

不同产地海带脂肪酸组成的比较分析

徐 华 张 茹 张进杰 楼乔明* 杨文鸽 徐大伦

(宁波大学海洋学院, 浙江 宁波 315211)

摘 要: 为比较分析不同产地海带的脂肪酸组成, 本研究采用溶剂法对海带总脂提取条件进行优化, 并通过气相色谱-质谱技术对福州、宁波和青岛 3 个产地海带的总脂脂肪酸组成进行比较分析。结果表明, 二氯甲烷-甲醇法提取海带总脂的效率较高, 是海带总脂提取的理想方法; 福州、宁波和青岛海带的总脂含量依次为 0.75%、0.69% 和 0.86%, 且无显著差异。从海带总脂中共鉴定出 30 种脂肪酸, 以 C16: 0、C18: 1n-9、C20: 4n-6(AA) 和 C20: 5n-3(EPA) 为主, 且 3 个产地海带在脂肪酸组成上存在显著差异。福州产地海带中的 C20: 4n-6 和 C20: 5n-3 含量分别为 10.12%、6.18%, 其中 C20: 4n-6 含量显著高于宁波(9.41%) 和青岛(8.77%), C20: 5n-3 含量显著低于宁波(8.13%) 和青岛(9.40%), 进而使 3 个产地海带中的 n-3 PUFA、n-6 PUFA、n-3/n-6、EPA+AA 和 EPA/AA 等指标存在显著差异。本研究结果为不同产地海带总脂提取、脂肪酸比较分析及营养评价提供了一定的理论依据。

关键词: 海带; 总脂; 脂肪酸; 产地

DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2019.04.0759

海带(*Laminaria japonica*) 又名昆布、江白菜、海带菜, 为褐藻门(Phaeophyta) 褐子纲(Phaeosporae) 海带目(Laminariales) 的一种大型海藻^[1-2]。海带在我国有着悠久的食用历史, 其含有丰富的褐藻酸、甘露醇、膳食纤维, 以及维生素和矿物质等活性成分, 是一种天然的低脂肪低热量的保健食品, 符合现代人的饮食结构^[3]。近年来, 随着药理和临床研究的不断深入, 海带在调节血糖、降血脂、预防心脑血管疾病, 以及防癌抗癌和提高免疫力等功效方面日益受到重视^[4-6]。

目前, 海带是我国养殖规模和产量最大的海洋经济藻类, 为我国水产养殖的支柱产业之一, 其养殖范围北起辽宁, 南至福建、广东沿岸; 2015 年我国海带产量已达 141 万 t, 居世界首位^[7-8]。国内外对海带的研究和开发主要集中于多糖^[9-11]、多酚^[12] 和蛋白质等活性成分^[13], 对海带脂肪酸组成和多不饱和脂肪酸提取亦有报道^[14-15], 但对不同产地海带脂肪酸组成的比较分析尚未见报道。海带总脂含量低、脂质组成复杂, 且富含多不饱和脂肪酸, 因此, 如何有效提取海带总脂, 并对脂肪酸进行色谱分析是准

确分析海带总脂脂肪酸组成的关键所在。本研究采用溶剂法对福州、宁波和青岛 3 个产地海带的总脂进行提取优化, 并采用酸甲酯化衍生和气相色谱-质谱技术对 3 个产地海带总脂的脂肪酸组成进行比较分析, 以期对海带的脂肪酸分析、营养评价, 以及海带的精深加工和产品开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

干制海带分别购自福州、宁波和青岛当地市场; 37 种脂肪酸甲酯混标和鱼油脂肪酸甲酯混标, 购自美国 Sigma 公司; 二氯甲烷、甲醇、正己烷、异丙醇、甲基叔丁基醚等分析纯, 均购自国药集团化学试剂有限公司。

6980N 气相色谱仪、5973 质谱仪, 美国 Agilent 公司; SER148/6 型脂肪测定仪, 意大利 VELP 公司; Laborota 4000 efficient 型旋转蒸发器, 德国 Heidolph 公司。

收稿日期: 2017-08-18 接受日期: 2018-02-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(31201283), 国家星火计划项目(2014GA701010), “水产”浙江省重中之重学科开放基金项目(xkzsc1531)

