6);国家科技支撑计划项目(2011BAD13B0902);国家海洋局公益性项目(201105023);农业部公益性项目(200903030);江苏省农业科技支撑计划(BE2011376, BE2011375)

通信作者:朱建一, E-mail: xupu666@163.com

表 1 实验材料概况
Tab.1 The survey of the analysed material

样品编号 no.	名称 name	材料背景 backgrounds of material	育种单位 the breeding organization
1	对照	条斑紫菜主产区良种栽培品系	江苏省海洋水产研究所
2	Y-008	条斑紫菜选育品系	常熟理工学院
3	Y-H001	杂交重组品系,显示条斑紫菜性状	常熟理工学院
4	Y-H002	杂交重组品系,显示条斑紫菜性状	常熟理工学院
5	Y-L0601-a	高光胁迫筛选品系	江苏省海洋水产研究所
6	Y-L0601	高光胁迫筛选品系	常熟理工学院
7	Y-L0602-a	高光胁迫筛选品系	江苏省海洋水产研究所
8	Y-L0602	高光胁迫筛选品系	常熟理工学院
9	Y-2011	条斑紫菜选育品系	江苏省海洋水产研究所
10	Y-06D0	条斑紫菜诱变选育品系	常熟理工学院

1.2 脂肪酸提取方法

脂肪酸提取参照文献[12]。

1.3 GC-MS 条件

仪器:QP2010 气相色谱-质谱分析仪,AOC-20i 自动进样器(日本 SHIMADZU 公司),30 m × 0.25 mm × 0.25 μm RTX-Wax 色谱柱(美国 SUPELCO 公司)。

GC 条件:进样口温度 220 ℃,检测器温度 250 ℃,载气为高纯氦气(99.999%),柱流速 1.0 mL/min,进样时间 1 min,溶剂延迟 3 min,柱起始温度 60 ℃,保持 2 min,以 15 ℃/min 升温至 120 ℃,然后以 2.5 ℃/min 升温至 220 ℃,保持 15 min。采用分流进样模式,分流比 50:1,进样量 1 μL。

MS 条件:电子轰击(EI)离子源,电子能量 70 eV,离子源温度 230 ℃,接口温度 220 ℃,采用 Scan 模式,质量扫描范围为 45 ~ 450 m/z。

1.4 数据分析

采用内标法(19:0)计算各样品脂肪酸组分的含量(mg/g),使用统计软件 Origin 8.0 进行分析作图。

2 结果

2.1 脂肪酸组分

依据 GC-MS 总离子流图各色谱峰离子碎片图谱,通过 NIST05 和 NIST05s 标准谱库检索确定色谱峰组分,并采用内标法计算各脂肪酸组分含量(表 2)。

表 2 条斑紫菜不同采收期样品脂肪酸组成及含量
Tab.2 The fatty acid composition and content of samples harvested in different time mg/g

脂肪酸 fatty acid	样品编号 no.														
	1			2			3			4			5		
	1 月	2 月	3 月	1 月	2 月	3 月	1 月	2 月	3 月	1 月	2 月	3 月	1 月	2 月	3 月
13:0	0.03	0.09	0.02	0.03	0.06	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.05	0.03
16:0	5.30	8.63	5.54	4.24	5.86	5.53	4.78	5.84	5.97	4.49	6.95	5.91	4.52	8.45	5.29
18:0	0.12	0.09	0.15	0.10	0.09	0.16	0.11	0.06	0.22	0.10	0.14	0.17	0.09	0.11	0.16
18:1 n-9	0.71	0.71	0.62	0.46	0.60	0.56	0.67	0.46	0.82	0.49	0.53	0.63	0.57	0.59	0.49
20:1 n-9	1.19	1.26	0.86	0.93	0.97	0.96	1.04	1.07	1.19	0.98	1.06	1.07	0.94	1.31	0.92
20:2 n-7	0.50	0.68	0.39	0.44	0.57	0.36	0.44	0.49	0.41	0.38	0.58	0.40	0.39	0.66	0.33
20:3 n-7	0.54	0.61	0.42	0.39	0.50	0.47	0.47	0.46	0.58	0.41	0.52	0.48	0.43	0.67	0.40
16:1 n-6	0.65	0.78	0.52	0.50	0.62	0.44	0.60	0.61	0.62	0.54	0.71	0.53	0.52	0.85	0.41
18:2 n-6	0.47	0.61	0.44	0.36	0.41	0.38	0.42	0.37	0.58	0.39	0.43	0.46	0.37	0.54	0.36
20:4 n-6	0.89	0.80	0.97	0.75	0.53	0.66	0.83	0.64	0.86	0.95	0.52	0.81	0.78	0.96	0.58
18:3 n-3	0.17	0.17	0.09	0.08	0.05	0.19	0.09	0.10	0.13	0.06	0.21	0.09	0.09	0.13	0.22
20:5 n-3	11.92	19.88	11.30	9.84	13.86	12.07	10.67	12.94	11.86	9.44	15.93	11.90	10.67	19.43	9.85

