

膨腹海马 (*Hippocampus abdominalis*) 磷脂 及其脂肪酸组成分析

吴娟娟¹, 田佳宁¹, 陈奕蒙¹, 王成成¹, 王玉明^{1,2}, 姜晓明¹, 薛长湖¹, 张恬恬¹

(1. 中国海洋大学 食品科学与工程学院, 海洋食品加工与安全控制全国重点实验室, 山东 青岛 266404;

2. 中国海洋大学 三亚海洋研究院, 海南 三亚 572024)

摘要: 为了揭示雌、雄膨腹海马磷脂组成及其差异, 用溶剂萃取法分别提取雌、雄膨腹海马脂质, 冷丙酮提取其中的磷脂, 进一步采用薄层色谱法和硅胶柱层析分离制备各磷脂组分, 利用气相色谱技术分析比较雌、雄膨腹海马磷脂及其各组分的脂肪酸组成。结果表明: 雌、雄膨腹海马的磷脂含量丰富, 分别占总脂的 18.11% 和 18.72%; 膨腹海马磷脂包括磷脂酰乙醇胺、磷脂酰胆碱、溶血磷脂酰胆碱和鞘磷脂, 其中磷脂酰胆碱含量最高; 膨腹海马磷脂中共鉴定出 20 种脂肪酸, 且不饱和脂肪酸含量高于饱和脂肪酸含量; 雌、雄膨腹海马磷脂中海洋特征性 $n-3$ 多不饱和脂肪酸 DHA 和 EPA 总含量分别为 18.30%、19.61%; 膨腹海马的磷脂酰乙醇胺、磷脂酰胆碱和溶血磷脂酰胆碱饱和脂肪酸都以 C16:0 和 C18:0 为主, 而在鞘磷脂中以 C14:0 和 C16:0 为主; 膨腹海马 4 种磷脂组分的单不饱和脂肪酸均以 C18:1 为主, 多不饱和脂肪酸均以 EPA 和 DHA 为主; 除了雄性膨腹海马溶血磷脂酰胆碱外, 其余磷脂组分 DHA 和 EPA 总含量均超过 16%。综上, 膨腹海马磷脂组成多样, 海洋特征性 $n-3$ 多不饱和脂肪酸含量丰富, 具有较高的营养价值。

关键词: 膨腹海马; 磷脂; 脂肪酸

中图分类号: TS201; TS225.2

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2025)07-0118-06

Analysis of phospholipids and their fatty acid composition in the *Hippocampus abdominalis*

WU Juanjuan¹, TIAN Jianing¹, CHEN Yimeng¹, WANG Chengcheng¹,
WANG Yuming^{1,2}, JIANG Xiaoming¹, XUE Changhu¹, ZHANG Tiantian¹

(1. SKL of Marine Food Processing & Safety Control, College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266404, Shandong, China; 2. Sanya Institute of Oceanography, Ocean University of China, Sanya 572024, Hainan, China)

Abstract: In order to reveal the phospholipids compositions and differences between male and female *Hippocampus abdominalis*, the lipids of female and male *Hippocampus abdominalis* were extracted by solvent extraction method, then phospholipids in the lipids were extracted by cold acetone. Moreover, the different phospholipids fractions were separated by thin-layer chromatography and silica gel column chromatography, then the fatty acid composition of phospholipids and the different phospholipids fractions from female and male *Hippocampus abdominalis* were analyzed by gas chromatography. The results showed that the female and male *Hippocampus abdominalis* were rich in phospholipids, accounting for

收稿日期: 2024-04-13; 修回日期: 2025-01-20

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFF1103900)

作者简介: 吴娟娟(2001), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养学(E-mail) 1713818837@qq.com。

通信作者: 张恬恬, 副教授(E-mail) zhangtiantian@ouc.edu.cn。

18.11% and 18.72% of the total lipids, respectively. The phospholipids of *Hippocampus abdominalis* included phosphatidylethanolamine, phosphatidylcholine, lysophosphatidylcholine and sphingomyelin, among which phosphatidylcholine was the most abundant. The phospholipids of