作者简介: 徐华, 男, 主要从事生物资源开发利用研究。E-mail: xuhua1994@yeah.net

* 通讯作者: 楼乔明, 男, 副教授, 主要从事生物活性脂质研究。E-mail: louqm2005@163.com

1.2 试验方法

1.2.1 海带预处理 干制海带表面经清理,去除杂质和残叶,经粉碎制成海带粉,放于4℃冰箱中备用。

1.2.2 海带总脂的提取 二氯甲烷-甲醇法^[16-17]:称取10 g海带粉,加入200 mL二氯甲烷-甲醇混合液(2:1, v:v),超声振荡30 min,并浸提3 h;抽滤后,滤液用50 mL 0.9%氯化钠溶液洗涤分层,收集二氯甲烷层,用无水硫酸钠干燥,减压浓缩得到海带总脂。

正己烷-异丙醇法^[18-19]:称取10 g海带粉,加入200 mL正己烷-异丙醇混合液(3:2, v:v),超声振荡30 min,并浸提3 h。抽滤后,滤液用80 mL 5%硫酸钠溶液洗涤分层,收集正己烷层,用无水硫酸钠干燥,减压浓缩得到海带总脂。

甲基叔丁基醚法^[20]:称取10 g海带粉,依次加入60 mL甲醇和200 mL甲基叔丁基醚,超声振荡30 min,并浸提3 h;抽滤后,滤液用50 mL蒸馏水洗涤分层,收集甲基叔丁基醚层,用无水硫酸钠干燥,减压浓缩得到海带总脂。

索氏提取法:称取10 g海带粉,放入滤纸筒中,用100 mL石油醚(沸程30~60℃)于75℃加热抽提3 h;抽提结束后,石油醚提取液经减压浓缩得到海带总脂。

1.2.3 甲酯化衍生 参照楼乔明等^[21]的方法。称取10 mg海带总脂,加入1 mL 10%浓硫酸-甲醇溶液,于60℃水浴中甲酯化15 min,冷却后加入1 mL正己烷振荡,静置分层后,取上清液供GC-MS分析。

1.2.4 脂肪酸检测 色谱条件:HP-INNOWax 石英毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm),载气为高纯氦气,采用恒压模式,压力54 kPa,分流比25:1;进样口温度230℃,检测器温度250℃,柱温以3℃·min⁻¹的升温速率由140℃升至210℃,并于210℃保持7 min,整个分析过程为30 min。

质谱条件:GC-MS接口温度280℃,EI离子源,电离能量70 eV,离子源温度230℃,扫描周期2.84次·s⁻¹,质量扫描范围m/z 50~500 u。

1.3 数据分析

每次试验平行测定3次,利用SPSS 18.0软件对数据进行统计分析,数据以平均值±标准差表示。采用单因素方差分析法(ANOVA, Tukey 检验)进行显著性检验,并通过Duncan's法进行单因素多重比较分析, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同方法对海带总脂提取效果的影响

由表1可知,二氯甲烷-甲醇法提取的海带总脂含量较高,其中青岛产地的总脂含量最高,占海带干重的0.86%,福州(0.75%)和宁波(0.69%)次之;索氏提取法和甲基叔丁基醚法提取的海带总脂含量低于二氯甲烷-甲醇法,且正己烷-异丙醇法提取的海带总脂含量显著低于二氯甲烷-甲醇法($P<0.05$)。

表1 不同方法提取的海带总脂含量

Table 1 Total lipid content of *Laminaria japonica* extracted by different methods

/%

提取方法 Extraction method	产地 Origin		
	福州 Fuzhou	宁波 Ningbo	青岛 Qingdao
二氯甲烷-甲醇法 Dichloromethane-methanol	0.75±0.11b	0.69±0.13b	0.86±0.08b
正己烷-异丙醇法 Hexane-isopropanol	0.39±0.12a	0.33±0.12a	0.45±0.13a
甲基叔丁基醚法 Methyl tert-butyl ether	0.47±0.14a	0.42±0.17ab	0.52±0.10a
索氏提取法 Soxhlet extraction	0.58±0.16ab	0.52±0.15ab	0.61±0.18a

注:不同小写字母表示同一产地不同方法间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase mean significant difference among different methods in the same origin at 0.05 level.

