

四种石磺的脂质及脂肪酸组成分析

姚理想, 杨铁柱, 朱敏, 沈和定*, 李柏航, 刁亚

(上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 为比较分析紫色疣石磺、瘤背石磺、里氏拟石磺和平疣桑椹石磺4种石磺科贝类的脂质和脂肪酸组成, 实验采用气相色谱/质谱法对4种石磺的脂肪酸组成进行分析研究。结果显示: ① 4种石磺科贝类肌肉组织总脂(TL)主要由磷脂(PL)、游离脂肪酸(FFA)、胆固醇(Cho)和甘油三酯(TG)组成; 紫色疣石磺肌肉组织中的PL/TL高达73.12%, 显著高于其他3种石磺($P<0.05$); 瘤背石磺肌肉组织中的TG/TL达2.75%, 显著高于其他3种石磺($P<0.05$); 紫色疣石磺肌肉组织中的FFA/TL高达19.16%, 显著高于其他3种石磺($P<0.05$); ② 4种石磺肌肉组织中的脂肪酸组成较为平衡; 瘤背石磺和紫色疣石磺肌肉组织中的总饱和脂肪酸(Σ SFA)含量均达35%以上; 总单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)含量从大到小的顺序依次是瘤背石磺(20.63%)、紫色疣石磺(20.49%)、里氏拟石磺(19.61%)、平疣桑椹石磺(19.42%); 平疣桑椹石磺肌肉组织中的总多不饱和脂肪酸含量(Σ PUFA)达34.25%, 显著高于其他3种石磺($P<0.05$)。4种石磺中的C20:5n3(EPA)含量均大于C22:6n3(DHA)的含量。研究表明, 4种石磺的脂质和脂肪酸组成存在较大差异, 可能与其生存环境以及生活习性的差异有关, 4种石磺的肌肉组织具有较高的脂类营养价值。其中, 紫色疣石磺和瘤背石磺含有丰富的人体必需脂肪酸, 且营养均衡, 适宜食用; 里氏拟石磺具有特殊生理活性的脂肪酸成分含量较高。

关键词: 石磺; 脂质; 脂肪酸; GC-MS

中图分类号: S 917.3

文献标志码: A

石磺科(Onchidiidae)隶属软体动物门(Mollusca), 腹足纲(Gastropoda), 缩眼目(Systellomatophora), 石磺总科(Onchidiidea)^[1]。该贝类成体全身裸露无壳, 近椭圆形, 雌雄同体, 用肺呼吸。国内多分布于黄海、东海和南海沿岸, 主要栖息于岩石、泥滩、芦苇丛及红树林区等的潮间带或高潮带, 是介于海洋和陆地的过渡带生物。石磺出肉率很高, 肌肉组织营养丰富, 含高蛋白质、低脂肪; 必需氨基酸组成比例合理, 含有丰富的矿物质元素, 并含有维生素A、D、E、B1、B2等^[2]。此外, 研究人员发现石磺还是一种极具开发利用前景的药用贝类, 一些沿海地区民间流传石磺有治哮喘、助消

化、消除疲劳、明目并具有明显促进乳腺分泌的作用, 是很好的中药材, 还可能有抗癌的作用, 其适应性强、资源丰富、食用历史悠久, 是具有重要营养价值、药用价值的经济贝类^[3]。

随着人们对石磺认识的不断加深, 研究领域的不断拓展, 国内外学者们在其外部形态^[4]、系统分类^[5]、生态习性^[6-7]、性腺发育^[8-9]、胚胎发育^[10-11]、生物酶^[12-13]、生态繁殖^[14-16]、神经生理^[17]以及天然产物^[18-20]等方面的研究做出了很大贡献。但关于石磺营养成分的研究报道较少, 仅张媛溶等^[3]、黄金田等^[21]、管菊等^[2]对此进行过相关研究。

贝类在脂肪含量和脂肪酸组成方面都符合

收稿日期: 2016-01-21 修回日期: 2016-04-05

资助项目: 国家自然科学基金项目(41276157)

通信作者: 沈和定, E-mail:hdshen@shou.edu.cn

健康饮食的要求, 其富含人体必需的脂肪酸^[22]。尤其是 ω -3系列的多不饱和脂肪酸(ω -3 PUFA)含量丰富, ω -3 PUFA特别是EPA和DHA, 具有良好的生理功效, 膳食摄入 ω -3 PUFA能够有效地预防心脑血管疾病的发生^[23]。吴旭干等^[24]和贺诗水等^[25]曾对瘤背石磺的脂质和脂肪酸组成做出过相关报道, 尚未见不同种石磺脂肪酸分析的研究。本实验测定和比较了紫色疣石磺(*Peronia verruculata*)、瘤背石磺(*Onchidium struma*)、里氏拟石磺(*Paraonchidium reevesii*)和平疣桑椹石磺(*Platevindex mortoni*) 4种石磺科贝类肌肉组织中的总脂含量、脂质和脂肪酸组成, 旨在评价不同种类石磺的营养价值, 为其产品开发、资源综合利用提供良好的理论依据, 并为其生态增殖提供科学的理论支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

实验用紫色疣石磺于2015年8月27日采自福建省宁德市, 瘤背石磺、里氏拟石磺、平疣桑椹石磺于8月29日采集于福建省厦门市, 所有样本经鉴定后, 实验室内进行解剖, 依次分离出肌肉和内脏, 将肌肉组织剪碎匀浆后, 称取一定量的肌肉组织置于冷冻干燥机中干燥, 48 h后取出, 采用球磨机将其磨成粉, 过40目筛, 干燥器中保存备用。