续表 2

脂肪酸 fatty acid	样品编号 no.														
	6			7			8			9			10		
	1 月	2 月	3 月	1 月	2 月	3 月	1 月	2 月	3 月	1 月	2 月	3 月	1 月	2 月	3 月
13:0	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.04	0.05	0.04	0.06	0.03	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02
16:0	4.24	8.92	5.94	4.03	5.80	4.06	5.72	4.21	4.96	5.40	6.02	6.80	5.25	6.59	4.34
18:0	0.12	0.14	0.15	0.06	0.06	0.15	0.12	0.09	0.13	0.12	0.09	0.14	0.09	0.09	0.09
18:1 n-9	0.61	1.21	0.55	0.35	0.49	0.71	0.57	0.62	0.54	0.65	0.60	0.49	0.53	0.55	0.42
20:1 n-9	0.91	1.30	1.06	0.82	0.98	0.85	1.24	0.85	0.84	1.13	1.02	1.01	1.03	1.07	0.79
20:2 n-7	0.39	0.64	0.40	0.33	0.52	0.35	0.52	0.46	0.33	0.45	0.55	0.35	0.41	0.53	0.27
20:3 n-7	0.37	0.59	0.49	0.33	0.51	0.45	0.55	0.47	0.39	0.49	0.54	0.44	0.44	0.52	0.38
16:1 n-6	0.51	0.69	0.50	0.39	0.57	0.46	0.60	0.58	0.41	0.61	0.63	0.56	0.58	0.70	0.41
18:2 n-6	0.37	0.47	0.42	0.26	0.36	0.37	0.44	0.38	0.35	0.42	0.44	0.40	0.40	0.44	0.33
20:4 n-6	0.71	0.54	0.83	0.59	0.76	1.15	0.77	0.88	0.80	0.78	0.80	0.85	0.69	0.71	0.73
18:3 n-3	0.08	0.25	0.08	0.07	0.04	0.03	0.06	0.01	0.18	0.06	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04
20:5 n-3	8.66	20.21	12.05	10.19	14.97	8.13	12.97	9.02	10.04	11.15	13.66	12.72	12.01	14.15	8.79

2.2 总脂肪酸含量

不同采收期条斑紫菜总脂肪酸含量如图 1 所示。前期采收样品(1 月)总脂肪酸含量在 17.01 ~ 23.61 mg/g,平均含量为 19.93 mg/g,高于此平均含量的样品为 1、3、8、9、10;盛期采收样品(2 月)总脂肪酸含量在 17.61 ~ 35 mg/g,平均含量为 27.04 mg/g,高于此平均含量的样品为 1、4、5、6;后期采收样品(3 月)总脂肪酸含量在 16.61 ~ 23.89 mg/g,平均含量为 20.67 mg/g,样品 1、2、3、4、6、9 高于平均含量。