2.2 不同产地海带脂肪酸的比较分析

3个产地海带总脂经二氯甲烷-甲醇法提取,采用酸甲酯化衍生和气相色谱-质谱分析,取得了理想的色谱分离效果,其总离子流色谱图见图1。通过标准品对照、质谱特征分析、数据库检索和等碳链长值等多

种方法进行综合鉴定分析^[22-24],从海带总脂中共鉴定出30种脂肪酸(表2)。

海带脂肪酸由C14-C20脂肪酸组成,且以C14:0、C16:0、C18:1n-9、C18:2n-6、C18:4n-3、C20:4n-6(AA)和C20:5n-3(EPA)为主。在所鉴定出的12种

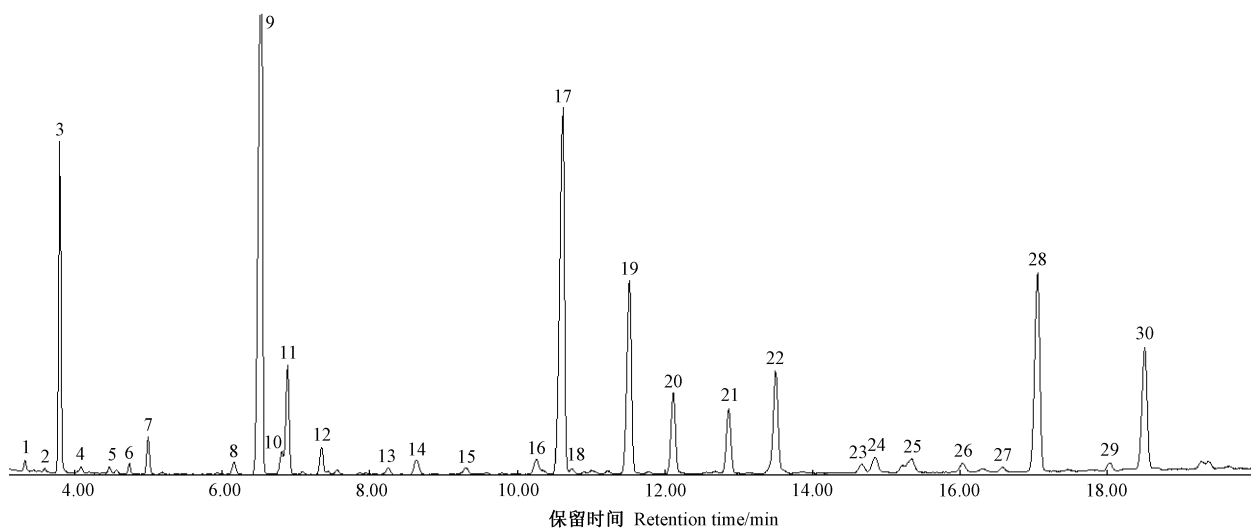
饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA) 中, 以直链饱和脂肪酸为主, 其中 C16: 0 含量最高, 占到脂肪酸总量的 23. 44%~24. 32%; 其次为 C14: 0, 福州产地海带中 C14: 0 含量为 7. 92%, 远高于宁波(7. 02%) 和青岛(6. 48%) 且差异显著($P<0.05$); 海带中 C18: 0 和 C20: 0 含量较低, 分别仅占脂肪酸总量的 0. 54%~1. 05% 和 0. 37%~0. 47%。同时, 从海带总脂脂肪酸中鉴定出 6 种单支链饱和脂肪酸, 包括 3 种异式脂肪酸和 3 种反式脂肪酸, 占脂肪酸总量的 1. 29%~1. 84%。

海带总脂中单不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA) 7 种, 以 C18: 1n-9、C16: 1n-7 和 C16: 1n-9 为主; C18: 1n-9 为海带总脂中含量最高的单不饱和脂肪酸, 其中青岛产地海带中 C18: 1n-9 含量为 19. 11%, 显著高于福州(17. 34%) 和宁波(18. 11%)。单不饱和脂肪酸中 C16: 1n-7 和 C16: 1n-9 含量次之, 宁波产地海带中 C16: 1n-7 含量为 4. 09%, 高于福州(3. 75%) 和青岛(3. 32%) 且差异显著($P<0.05$); 青岛产地海带中 C16: 1n-9 含量为 2. 96%, 远高于宁波(2. 68%) 和福州(0. 71%) 且差异显著($P<0.05$)。

海带总脂中多不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA) 11 种, 以 C18: 2n-6、C18: 4n-3、

C20: 4n-6(AA) 和 C20: 5n-3(EPA) 为主。对比 3 个产地海带的多不饱和脂肪酸发现: 福州产地海带中的 C20: 4n-6(AA) 和 C18: 2n-6 含量分别为 10. 12% 和 8. 76%, 高于宁波(9. 41%、6. 57%) 和青岛(8. 77%、5. 40%) 且差异显著($P<0.05$); C20: 5n-3(EPA) (6. 18%) 显著低于宁波(8. 13%) 和青岛(9. 40%)。