Hippocampus abdominalis identified 20 kinds of fatty acids, and the content of unsaturated fatty acids was higher than that of saturated fatty acids. Furthermore, the total content of marine characteristic $n-3$ polyunsaturated fatty acids DHA and EPA in female and male *Hippocampus abdominalis* phospholipids were 18.30% and 19.61%, respectively. The saturated fatty acids of phosphatidylethanolamine, phosphatidylcholine and lysophosphatidylcholine in both male and female *Hippocampus abdominalis* were all dominated by C16:0 and C18:0, whereas those in sphingomyelin were dominated by C14:0 and C16:0. The monounsaturated fatty acids of the four phospholipid fractions of the male and female *Hippocampus abdominalis* were all dominated by C18:1, and the polyunsaturated fatty acids were all dominated by EPA and DHA. The total contents of DHA and EPA were more than 16%, except for lysophosphatidylcholine in male *Hippocampus abdominalis*. In conclusion, phospholipids composition of *Hippocampus abdominalis* is diverse, with abundant marine characteristic $n-3$ polyunsaturated fatty acids and high nutritional value.

Key words: *Hippocampus abdominalis*; phospholipids; fatty acid

海马是我国重要的高价值水产资源,其富含不饱和脂肪酸,另外还含有甾醇、牛磺酸、必需氨基酸等多种生物活性成分^[1-3],具有壮阳益精^[4]、强筋健骨、散结消肿、舒筋活络、调气活血^[5-8]等功能。随着野生资源的持续减少^[9-10],人工养殖海马已成为满足日益增长的市场需求的主要途径^[11]。目前世界上实现商业养殖的海马品种主要有膨腹海马(*Hippocampus abdominalis*)、三斑海马(*Hippocampus trimaculatus*)、短头海马(*Hippocampus breviceps*)等 14 种,其中,膨腹海马在 2016 年被引进我国后,其规模化人工育苗及病害防控等关键养殖技术得到突破,目前已形成了一定规模^[12-14]。根据海马分类学研究,目前全球海马约有 42 种^[15-16],可作为药物使用的共有 15 种^[17],但膨腹海马未被列入其中。膨腹海马的营养成分分析对其营养和药用价值研究及资源综合利用具有重要意义。

与陆生生物资源相比,水产品特别是海洋活性脂质中含有二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)等特征营养成分,具有促进大脑神经发育等功能。水产品中的 EPA、DHA 大量存在于磷脂中,相比甘油三酯型或乙酯型 EPA/DHA,磷脂型 EPA/DHA 具有更为显著的营养功能^[18-20]。目前,对海马磷脂的研究报道较少。许益民等^[21]分析了克氏海马(*Hippocampus kelloggi*)、刺海马(*Hippocampus histrix*)、三斑海马(*Hippocampus trimaculatus*)、大海马(*Hippocampus kuda* Bleeker)和日本海马(*Hippocampus mohnikei*)的磷脂组成和脂肪酸含量。本实验室前期对膨腹海马脂质成分进行了分析^[22],发现其磷脂含量丰富。磷脂根据核心结构分为甘油磷脂(磷脂酰乙醇胺、磷脂酰胆碱)和鞘磷脂(鞘磷

脂、鞘氨醇等),这些磷脂可能具有不同的生物功能,因此有必要分析膨腹海马的磷脂及其脂肪酸组成。

本研究采用溶剂萃取法分别提取雌、雄海马的脂质,并采用薄层色谱法、硅胶柱层析及气相色谱法分析其磷脂组成和磷脂的脂肪酸组成,以期对膨腹海马的营养与药用价值研究及其资源综合利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

雌、雄干制膨腹海马,由威海银泽生物科技股份有限公司提供。

甲醇、氯仿、二氯甲烷、丙酮、正己烷,分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;盐酸、二水合磷酸二氢钠、 L -抗坏血酸、钼酸铵,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;37 种脂肪酸甲酯混标,美国 NU-CHEK 公司。