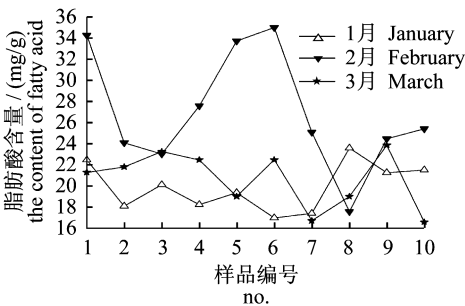


图 1 条斑紫菜 1—3 月样品总脂肪酸含量
Fig.1 The total fatty acid content of samples harvested in different time points

2.3 饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸含量及组成

条斑紫菜饱和脂肪酸包括 13:0、16:0、18:0,其中以 16:0 为主;不饱和脂肪酸包括 18:1 n-9、18:2 n-6、18:3 n-3、20:1 n-9、20:2 n-7、20:3 n-7、20:4 n-6 (AA)、20:5 n-3(EPA),其中以 EPA 为主。

1 月份样品饱和脂肪酸含量在 4.11 ~ 5.54 mg/g,占总脂肪酸的比例在 23.56% ~ 26.04%;不

饱和脂肪酸含量在 12.61 ~ 17.72 mg/g,占总脂肪酸的比例在 73.96% ~ 76.44%,其中 EPA 的比例在 50.95% ~ 58.47%,含量较高的样品为 2、5、7、8、10。SFA/UFA 值在 1:3。EPA/AA 值在 9 ~ 17。

2 月份样品饱和脂肪酸含量在 4.34 ~ 9.10 mg/g,占总脂肪酸的比例在 23.52% ~ 26.36%;不饱和脂肪酸含量在 13.26 ~ 25.90 mg/g,占总脂肪酸的比例在 73.64% ~ 76.48%,其中 EPA 的比例在 51.22% ~ 59.63%,含量较高的样品为 1、2、4、5、6、7。SFA/UFA 值在 1:3。EPA/AA 值在 10 ~ 37。

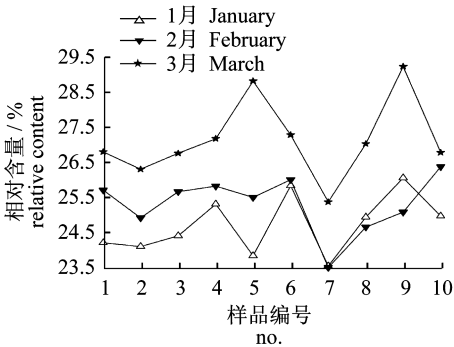


图 2 条斑紫菜 1—3 月样品饱和脂肪酸相对含量
Fig.2 The SFAs relative content of samples harvested in different time points

3 月份样品饱和脂肪酸含量在 4.25 ~ 6.97 mg/g,占总脂肪酸的比例在 25.36% ~ 29.17%;不饱和脂肪酸含量在 12.16 ~ 17.05 mg/g,占总脂肪酸的比例在 70.82% ~ 74.63%,其中 EPA 的比例在 48.56% ~ 55.29%,含量较高的样品为 1、2、6、9。SFA/UFA 值在 1:2.67。EPA/AA 值在 11 ~ 16。

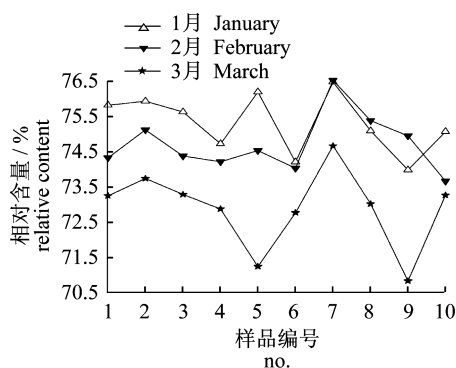


图3 条斑紫菜1—3月样品不饱和脂肪酸相对含量
Fig. 3 The UFAs relative content of samples harvested in different time points