在脂肪酸定性定量分析的基础上, 对 3 个产地海带的主要脂肪酸类型进行比较分析(表 3)。3 个产地海带中的饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量较为接近, 分别为 34. 17%~36. 16% 和 37. 42%~39. 82%, 且均显著高于单不饱和脂肪酸含量(24. 02%~27. 83%)。福州产地海带中的 n-3 PUFA 含量为 14. 86%, 显著低于宁波(17. 72%) 和青岛(18. 75%); n-6 PUFA 含量为 23. 98%, 显著高于宁波(19. 43%) 和青岛(18. 20%), 使得福州产地海带的 n-3/n-6 比值显著低于宁波(0. 91) 和青岛(1. 03)。C20: 4n-6 和 C20: 5n-3 为海带重要的多不饱和脂肪酸, 福州产地海带中两者脂肪酸总含量(EPA+AA) 为 16. 30%, 显著低于宁波(17. 54%) 和青岛(18. 17%); 福州产地海带中两者多不饱和脂肪酸比值(EPA/AA) 仅为 0. 61, 亦显著低于宁波(0. 86) 和青岛(1. 07)。



Note: 1: iso-C14: 0; 2: anteiso-C14: 0; 3: C14: 0; 4: C14: 1n-5; 5: iso-C15: 0; 6: anteiso-C15: 0; 7: C15: 0; 8: anteiso-C16: 0; 9: C16: 0; 10: C16: 1n-9; 11: C16: 1n-7; 12: C16: 2n-4; 13: C17: 0; 14: C17: 1n-7; 15: iso-C18: 0; 16: C18: 0; 17: C18: 1n-9; 18: C18: 1n-7; 19: C18: 2n-6; 20: C18: 3n-6; 21: C18: 3n-3; 22: C18: 4n-3; 23: C20: 0; 24: C20: 1n-9; 25: C20: 2n-6; 26: C20: 3n-6; 27: C20: 3n-3; 28: C20: 4n-6(AA); 29: C20: 4n-3; 30: C20: 5n-3(EPA)。

图 1 海带脂肪酸的总离子流色谱图

Fig.1 Total ion chromatogram of fatty acid composition of *Laminaria japonica*

表 2 不同产地海带的脂肪酸组成
Table 2 Fatty acid compositions of *Laminaria japonica* from different origins