1.1.2 仪器与设备

7820A 型气相色谱仪,美国 Aglient 公司;AE-FFAP 色谱柱(30 m $\times$ 0.32 mm $\times$ 0.25 μ m);RE52-86A 型旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;金属浴,Blue Marlin 公司;T-HSG10050025-S 薄层层析硅胶预制板,烟台华阳新材料科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 总脂提取

膨腹海马总脂提取采用 Folch 法^[23]并进行适当修改。将干制膨腹海马粉碎,取一定质量膨腹海马粉末,按料液比 1:10 加入二氯甲烷-甲醇(体积比 2:1),混匀,搅拌浸提 24 h,过滤得到浸提滤液。向

滤液中加入 1/4 体积超纯水,充分混匀,转移至分液漏斗中,静置 12 h 使其分层,收集下层有机相,减压浓缩去除有机溶剂,得到膨腹海马总脂。

1.2.2 磷脂的制备

磷脂的制备参考王霞等^[24]的方法并进行改进。将丙酮提前放入 -20 ℃ 冰箱中 12 h 得到冷丙酮,取一定质量膨腹海马总脂,按料液比 1:4 加入冷丙酮,充分摇动,放入离心机中,于 4 ℃、8 500 r/min 离心 3 min,倒出上层溶液,下层再加入 1 mL 二氯甲烷,重复离心两次后取沉淀,氮气吹干后得到磷脂,于 -20 ℃ 冷冻保存备用。

1.2.3 磷脂组分的分离

1.2.3.1 薄层色谱法

采用薄层色谱法分离磷脂组分,用于磷脂含量的测定。分别取雌、雄膨腹海马磷脂,用二氯甲烷将其配成质量浓度为 4 mg/mL 的溶液,取 30 μL 溶液于薄层层析硅胶预制板进行带状点样后,置于氯仿-甲醇-水(体积比 65:24:4)中进行展层,碘蒸气显色,刮板收集各磷脂组分。

1.2.3.2 硅胶柱层析

采用硅胶柱层析分离磷脂组分,用于气相色谱法测定脂肪酸组成^[25-26]。取 135 g 硅胶粉,于 110 ℃ 烘箱活化 3 h 后将其装入玻璃柱中。取 15 g 膨腹海马磷脂于硅胶柱中,用二氯甲烷-甲醇溶液(体积比 2:1)洗脱磷脂酰乙醇胺,用二氯甲烷洗脱磷脂酰胆碱,用甲醇分别洗脱鞘磷脂和溶血磷脂酰胆碱。收集洗脱液,旋蒸除去有机溶剂,得各磷脂组分。

1.2.4 磷脂含量的测定

采用钼蓝比色法^[27]对磷脂和各磷脂组分进行定量,进而换算出其在干海马中的含量。分别配制 10% 的 L-抗坏血酸溶液和 2.5% 的钼酸铵溶液,按体积比 1:1 混合。用二水合磷酸二氢钠配制 10 μg/mL 的磷标准液。于 1 mL L-抗坏血酸溶液与钼酸铵溶液混合液中分别加入 0、0.25、0.5、0.75、1.00 mL 磷标准液,并用蒸馏水将体系补至 4.5 mL,沸水浴 7 min,冷却后于 820 nm 处测定吸光度,得到磷的标准

曲线。用氯仿-甲醇(体积比 2:1)配制样品溶液,将样品溶液用高氯酸进行消化,然后测定样品中无机磷含量,乘以转换系数(25)即可得到磷脂含量。

1.2.5 脂肪酸组成的测定

1.2.5.1 甲酯化

将 2 mg 磷脂或各磷脂组分置于 2 mL 盐酸-甲醇(体积比 1:5)中混匀,90 ℃ 金属浴中反应 3 h,期间每 0.5 h 混匀一次。待反应液冷却后加入 1.5 mL 正己烷进行萃取,静置分层后,取 1 mL 上清液并用氮气吹干,然后用 50 μL 正己烷复溶,用于气相色谱分析。

1.2.5.2 气相色谱条件

AE. FFAP 色谱柱(30 m × 0.32 mm × 0.25 μm);检测器温度 250 ℃;进样口温度 240 ℃;柱升温程序为以 3 ℃/min 从 170 ℃ 升至 240 ℃,保持 25 min;载气为氮气,流速 1.0 mL/min。以保留时间定性,以峰面积归一化法定量。