2.4 n-3 和 n-6 系列多不饱和脂肪酸含量及组成

条斑紫菜样品 n-3、n-6 PUFA 相对含量如图 4、5 所示。n-3 PUFA 以 EPA 为主, n-6 PUFA 以 AA 为主。

1 月份样品: n-3 PUFA 含量在 8.74 ~ 13.04 mg/g, 含量较高的样品为 1、8、9、10。n-6 PUFA 含量在 1.23 ~ 2.01 mg/g, n-6/n-3 比值在 2.74 ~ 7.53, 平均值为 5.1。

2 月份样品: n-3 PUFA 含量在 9.03 ~ 20.47 mg/g, 含量较高的样品为 1、4、5、6。n-6 PUFA 含量在 1.55 ~ 2.35 mg/g, n-6/n-3 比值在 1.84 ~ 7.95, 平均值为 4.9。

3 月份样品: n-3 PUFA 含量在 8.16 ~ 12.82 mg/g, 含量较高的样品为 1、2、3、4、6、9。n-6 PUFA 含量在 1.35 ~ 2.06 mg/g, n-6/n-3 比值在 1.61 ~ 13.68, 平均值为 7.7。

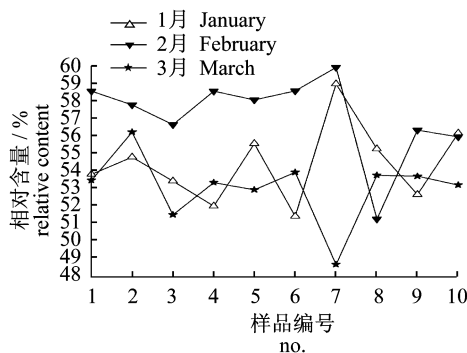


图4 条斑紫菜1—3月样品 n-3 多不饱和脂肪酸相对含量
Fig. 4 The n-3 PUFAs relative content of samples harvested in different time points

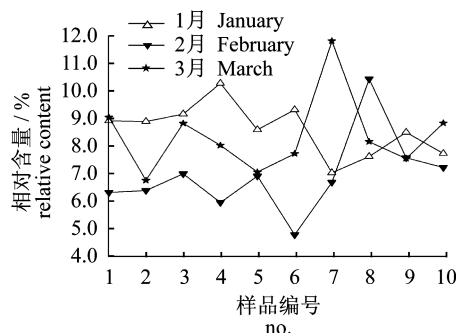


图5 条斑紫菜1—3月样品 n-6 多不饱和脂肪酸相含量
Fig. 5 The n-6 PUFAs relative content of samples harvested in different time points

3 讨论

3.1 条斑紫菜脂肪酸组成特征

藻类因种类不同, 显示出脂肪酸组成的种属特异性, 具有分类学价值^[13-14]。本实验通过对各样品脂肪酸的提取分析表明, 不同采收期、不同栽培品系样品的条斑紫菜其脂肪酸组成一致, SFA/UFA 值在 1/3 左右。其中, 饱和脂肪酸以 16:0 为主, 相对含量在 20% 左右; 不饱和脂肪酸以 EPA 为主, 相对含量在 50% 左右。陈必链等^[4]对坛紫菜 (*P. haitanensis*) 研究表明, 16:0 相对含量为 33%, EPA 为 22%; Johns 等^[11]对紫菜 (*Pyropia* sp.) 脂肪酸分析显示, 16:0 含量为 32.67%, EPA 含量为 41.8%; Blouin 等^[15]对脐形紫菜 (*P. umbilicalis*) 和宽紫菜 (*P. amplissima*) 脂肪酸分析表明, 饱和脂肪酸以 16:0 为主, 含量在 20% 左右, 不饱和脂肪酸以 EPA 为主, 含量在 39% 左右。由此可见, 饱和脂肪酸以 16:0 为主, 不饱和脂肪酸以 EPA 为主的脂肪酸组成特征不仅是条斑紫菜, 更是红藻紫菜属物种的共同特征。