序号 Number	保留时间 Retention time/min	脂肪酸 Fatty acid	产地 Origin		
			福州 Fuzhou	宁波 Ningbo	青岛 Qingdao
1	3. 32	iso-C14: 0	0. 27±0. 02b	0. 20±0. 03a	0. 35±0. 03c
2	3. 59	anteiso-C14: 0	0. 10±0. 03a	0. 13±0. 02a	0. 20±0. 02b
3	3. 80	C14: 0	7. 92±0. 21c	7. 02±0. 25b	6. 48±0. 16a
4	4. 09	C14: 1n-5	0. 22±0. 03b	0. 14±0. 03a	0. 32±0. 02c
5	4. 47	iso-C15: 0	0. 16±0. 02a	0. 22±0. 03b	0. 18±0. 03ab
6	4. 74	anteiso-C15: 0	0. 26±0. 02b	0. 19±0. 02a	0. 27±0. 03b
7	4. 99	C15: 0	1. 06±0. 04c	0. 57±0. 03a	0. 64±0. 02b
8	6. 16	anteiso-C16: 0	0. 48±0. 02b	0. 38±0. 03a	0. 41±0. 02a
9	6. 53	C16: 0	24. 04±0. 43a	24. 32±0. 57a	23. 44±0. 51a
10	6. 81	C16: 1n-9	0. 71±0. 05a	2. 68±0. 09b	2. 96±0. 08c
11	6. 88	C16: 1n-7	3. 75±0. 14b	4. 09±0. 17c	3. 32±0. 11a
12	7. 35	C16: 2n-4	0. 98±0. 03b	0. 27±0. 02a	1. 16±0. 03c
13	8. 26	C17: 0	0. 29±0. 03a	0. 55±0. 03c	0. 35±0. 02b
14	8. 63	C17: 1n-7	0. 74±0. 05a	0. 98±0. 04b	0. 81±0. 04a
15	9. 31	iso-C18: 0	0. 36±0. 02b	0. 17±0. 02a	0. 43±0. 02c
16	10. 26	C18: 0	0. 75±0. 06b	0. 54±0. 03a	1. 05±0. 04c
17	10. 61	C18: 1n-9	17. 34±0. 37a	18. 11±0. 42a	19. 11±0. 37b
18	10. 74	C18: 1n-7	0. 22±0. 01a	0. 62±0. 03c	0. 48±0. 02b
19	11. 52	C18: 2n-6	8. 76±0. 19c	6. 57±0. 16b	5. 40±0. 13a
20	12. 12	C18: 3n-6	3. 61±0. 05c	3. 02±0. 11a	3. 35±0. 06b
21	12. 87	C18: 3n-3	2. 88±0. 07a	3. 13±0. 08b	2. 76±0. 05a
22	13. 50	C18: 4n-3	5. 13±0. 14a	5. 77±0. 19c	5. 43±0. 09b
23	14. 67	C20: 0	0. 47±0. 03b	0. 46±0. 03b	0. 37±0. 02a
24	14. 85	C20: 1n-9	1. 04±0. 05b	1. 21±0. 05c	0. 72±0. 04a
25	15. 34	C20: 2n-6	0. 97±0. 04c	0. 19±0. 02a	0. 26±0. 03b
26	16. 04	C20: 3n-6	0. 52±0. 03c	0. 24±0. 02a	0. 42±0. 02b
27	16. 58	C20: 3n-3	0. 26±0. 02a	0. 25±0. 02a	0. 59±0. 02b
28	17. 05	C20: 4n-6(AA)	10. 12±0. 28c	9. 41±0. 35b	8. 77±0. 25a
29	18. 03	C20: 4n-3	0. 41±0. 02a	0. 44±0. 02a	0. 57±0. 02b
30	18. 51	C20: 5n-3(EPA)	6. 18±0. 14a	8. 13±0. 22b	9. 40±0. 27c

注: 同行不同小写字母表示差异显著($P<0. 05$); AA: 二十碳四烯酸; EPA: 二十碳五烯酸。下同。

Note: Different lowercase in the same line mean significant difference at 0. 05 level. AA: Arachidonic acid. EPA: Eicosapentaenoic acid. The same as following.

3 讨论

海带营养成分以褐藻胶、甘露醇、粗纤维、蛋白质及无机盐等矿物质元素为主,总脂含量较低^[25-26],且海带总脂含有甘油酯、磷脂和糖脂等多种脂质成分,组成复杂^[27]。总脂提取主要依靠有机溶剂的极性和溶

解性,正己烷-异丙醇法、甲基叔丁基醚法和索氏提取法所涉及的提取溶剂依次为正己烷、甲基叔丁基醚和石油醚,这些有机溶剂的极性和溶解性均较弱,上述 3 种提取方法适用于总脂含量高且以甘油酯为主的样品,因此,对总脂含量低且脂质组成复杂的海带样品不能进行完全有效提取,致使海带总脂提取量较低。同时,索氏提取法提取温度高,易破坏海带总脂中的不

表 3 不同产地海带脂肪酸的类型比较
Table 3 Classification comparison of fatty acids
of *Laminaria japonica* from different origins

指标 Index	产地 Origin		
	福州 Fuzhou	宁波 Ningbo	青岛 Qingdao
SFA	36.16±0.60b	34.75±0.76a	34.17±0.69a
MUFA	24.02±0.48a	27.83±0.61b	27.72±0.54b
PUFA	39.82±0.83b	37.42±1.02a	38.11±0.86ab
n-3 PUFA	14.86±0.25a	17.72±0.33b	18.75±0.28c
n-6 PUFA	23.98±0.37c	19.43±0.42b	18.20±0.31a
n-3/n-6	0.62±0.01a	0.91±0.02b	1.03±0.02c
EPA+AA	16.30±0.29a	17.54±0.40b	18.17±0.36b
EPA/AA	0.61±0.02a	0.86±0.03b	1.07±0.04c

饱和脂肪酸,降低不饱和脂肪酸含量,故正己烷-异丙醇法、甲基叔丁基醚法和索氏提取法不适用于海带总脂的提取。本研究结果表明,二氯甲烷-甲醇法能对海带总脂进行有效提取,提取量高于正己烷-异丙醇法、甲基叔丁基醚法和索氏提取法,且其操作简单,试剂毒性较低,是海带总脂提取的理想方法。