2 结果与分析

2.1 膨腹海马磷脂组成

通过薄层色谱法分离鉴定膨腹海马主要磷脂组成,结果如图 1 所示。

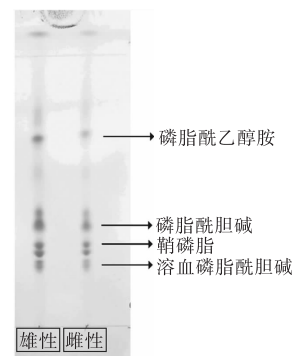


图 1 膨腹海马磷脂薄层色谱图
Fig.1 Thin-layer chromatogram of phospholipids from *Hippocampus abdominalis*

由图 1 可知,雌、雄膨腹海马磷脂均主要由磷脂酰乙醇胺、磷脂酰胆碱、溶血磷脂酰胆碱和鞘磷脂组成。

膨腹海马总脂、磷脂和各磷脂组分含量(以海马干质量计)见表 1。

表 1 膨腹海马总脂与磷脂组分含量

Table 1 Total lipid and phospholipids fractions contents of <i>Hippocampus abdominalis</i>						mg/g
性别	总脂	总磷脂	磷脂酰乙醇胺	磷脂酰胆碱	溶血磷脂酰胆碱	鞘磷脂
雌性	57.8	10.47 ± 0.16	1.27 ± 0.01	5.18 ± 0.18	2.01 ± 0.06	2.29 ± 0.04
雄性	65.8	12.32 ± 0.48	1.57 ± 0.12	6.07 ± 0.44	2.07 ± 0.04	3.17 ± 0.09

由表 1 可知,雌、雄膨腹海马磷脂含量丰富,分别为 10.47 mg/g 和 12.32 mg/g,分别占总脂的 18.11% 和 18.72%。雌、雄膨腹海马中磷脂酰乙醇

胺的含量分别为 1.27 mg/g 和 1.57 mg/g,磷脂酰胆碱含量分别为 5.18 mg/g 和 6.07 mg/g,溶血磷脂酰胆碱含量分别为 2.01 mg/g 和 2.07 mg/g,鞘磷脂含

量分别为 2.29 mg/g 和 3.17 mg/g。本研究的膨腹海马磷脂组成与陈益民等^[21]鉴别出的克氏海马、大海马、三斑海马、刺海马和日本海马 5 种海马的磷脂组成相同,但本文膨腹海马中的磷脂酰乙醇胺相对含量(雌 12.13%,雄 12.74%)明显高于上述 5 种海马(0.52%~1.14%),溶血磷脂酰胆碱相对含量(雌 19.20%,雄 16.80%)均低于上述 5 种海马(19.51%~58.72%),磷脂酰胆碱相对含量(雌 49.47%,雄 49.27%)低于三斑海马(64.85%)和日本海马(64.61%),而明显高于克氏海马(35.00%)、大海马(16.53%)和刺海马(27.22%),雌性膨腹海马鞘磷脂相对含量(21.87%)高于日本海马(13.05%)、三斑海马(14.78%)和克氏海马(20.96%),但低于大海马(24.09%)和刺海马(30.23%),雄性膨腹海马鞘磷脂相对含量(25.73%)低于刺海马,但高于其余 4 种海马。综合来看,膨腹海马磷脂组成及相对含量与三斑海马最为相似。

2.2 膨腹海马磷脂脂肪酸组成

膨腹海马磷脂的脂肪酸组成及相对含量见表 2。

表 2 膨腹海马磷脂脂肪酸组成及相对含量

Table 2 Composition and relative content of fatty acids of phospholipids from *Hippocampus abdominalis* %