3.2 条斑紫菜不饱和脂肪酸含量及组成特点

本实验结果显示, 条斑紫菜不饱和脂肪酸组成特征是: n-3 PUFA 以 EPA 为主, n-6 PUFA 以 AA 和 18:2 n-6 为主; 栽培期间 EPA 含量变化特征是: 生长采收盛期的 2 月为最高, 含量在 9.02 ~ 20.21 mg/g, 相对含量在 56% 左右; 1 月和 3 月样品 EPA 含量相近, 分别为 8.66 ~ 12.97 mg/g 和 8.13 ~ 12.72 mg/g, 相对含量分别为 53% ~ 51%。不同品系之间 EPA 含量存在差异, 样品 1、2、5、6、7 高于其他品系。

在藻类脂肪酸含量及营养价值研究中, 红藻

中的 n-3、n-6 PUFA 作为必需脂肪酸,在人体营养、发育和疾病的防治方面有着重要作用^[16]而备受关注。马家海等^[17]研究表明,红毛菜(*Bangia* sp.) EPA 占总脂的 50% 以上, Fleurence 等^[18] 研究结果表明,脐形紫菜(*P. umbilicalis*) EPA 含量在 50% 左右。在开发富含 EPA 海藻种类中, Khotimchenko 等^[19] 根据 EPA/AA 值把红藻划分为 3 个类别: I. 以 EPA 含量为主,比值超过 2; II. 两者含量相当,比值在 1 左右; III. 以 AA 含量为主,比值小于 1/2,在其研究的 28 种红藻中绝大多数划归到类别 I 中。本实验 EPA/AA 比值显示,1 月样品测定值在 9~17,2 月为 10~37,3 月为 7~17,3 个月份所有样品都毫无疑问的划归到类别 I 中,在人类必需脂肪酸食物来源中,条斑紫菜应属富含 EPA 的理想食品。

PUFA 中 n-6/n-3 适宜比例对维持机体多个代谢途径的平衡十分重要,也是膳食脂肪酸质量的重要评价指标^[20]。张敏等^[21] 对龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)、红毛菜(*Bangia* sp.) 等研究表明,这些海藻都富含 n-3、n-6 PUFA,且 n-6/n-3 值低于 2。本实验显示,3 个月份样品 n-6/n-3 值在 4.9~7.7。条斑紫菜富含 n-3 PUFA,且 n-6/n-3 比例符合理想膳食的要求,作为健康食品的加入和开发,在平衡膳食,改善人们健康状况方面将有着积极的意义。

3.3 条斑紫菜脂肪酸含量变化和温度的关系

藻类脂肪酸的季节变化是环境因子共同作用的结果^[22]。Nelson 等^[23] 对软刺藻(*Chondracanthus canaliculatus*)脂肪酸组成的季节变化研究显示,在低温的冬季和春季,脂肪酸含量升高,说明温度影响海藻脂肪酸的积累。藻类低温适应机制研究证实,低温条件引起藻类脂肪酸特别是不饱和脂肪酸水平升高,来提高质膜流动性,以维持原生质的正常黏稠度^[24-25]。其中不饱和脂肪酸(EPA、AA 等)是膜脂的重要组成部分,温度对其影响明显^[26]。Khotimchenko 等^[19] 对羽状翼藻(*Ptilota filicina*)的研究显示,22℃下藻体 EPA 含量为 36.5%,10℃下藻体 EPA 含量上升到 49.5%。Mishra 等^[27]对红皮藻(*Palmaria palmata*)的研究表明,低温下的 EPA 含量最高。2012 年江苏南通紫菜栽培区海水表面温度测定数据显示,1 月为 5~9℃,2 月为 4~5℃,3 月在 5~6℃。而本实验测定结果显示,2 月样品脂肪酸含量最高,平均

含量高达 26.3 mg/g,EPA 相对含量约为 56%,显示生长盛期也是条斑紫菜生物活性物质积累最多的阶段。与上述低温有利于海藻脂肪酸特别是 EPA 的积累研究结论相符。