甲酯化衍生是气相色谱-质谱法分析脂肪酸组成的重要预处理过程。目前,常用的甲酯化衍生方法有酸甲酯化法和碱甲酯化法,碱甲酯化法只适用于结合型脂肪酸,酸甲酯化法既适用于结合型脂肪酸,亦适用于游离型脂肪酸^[14]。海带脂质组成复杂,脂肪酸常以甘油三酯、糖脂、磷脂和游离脂肪酸等多种形式存在,故酸甲酯化法更适用于海带脂肪酸的甲酯化衍生。同时,通过对脂肪酸甲酯结构特征分析和已有文献^[14, 28]比较,极性毛细管柱更适用于海带脂肪酸组成分析。本研究采用极性毛细管柱(HP-INNOWax)优化程序升温条件,取得了理想的色谱分离效果。

海带中的单不饱和脂肪酸以 C18: 1n-9 为主,占总脂肪酸含量的 17.34%~19.11%。C18: 1n-9 能有效降低血清总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量,亦能有效减少机体内的氧化应激产物,降低机体的过度性炎症反应,有助于机体康复^[29]。海带多不饱和脂肪酸以 C18-PUFA 和 C20-PUFA 为主,其中 C20: 4n-6、C20: 5n-3 为海带等褐藻的标志性多不饱和脂肪酸。本研究中,海带总脂脂肪酸组成中未检测出 C22: 6n-3 (DHA),这与前人报道结果一致^[30-31]。此外,福州、宁波、青岛 3 个产地海带中的 C20: 4n-6 (AA) 和 C20: 5n-3 (EPA) 存在显著差异,致使 n-3 PUFA、n-6 PUFA、n-3/n-6、EPA+AA 和 EPA/AA 等指标也存在显著差异,这可能与海带生长所处海域的水温、光照和纬度等

有一定相关性^[32-33]。C20: 4n-6 (AA) 为重要的 n-6 型多不饱和脂肪酸,是前列腺素 E2、前列环素、血栓烷素 A2 和白细胞三烯等二十碳酸衍生物的直接前体,能有效调节氧化应激,激活调节血小板和白细胞功能活性,在预防、治疗炎症等方面发挥重要作用^[34-35]。C20: 5n-3 (EPA) 属于 n-3 多不饱和脂肪酸,其能促进神经系统发育、改善大脑功能、提高记忆力,并能有效调节血脂和血糖,预防血栓、动脉硬化等心脑血管疾病^[36-37]。本试验结果表明,海带中 C20: 4n-6 和 C20: 5n-3 的总量高达 16.30%~18.17%,说明海带可作为有效的膳食来源补充人体所需的 C20: 4n-6、C20: 5n-3 等多不饱和脂肪酸。

4 结论

二氯甲烷-甲醇法的总脂提取效率高于正己烷-异丙醇法、甲基叔丁基醚法和索氏提取法,是海带总脂提取的有效方法。同时,酸甲酯化(10%浓硫酸-甲醇溶液)和极性毛细管柱(HP-INNOWax)更适用于海带脂肪酸的甲酯化衍生和气相色谱分析。福州、宁波和青岛 3 个产地海带经二氯甲烷-甲醇法提取,其总脂含量依次为 0.75%、0.69% 和 0.86%,且 3 个产地间无显著差异。通过酸甲酯化衍生和气相色谱-质谱分析从海带总脂中共鉴定出 30 种脂肪酸,以 C16: 0、C18: 1n-9、C20: 4n-6 (AA) 和 C20: 5n-3 (EPA) 为主,且 3 个产地海带在脂肪酸上存在显著差异。福州产地海带中 C20: 4n-6 (AA) 显著高于宁波和青岛,而 C20: 5n-3 (EPA) 显著低于宁波和青岛,致使 3 个产地海带中的 n-3 PUFA、n-6 PUFA、n-3/n-6、EPA+AA 和 EPA/AA 等指标存在显著差异。本研究结果为海带脂肪酸分析、营养评价,以及海带的精深加工和产品开发提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 盛晓风,赵艳芳,尚德荣,宁劲松,郭莹莹. 海带不同生长时期营养成分和主要元素差异比较[J]. 食品科技, 2011, 36(12): 66-68
- [2] 张悦,王静,李铁军. 海带多糖抗肿瘤活性研究进展[J]. 药学实践杂志, 2016, 34(5): 393-395
- [3] 姚海芹,王飞久,刘福利,梁洲瑞,汪文俊,孙修涛,李晓蕾. 食用海带品系营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 95-98
- [4] 刘敏,彭臻菲,方哲翔,张其清,许小平. 海带多糖硫酸酯对 bFGF 诱导的血管平滑肌细胞增殖的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(3): 257-260
- [5] 宋武林. 海带的主要功能及加工利用研究现状[J]. 福建水产,