脂肪酸	雌性	雄性	脂肪酸	雌性	雄性
C14:0	4.26	4.09	C20:4n-6	2.19	2.54
C15:1	0.21	0.21	C21:0	0.12	0.13
C16:0	19.64	18.59	C20:5n-3	5.45	5.44
C16:1	4.73	4.76	C22:0	1.02	0.96
C17:0	1.49	1.47	C22:1	0.75	0.80
C17:1	2.38	2.03	C22:6n-3	12.84	14.17
C18:0	10.36	9.88	其他	10.90	10.39
C18:1	19.49	20.08	SFA	37.38	35.55
C18:2n-6	1.80	2.07	MUFA	28.14	28.49
C18:3n-6	0.31	0.28	PUFA	23.58	25.57
C18:3n-3	0.83	0.92	n-3PUFA	19.13	20.53
C20:0	0.49	0.43	n-6PUFA	4.45	5.04
C20:1	0.59	0.61	UFA	51.72	54.06
C20:2n-6	0.15	0.15	EPA+DHA	18.30	19.61

由表 2 可知,雌性膨腹海马磷脂共鉴定出 20 种脂肪酸,由 C14~C22 脂肪酸组成,以 C16:0、C18:0、C18:1、C22:6n-3(DHA)为主,其中:饱和脂肪酸(SFA)7 种,相对含量为 37.38%,主要为 C16:0(19.64%)、C18:0(10.36%)和 C14:0(4.26%);不饱和脂肪酸(UFA)13 种,相对含量为 51.72%,其中单不饱和脂肪酸(MUFA)6 种,以 C18:1(19.49%)、C16:1(4.73%)为主,多不饱和脂肪酸(PUFA)7 种,以 DHA(12.84%)、C20:5n-3(EPA,5.45%)为主。另外,雌性膨腹海马中还含有 10.90%的未定

性脂肪酸。

雄性膨腹海马磷脂脂肪酸以 C18:1(20.08%)、C16:0(18.59%)、DHA(14.17%)、C18:0(9.88%)为主,其中 SFA 含量为 35.55%,UFA 含量为 54.06%,MUFA 含量为 28.49%,PUFA 含量为 25.57%。另外,雄性膨腹海马中还含有 10.39%的未定性脂肪酸。

雌、雄膨腹海马的磷脂脂肪酸组成及相对含量接近,不饱和脂肪酸含量均超过 50%,DHA+EPA 含量均超过 18%。膨腹海马磷脂中的 DHA 相对含量(雌 12.84%,雄 14.17%)高于已列入药典的三斑海马(9.25%),低于药典中的大海马(28.92%)和刺海马(32.45%)^[21],而膨腹海马磷脂中 EPA 含量均超过 5%,高于三斑海马磷脂中 EPA 含量(2.70%)^[28],而许益民等^[21]研究的 5 种海马磷脂中未检测出 EPA。以上结果表明,膨腹海马具有较高的功能因子开发潜力。

2.3 膨腹海马不同磷脂组分的脂肪酸组成

膨腹海马磷脂酰乙醇胺、磷脂酰胆碱、溶血磷脂酰胆碱和鞘磷脂的脂肪酸组成及相对含量见表 3。

由表 3 可知,从膨腹海马磷脂组分中共鉴定出 20 种脂肪酸,主要有 C14:0、C16:0、C16:1、C18:0、C18:1、C20:5n-3(EPA)和 C22:6n-3(DHA)等,除鞘磷脂外,其余磷脂组分的 UFA 含量均高于 SFA 含量。在 SFA 方面,雌性膨腹海马的磷脂酰乙醇胺、磷脂酰胆碱和溶血磷脂酰胆碱都以 C16:0(11.28%~21.25%)和 C18:0(12.30%~15.67%)为主,而鞘磷脂以 C14:0(26.92%)和 C16:0(10.39%)为主,且鞘磷脂的 C14:0 相对含量明显高于其他磷脂组分的,C18:0(5.35%)相对含量明显低于其他磷脂组分的;在 MUFA 方面,雌性海马 4 种磷脂组分均以 C18:1(8.47%~24.71%)为主;在 PUFA 方面,雌性膨腹海马 4 种磷脂组分 n-3PUFA 相对含量均大于 n-6PUFA 相对含量,且 C22:6n-3 相对含量(10.94%~25.03%)最丰富,其次为 C20:5n-3(5.85%~8.91%)和 C20:4n-6(1.57%~5.34%),而 C18:3n-3 相对含量(0.06%~0.40%)较少。另外,雌性膨腹海马 4 种磷脂组分中还含有 8.68%~14.12%的未定性脂肪酸。