AA/EPA 值是藻类适应环境的重要指标,AA/EPA 值的升高,表明细胞膜流动性降低^[28]。Cohen 等^[29]对紫球藻(*Porphyridium cruentum*)的研究显示,30℃培养藻体的 AA/EPA 值为 0.78,而 25℃条件下 AA/EPA 值下降到 0.44。本实验采收期内 1 月样品 AA/EPA 值为 0.05~0.1;2 月水温下降,比值也下降到 0.02~0.09;3 月水温回升,比值也明显上升为 0.05~0.14,与上述研究结果变化趋势一致。研究探讨温度对条斑紫菜脂肪酸组成含量的影响,可以帮助我们深入了解其生长活性及生理状态,为紫菜优良品质分析及加工提供理论基础。

参考文献:

- [1] Sutherland J E, Lindstrom S C, Nelson W A, et al. A new look at an ancient order: generic revision of the Bangiales (Rhodophyta) [J]. Journal of Phycology, 2011, 47(5): 1131-1151.
- [2] Fleurence J. Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses [J]. Trends in Food Technology, 1999, 10(1): 25-28.
- [3] 李瑞霞, 伊纪峰, 沈颂东, 等. 条斑紫菜游离氨基酸组成分析 [J]. 氨基酸和生物资源, 2011, 33(1): 4-9.
- [4] 陈必链, 林跃鑫, 黄键. 坛紫菜的营养评价 [J]. 中国海洋药物, 2001, (2): 51-54.
- [5] Noda H. Health benefits and nutritional properties of nori [J]. Journal of Applied Phycology, 1993, 5(2): 255-258.
- [6] 曾呈奎, 张德瑞. 紫菜的研究 I. 甘紫菜的生活史 [J]. 植物学报, 1954, 3(3): 287-302.
- [7] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2002: 82.
- [8] 朱路英, 张学成, 宋晓金, 等. n-3 多不饱和脂肪酸 DHA、EPA 研究进展 [J]. 海洋科学, 2007, 31(11): 78-85.
- [9] Smit L A, Mozaffarian D, Willett W. Review of fat and fatty acid requirements and criteria for developing dietary guidelines [J]. Annals of Nutrition Metabolism, 2009, 55(1-3): 44-55.
- [10] WHO & FAO. Fats and oils in human nutrition [J]. Nutrition reviews, 1995, 53(7): 202-205.