- 2016, 38(1): 81-86
- [6] 樊琳, 娄永江, 陈小芳, 孙佩璇. 亚微米级海带粉制备技术研究及物理特性分析[J]. 核农学报, 2016, 30(1): 120-129
- [7] 曹增梅, 王伟伟, 曲艳艳, 王娜, 梁广津, 刘晓朋. 海带“东方7号”氨基酸季节变化分析与评价[J]. 水产科学, 2017, 36(2): 132-137
- [8] 农业部渔业局. 2016 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016
- [9] Yan F, Hao H. Effects of *Laminaria japonica* polysaccharides on exercise endurance and oxidative stress in forced swimming mouse model [J]. Journal of Biological Research-Thessaloniki, 2016, 23(1): 1-7
- [10] 谢瑾, 林宗毅, 王智荣, 张少敏, 崔春. 海带多糖酶法降解及其产物生物活性的研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(20): 23-27
- [11] Peng F H, Zha X Q, Cui S H, Asghar M N, Pan L H, Wang J H, Luo J P. Purification, structure features and anti-atherosclerosis activity of a *Laminaria japonica* polysaccharide [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 81(4): 926-935
- [12] 康静, 李萌, 冯冲, 李永海. 海带多酚的分离提取及对小鼠抗氧化能力的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(7): 178-181
- [13] 黄晓林, 郑优, 单琰婷, 姜蒙蒙, 南海函. 海带化学成分和药理活性研究进展[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(2): 246-250
- [14] 何芝洲, 曾峻龙, 梁少敏, 林志隆, 陈志雄, 袁观富, 樊亚鸣. 采用 GC-MS 分析不同甲酯化条件下的海带脂肪酸[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(14): 83-86
- [15] 黄俊辉, 曾庆孝, 余纲哲. 超临界萃取法提取海带多不饱和脂肪酸的研究[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2001, 29(12): 79-83
- [16] 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 Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509
- [17] 楼乔明, 王玉明, 杨文鸽, 徐大伦, 薛长湖. 南极磷虾粉脂质及脂肪酸组成分析[J]. 水产学报, 2012, 36(8): 1256-1262
- [18] Hara A, Radin N S. Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent [J]. Analytical Biochemistry, 1978, 90(1): 420-426
- [19] 韩菊, 魏福祥, 云自厚. 采用低毒溶剂提取脂质[J]. 分析化学, 2002, 30(4): 450-453
- [20] Matyash V, Liebisch G, Kurzchalia T V, Shevchenko A, Schwudke D. Lipid extraction by methyl-tert-butyl ether for high-throughput lipidomics [J]. Journal of Lipid Research, 2008, 49(5): 1137-1146
- [21] 楼乔明, 杨文鸽, 徐大伦, 郑贤孟, 薛长湖. 多支链饱和脂肪酸质谱特征及其在海洋动物中的含量分析[J]. 核农学报, 2013, 27(3): 334-339
- [22] 梁楠楠, 张良晓, 王向利, 谭斌斌, 梁逸曾. 质谱特征结合等效链长定性分析植物油中的脂肪酸[J]. 分析化学, 2011, 39(8): 1166-1170
- [23] Hansen J, Berge G M, Hillestad M, Krogdahl A, Galloway T F, Holm H, Holm J, Ruyter B. Apparent digestion and apparent retention of lipid and fatty acids in Atlantic cod (*Gadus morhua*) fed increasing dietary lipid levels [J]. Aquaculture, 2008, 284(1/4): 159-166
- [24] 楼乔明, 王玉明, 刘小芳, 李国云, 薛长湖, 李红艳. 南极磷虾脂肪酸组成及多不饱和脂肪酸质谱特征分析[J]. 中国水产科学, 2011, 18(4): 929-935
- [25] 李涛, 王飞久, 孙修涛, 汪文俊, 刘福利, 丁昌玲, 梁洲瑞, 刘坤. 黄官1号海带在不同海域的营养成分分析与评价[J]. 食品科技, 2012, 37(11): 70-75
- [26] 李晓川. 我国鲜海带加工的综合利用[J]. 中国水产, 2012(10): 22-23
- [27] Goncharova S N, Kostetsky E Y, Sanina N M. The effect of seasonal shifts in temperature on the lipid composition of marine macrophytes [J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2004, 51(2): 169-175
- [28] 冯小峻, 邓舟, 陆慧宁, 余志刚, 顾晨曦, 刘涛, 陈省平. GN 海带新品系脂肪酸的气相色谱-质谱联用分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2010, 49(6): 139-141
- [29] 楼乔明, 张问, 刘连亮, 杨文鸽, 张进杰, 薛长湖. 狭鳕鱼皮脂肪组成分析及其营养评价[J]. 核农学报, 2016, 30(2): 332-337
- [30] 李宪瑾, 范晓, 韩丽君, 严小军, 姜清香. 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): 215-224
- [31] 许强, 高菲, 杨红生. 海带组织降解过程中定殖微型生物群落的特征[J]. 水产学报, 2010, 34(12): 1853-1859
- [32] Honya M, Kinoshita T, Ishikawa M, Mori H, Nisizawa K. Seasonal variation in the lipid content of cultured *Laminaria japonica*: fatty acids, sterols, β -carotene and tocopherol [J]. Journal of Applied Phycology, 1994, 6(1): 25-29
- [33] Gerasimenko N I, Busarova N G, Logvinov S V. Seasonal changes in the content of lipids and photosynthetic pigments in a brown alga *Saccharina cichorioides* [J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2014, 61(6): 893-898
- [34] 柳泽深, 姜悦, 陈峰. 花生四烯酸、二十二碳六烯酸和二十碳五烯酸在炎症中的作用概述[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(10): 3890-3899
- [35] 陶磊, 傅淑霞. 花生四烯酸与氧化应激的研究进展[J]. 中国病理生理杂志, 2011, 27(11): 2233-2236
- [36] 翟量, 沈立荣. 富含 EPA 微藻油超声波辅助溶剂法提取工艺优化及脂肪酸成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(2): 809-815
- [37] Dasilva G, Pazos M, García-Egido E, Gallardo J M, Rodríguez I, Cela R, Medina I. Healthy effect of different proportions of marine ω -3 PUFAs EPA and DHA supplementation in Wistar rats: lipidomic biomarkers of oxidative stress and inflammation [J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2015, 26(11): 1385-1392