雄性膨腹海马 4 种磷脂组分的脂肪酸组成与相对含量同雌性膨腹海马相近。在 SFA 方面,雄性膨腹海马磷脂酰乙醇胺、磷脂酰胆碱和溶血磷脂酰胆碱都以 C16:0(11.05%~25.33%)和 C18:0(8.14%~17.82%)为主,在鞘磷脂中以 C14:0(20.39%)和 C16:0(14.91%)为主;在 MUFA 方面,4 种磷脂组

分均以 C18:1(6.58% ~ 31.03%) 为主;在 PUFA 方面,以 C22:6*n* - 3 (3.94% ~ 22.49%)、C20:5*n* - 3 (3.87% ~ 9.99%) 和 C20:4*n* - 6(0.67% ~ 4.76%) 为主。另外,雄性膨腹海马 4 种磷脂组分中还含有 7.45% ~ 14.41% 的未定性脂肪酸。

分析海洋特征性 *n* - 3PUFA DHA、EPA 在不同磷脂组分中的分布发现:雌、雄膨腹海马各磷脂组分均含 DHA,DHA 含量较高的磷脂组分均为磷脂酰乙醇胺和磷脂酰胆碱,雄性膨腹海马的溶血磷脂酰胆碱中 DHA 相对含量(3.94%)明显低于雌性

(10.94%);EPA 在雌、雄膨腹海马磷脂组分中的分布略有差异,对于雌性膨腹海马,EPA 在鞘磷脂中相对含量最高,而对于雄性膨腹海马,EPA 在磷脂酰胆碱中相对含量最高,且雌性膨腹海马的磷脂酰乙醇胺和磷脂酰胆碱中的 EPA 相对含量均低于雄性,而鞘磷脂和溶血磷脂酰胆碱中的 EPA 相对含量均明显高于雄性。雌性膨腹海马的磷脂酰胆碱中 EPA 和 DHA 总含量明显低于雄性,而其磷脂酰乙醇胺、溶血磷脂酰胆碱和鞘磷脂中 EPA 和 DHA 总含量均高于雄性。

表 3 膨腹海马不同磷脂组分的脂肪酸组成及相对含量

Table 3 Composition and relative content of fatty acids in different phospholipids fractions of <i>Hippocampus abdominalis</i>								%
脂肪酸	雌性				雄性			
	磷脂酰乙醇胺	磷脂酰胆碱	溶血磷脂酰胆碱	鞘磷脂	磷脂酰乙醇胺	磷脂酰胆碱	溶血磷脂酰胆碱	鞘磷脂
C14:0	0.63	6.37	4.51	26.92	1.00	2.38	0.72	20.39
C15:1	2.02	0.43	ND	ND	0.99	0.31	0.70	ND
C16:0	11.73	11.28	21.25	10.39	11.05	16.74	25.33	14.91
C16:1	1.86	4.12	1.73	0.48	1.57	1.91	1.82	5.07
C17:0	1.06	1.03	1.65	0.80	1.52	1.08	1.98	0.70
C17:1	1.48	3.92	1.03	0.56	1.62	2.55	1.13	2.14
C18:0	15.67	13.89	12.30	5.35	17.82	8.14	14.52	6.92
C18:1	10.67	10.54	24.71	8.47	11.82	16.71	31.03	6.58
C18:2 <i>n</i> - 6	1.01	0.94	1.49	0.51	1.17	1.34	1.84	0.57
C18:3 <i>n</i> - 6	0.43	0.21	0.32	0.16	0.33	0.22	0.31	0.13
C18:3 <i>n</i> - 3	0.28	0.40	0.27	0.06	0.39	0.41	0.25	0.98
C20:0	0.32	0.37	0.64	1.09	0.34	0.38	0.67	0.74
C20:1	0.96	6.41	0.57	0.24	0.44	0.41	0.64	0.29
C20:2 <i>n</i> - 6	0.09	0.50	0.23	0.72	0.18	0.18	0.21	1.63
C20:4 <i>n</i> - 6	5.34	3.68	2.46	1.57	4.76	4.35	1.93	0.67
C21:0	0.87	0.13	0.07	ND	0.13	0.09	0.07	ND
C20:5 <i>n</i> - 3	5.98	6.73	5.85	8.91	6.65	9.99	3.87	6.26
C22:0	0.82	0.72	0.46	2.74	0.46	0.43	0.16	3.75
C22:1	0.55	1.28	0.84	0.65	0.86	0.49	1.43	1.13
C22:6 <i>n</i> - 3	25.03	17.66	10.94	16.26	22.49	22.07	3.94	12.74
其他	13.21	9.38	8.68	14.12	14.41	9.79	7.45	14.40
SFA	31.08	33.80	40.88	47.28	32.33	29.25	43.45	47.42
MUFA	17.54	26.71	28.88	10.40	17.30	22.39	36.75	15.20
PUFA	38.16	30.12	21.56	28.20	35.97	38.57	12.35	22.98
<i>n</i> - 3PUFA	31.29	24.79	17.06	25.23	29.53	32.48	8.06	19.99
<i>n</i> - 6PUFA	6.87	5.33	4.50	2.96	6.44	6.09	4.29	3.00
UFA	55.70	56.82	50.44	38.60	53.27	60.95	49.10	38.18
EPA + DHA	31.01	24.39	16.79	25.17	29.14	32.07	7.81	19.00