- [11] Johns R B, Nichols P D, Perry G J. Fatty acid composition of ten marine algae from Australian waters[J]. *Phytochemistry*, 1979, 18(5): 799 – 802.
- [12] Bling E G, Dyer W J. A rapid method of total lipid extraction and purification[J]. *Canadian Journal of Biochemistry Physiology*, 1959, 37(8): 911 – 917.
- [13] Herbreteau F, Coiffard L J M, Derrien A, *et al.* The fatty acid composition of five species of macroalgae[J]. *Botanica Marina*, 1997, 40(1): 25 – 27.
- [14] Liu X J, Chen F, Jiang Y. Differentiation of *Nostoc flagelliforme* and its neighboring species using fatty-acid profiling as a chemotaxonomic tool[J]. *Current Microbiology*, 2003, 47(6): 467 – 474.
- [15] Blouin N, Calder B L, Perkins B, *et al.* Sensory and fatty acid analyses of two Atlantic species of *porphyra* (Rhodophyta) [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2006, 18(1): 79 – 85.
- [16] 阮征, 吴谋成, 胡筱波, 等. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. *中国油脂*, 2003, 28(2): 55 – 59.
- [17] 马家海, 李水军, 纪焕红, 等. 红毛菜的氨基酸和脂肪酸分析[J]. *中国海洋药物*, 2002, 21(5): 40 – 43.
- [18] Fleurence J, Gutbier G, Mabeau S, *et al.* Fatty acids from 11 marine macroalgae of the French Brittany coast[J]. *Journal of Applied Phycology*, 1994, 6(5 – 6): 527 – 532.
- [19] Khotimchenko S V, Vaskovsky V E. Distribution of C₂₀ polyenoic acids in red macrophytic algae[J]. *Botanica Marina*, 1990, 33(6): 525 – 528.
- [20] 余文三. 多不饱和脂肪酸的研究概况[J]. *国外医学(卫生学分册)*, 1998, 25(6): 359 – 363.
- [21] 张敏, 李瑞霞, 伊纪峰, 等. 4 种经济海藻脂肪酸组成分析[J]. *海洋科学*, 2012, 36(4): 7 – 12.
- [22] Ivesa L, Blazlina M, Najdek M. Seasonal variations in fatty acid composition of *Caulerpa taxifolia* (M. Vahl.) C. Ag. in the northern Adriatic Sea (Malinska, Croatia) [J]. *Botanica Marina*, 2005, 47(3): 209 – 214.
- [23] Nelson M M, Phleger C F, Nichols P D. Seasonal lipid composition in macroalgae of the Northeastern Pacific Ocean[J]. *Botanica Marina*, 2002, 45(1): 58 – 65.
- [24] Khotimchenko S V, Yadovleva I M. Lipid composition of the red alga *Tichocarpus crinitus* exposed to different levels of photon irradiance[J]. *Phytochemistry*, 2005, 66(1): 73 – 79.
- [25] Phleger C E. *Biochemistry and Molecular Biology of Fisher* [M]. Holland: Elsevier Science, 1991: 209 – 247.
- [26] Gerasimenko N I, Busarova N G, Moiseenko O P. Seasonal changes in the content of lipids, fatty acids, and pigments in brown alga *Costaria costata* [J]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2010, 57(2): 205 – 211.
- [27] Mishra V K, Temelli F, Ooraikul B, *et al.* Lipids of the red alga, *Palmaria palmata* [J]. *Botanica Marina*, 1993, 36(2): 169 – 174.
- [28] Kim M K, Dubacq J P, Thomas J C, *et al.* Seasonal variations of triacylglycerols and fatty acids in *Fucus serratus* [J]. *Phytochemistry*, 1996, 43(1): 49 – 55.
- [29] Cohen Z, Vonshak A, Richmond A. Effect of environmental conditions on fatty acid composition of the red alga *Porphyridium cruentum*; correlation to growth rate[J]. *Journal of Phycology*, 1988, 24(3): 328 – 332.

The variation in fatty acids composition and content of ten *Pyropia yezoensis* cultivars during different harvest time periods

MA Fei^{1,2}, LU Qinqin³, HU Chuanming³, ZHANG Tao¹,
ZHOU Wei³, LI Jiafu¹, DENG Yinyin¹, ZHU Jianyi^{1*}

(1. Department of Biology and Food Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, China;

2. College of Life Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China;

3. Institute of Oceanology and Marine Fisheries of Jiangsu, Nantong 226007, China)

Abstract: Ten cultivated strains of *Pyropia yezoensis* were studied in this research in order to identify the effects of the strain difference and the harvesting time difference on the fatty acid composition and content of *P. yezoensis*. The results showed that the fatty acid composition of these ten *P. yezoensis* samples was not affected; however, the content of each fatty acid was affected and the difference among ten samples was significant. The saturated fatty acids (SFAs) were mainly composed of 13:0, 16:0, 18:0 with 16:0 as the highest component (about 20%). The unsaturated fatty acids (UFAs) included 18:1 n-9, 18:2 n-6, 18:3 n-3, 20:1 n-9, 20:2 n-7, 20:3 n-7, 20:4 n-6 (AA), 20:5 n-3 (EPA) and the major component was EPA (about 50%). Samples harvested during the lowest water temperature period (February) contained the highest total fatty acids and EPA concentration; the result indicates that the low water temperature has advantages in accumulating fatty acids especially UFAs of *P. yezoensis*. *P. yezoensis* is rich in UFAs (especially EPA). The n-6/n-3 ratios ranged from 4.9 to 7.7 during the whole study period, and this range is consistent with the recommended diet ratio of WHO/FAO.

Key words: cultivated strain of *Pyropia yezoensis*; fatty acids content; fatty acids composition; unsaturated fatty acids; EPA

Corresponding author: ZHU Jianyi. E-mail: xupu666@163.com