Comparative Analysis of Fatty Acid Compositions of *Laminaria japonica* From Different Origins

XU Hua ZHANG Ru ZHANG Jinjie LOU Qiaoming* YANG Wenge XU Dalun

(School of Marine Science, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211)

Abstract: In order to analyze comparatively the fatty acid compositions of *Laminaria japonica* from difference origins, the total lipid extraction conditions of *Laminaria japonica* from three origins (Fuzhou, Ningbo and Qingdao) were optimized by solvent methods, and the fatty acid compositions were analyzed by GC-MS in this study. The results indicated that extraction with dichloromethane-methanol was an ideal method for lipid extraction from *Laminaria japonica* with high extraction efficiency. The total lipid contents of *Laminaria japonica* from Fuzhou, Ningbo and Qingdao were 0.75%, 0.69% and 0.86%, respectively, with no significant difference. Additionally, thirty kinds of fatty acids were identified from total lipids of *Laminaria japonica*, which were mainly composed of C16:0, C18:1n-9, C20:4n-6 (AA) and C20:5n-3 (EPA) . Meanwhile, significant differences were existed in fatty acid compositions from different origins. The contents of C20:4n-6 and C20:5n-3 in Fuzhou samples were 10.12% and 6.18%, respectively, and the content of C20:4n-6 was significantly higher than those in Ningbo (9.41%) and Qingdao (8.77%) , while the content of C20:5n-3 was significantly lower than those in Ningbo (8.13%) and Qingdao (9.40%) . Hence, the indexes (n-3 PUFA, n-6 PUFA, n-3/n-6, EPA+AA and EPA/AA) of *Laminaria japonica* from three origins were significantly different. This research provided theoretical basis for total lipid extraction, fatty acid analysis and nutritional evaluation of *Laminaria japonica* rom different origins.

Keywords: *Laminaria japonica*, total lipids, fatty acids, origin