注:ND 表示未检出
Note: ND. Not detected

3 结 论

雌、雄膨腹海马磷脂均由磷脂酰乙醇胺、磷脂酰胆碱、溶血磷脂酰胆碱和鞘磷脂组成,其中:雌、雄膨

腹海马磷脂中磷脂酰胆碱含量较高,且雄性磷脂酰胆碱含量明显高于雌性;磷脂酰乙醇胺含量最少,且雌、雄膨腹海马差距不大。雌、雄膨腹海马磷脂富含

DHA 和 EPA 等 $n-3$ PUFA。对各磷脂组分进行脂肪酸组成分析发现,除了鞘磷脂外,其余磷脂组分 UFA 含量均高于 SFA 含量。在 SFA 方面,磷脂酰乙醇胺、磷脂酰胆碱和溶血磷脂酰胆碱都以 C16:0 和 C18:0 为主,而鞘磷脂以 C14:0 和 C16:0 为主;在 MUFA 方面,雌、雄膨腹海马 4 种磷脂组分均以 C18:1 为主;在 PUFA 方面,雌、雄膨腹海马各磷脂组分均以 EPA 和 DHA 为主。本研究对雌、雄膨腹海马磷脂及其脂肪酸组成进行了比较分析,为膨腹海马营养、药用价值研究及综合利用提供了一定理论依据。

参考文献:

- [1] ACBRAL A E, REY F, DOMINGUES M R, et al. Fatty acid profiles of cultured *Hippocampus hippocampus* trunk muscles and potential nutritional value[J/OL]. Front Mar Sci, 2023, 10: 1135250 [2024-04-13]. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1135250>.
- [2] 宿宇婷,徐永健.药用大海马的养殖与野生类群脂肪酸组成与差异性分析[J].中国海洋药物,2015,34(4):7-12.
- [3] 严家彬,马润娣,于立坚.海马的药用价值[J].中国海洋药物,2002(6):48-52.
- [4] 万慧琪,李知瑾,许光辉,等.基于网络药理学技术解析海马“壮阳、益精”功效的物质基础、潜在靶点与分子机制[J].中医药通报,2020,19(6):32-37.
- [5] 郭文场,刘佳贺,李宏伟.中国产海马的种类、养殖和利用(3)[J].特种经济动植物,2017,20(2):11-14.
- [6] 黄建设,张偲,龙丽娟.海龙科药用鱼类化学成分和药理活性的研究进展[J].中草药,2002(3):92-95.
- [7] 闫珍珍,郭全友,林听听,等.海马的功用机理及开发应用研究进展[J].海洋渔业,2018,40(6):752-762.
- [8] 王玉.海马多糖的分离、结构表征及抗炎抗氧化活性研究[D].上海:上海海洋大学,2021.
- [9] ZHANG N, XU B, MOU C, et al. Molecular profile of the unique species of traditional Chinese medicine, Chinese seahorse (*Hippocampus kuda* Bleeker) [J]. FEBS Lett, 2003, 550(1/2/3): 124-134.
- [10] 许实波,许东晖,吕军仪,等.我国海马中药材的研究开发前景[J].中草药,2002,33(1):82-84.
- [11] SARA A L, VINCENT A C J, HALL H J. Seahorses: An identification guide to the world's species and their conservation[M]. Montréal, Québec, Canada: Project Seahorse, 1999.
- [12] 李玉伟,宋锋,卢强,等.膨腹海马工厂化养殖技术[J].科学养鱼,2021(7):64-65.
- [13] 何丽斌,祁剑飞,林金波,等.膨腹海马人工繁殖与育苗关键技术[J].应用海洋学学报,2022,41(4):701-707.
- [14] 廖静.海马养殖规模化成趋势药物研究开启“黄金时代”[J].海洋与渔业,2017(10):59-60.
- [15] SARA A L, RILEY A P, SARAH J F. A global revision of the seahorses *Hippocampus rafinesque* 1810 (Actinopterygii: Syngnathiformes): Taxonomy and biogeography with recommendations for further research [J]. Zootaxa, 2016, 4146(1): 1-66.
- [16] ZHANG Y H, QIN G, WANG X, et al. A new species of seahorse (Teleostei: Syngnathidae) from the South China Sea [J]. Zootaxa, 2016, 4170(2): 384-392.
- [17] 陈璐.中药海马的鉴别与质量标准研究[D].上海:第二军医大学,2015.
- [18] DING L, WANG D, ZHOU M, et al. Comparative study of EPA-enriched phosphatidylcholine and EPA-enriched phosphatidylserine on lipid metabolism in mice [J]. J Oleo Sci, 2016, 65(7):593-602.
- [19] TIAN Y, LIU Y, XUE C, et al. Exogenous natural EPA-enriched phosphatidylcholine and phosphatidylethanolamine ameliorate lipid accumulation and insulin resistance via activation of PPAR α/γ in mice [J]. Food Funct, 2020, 11:8248-8258.
- [20] ZHOU M M, CHE H X, HUANG J Q, et al. Comparative study of different polar groups of EPA-enriched phospholipids on ameliorating memory loss and cognitive deficiency in aged SAMP8 mice [J/OL]. Mol Nutr Food Res, 2018:1700637 [2024-04-13]. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700637>.
- [21] 许益民,陈建伟,郭戊.海马和海龙中磷脂成分与脂肪酸的分析研究[J].中国海洋药物,1994(1):14-18.
- [22] 宁一霁,毕添玺,陈奕蒙,等.膨腹海马脂质及其脂肪酸组成分析[J].食品研究与开发,2024,45(17):178-183.
- [23] JORDI F, MARK L, GH S S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J]. J Biol Chem, 1957, 226(1): 497-509.
- [24] 王霞,林婉玲,李来好,等.高效液相色谱-蒸发光散射法分析海鲈肌肉磷脂组成[J].中国油脂,2020,45(9):97-101.
- [25] 闫媛媛,张康逸,黄健花,等.磷脂分离、纯化和检测方法的研究进展[J].中国油脂,2012,37(5):61-65.
- [26] 张静,陶宁萍,朱清澄,等.秋刀鱼内脏磷脂的化学特性研究[J].中国油脂,2017,42(8):28-31,81.
- [27] 万楚筠,黄凤洪,李文林.抗坏血酸-钼蓝光度法测定油脂中磷脂含量的研究[J].中国油脂,2006,31(4):46-49.
- [28] 陈莉萍.三斑海马中抗炎、抗肿瘤、抗氧化活性成分分离及生理活性评价研究[D].海口:海南大学,2020.