三氟化硼—甲醇溶液、37种脂肪酸甲酯混标购于上海安谱实验科技股份有限公司; 胆固醇试剂盒和甘油三酯试剂盒购于上海通蔚实业有限公司; 氯仿、甲醇、正庚烷、正己烷、醋酸铜、吡啶、浓硫酸、抗坏血酸等, 分析纯, 购于国药集团化学试剂有限公司; 油酸、优级纯、高氯酸、浓硝酸等, 分析纯, 购于上海高信化玻仪器有限公司。

分析天平, Agilent-6890气相色谱(5975气相质谱联用仪), 冷冻干燥机, 紫外分光光度计, 恒温干燥箱, 恒温水浴锅, 真空干燥箱等。

1.2 实验方法

总脂(TL)提取 准确称取1.0 g石磺干粉, 按照Folch法采用氯仿:甲醇(2:1, V/V)混合液超声提取30 min, 并置于4 °C冰箱中浸提24 h。过滤, 滤液用1/5体积的0.9%氯化钠溶液洗涤, 收集氯仿层, 在真空干燥箱中干燥24 h后得到样品

总脂。重量法测定总脂含量。

磷脂(PL)含量测定 将总脂先用硝酸:高氯酸混合液(4:1, V/V)浸泡, 过夜冷消化, 然后进行湿法消化。冷却后将消化好的溶液定容至100 mL容量瓶中, 采用抗坏血酸—钼蓝比色法测定磷酸含量^[26]。

胆固醇(Cho)和甘油三酯(TG)含量测定 将总脂用氯仿溶解并定容至50 mL, 取一定体积的氯仿溶液, 经减压干燥后, 按照试剂盒说明测定总脂中的胆固醇和甘油三酯的含量。

游离脂肪酸(FFA)含量测定 游离脂肪酸的含量采用铜皂比色法进行测定, 根据吸光度的大小判断游离脂肪酸的含量^[27]。

标准曲线的绘制:取0.5 g油酸, 用氯仿定容至100 mL, 分别取0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL置于10 mL试管中, 氮气吹干, 加入3 mL正庚烷溶解, 振荡1 min后加入1 mL脂肪酸显色剂(5%醋酸铜溶液, 用吡啶调pH至6.1, 暗处保存), 振荡2 min后, 静置10 min取上清液于715 nm处测得OD值。绘制标准曲线。

样品测定:取总脂加3 mL正庚烷溶解, 振荡1 min后, 加入1 mL脂肪酸显色剂, 充分振荡2 min后, 静置10 min取上清液于715 nm处测得OD值。根据标准曲线计算出脂质中游离脂肪酸的含量(以油酸计)。

脂肪酸分析 样品甲酯化: 将总脂中加入14%三氟化硼—甲醇(V/V)溶液, 于60 °C水浴中甲酯化处理30 min, 冷却后加入1 mL正己烷和蒸馏水萃取脂肪酸甲酯, 上清液过0.22 μ m有机滤膜后, 用GC-MS进行分析测定。

色谱条件:毛细管柱型号为Agilent HP-88 (60.0 m \times 0.25 mm \times 0.2 μ m), 高纯氦气为载气, 采用恒压模式, 压力为76 kPa, 分流比为10:1。进样口温度和检测器温度均为240 °C, 起始柱温为70 °C, 程序升温到250 °C, 直至所有的脂肪酸全部出峰。

质谱条件:GC-MS接口温度230 °C, EI离子源, 电离能量70 eV, 离子源温度230 °C, 扫描周期2.91次/s, 质量扫描范围m/z65~450 u。

4种石磺粉总脂的脂肪酸组成通过标准品对照以及数据库检索, 同时结合基峰离子(基峰离子m/z74为直链饱和脂肪酸, m/z55为单烯脂肪酸, m/z67为二烯脂肪酸, m/z79为三烯及以上不饱和脂肪酸)和分子离子等特征离子以及脂肪酸

甲酯出峰顺序的ECL值进行定性分析^[28],并按峰面积归一法进行定量。

数据处理 采用SPSS20.0软件对数据进行统计分析,文中数据以平均值±标准差(mean±SD)表示,采用单因子方差分析法(One-Way ANVOA)进行差异显著性检验,Duncan氏法进行多重比较分析, $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 石磺肌肉组织脂类组成和含量的种间比较

石磺肌肉组织中的总脂主要由PL、Cho、TG、FFA组成,4种石磺肌肉组织总脂中脂质成分的相对含量(脂质成分/总脂)差异较大(表1),紫色疣石磺肌肉组织中的PL/TL高达73.12%±1.3%,显著高于其他3种石磺($P<0.05$),瘤背石磺肌肉组织中的PL/TL最低,仅为26.23%±1.63%;紫色疣石磺肌肉组织中的FFA/TL也显著高于其他石磺($P<0.05$)。紫色疣石磺和平疣桑椹石磺肌肉组织的总脂中发现了较多的Cho,分别为4.87%和4.61%,均约为瘤背石磺的2倍,而瘤背石磺中的TG/TL显著高于其他石磺($P<0.05$),里氏拟石磺肌肉组织中含量最低,仅为1.33%。4种石磺肌肉组织中的总脂含量和脂质成分绝对含

量(脂质成分/组织干重)以PL/DW差异最大(表2)。4种石磺肌肉组织中的PL/DW含量从大到小顺序依次为紫色疣石磺(2.6%)、平疣桑椹石磺(2.32%)、里氏拟石磺(2.15%)、瘤背石磺(1.29%),瘤背石磺肌肉组织的Cho/DW含量显著低于其他石磺($P<0.05$),而紫色疣石磺、里氏拟石磺、平疣桑椹石磺的比值无显著差异($P>0.05$),瘤背石磺肌肉组织中的TG/DW达0.13%,显著高于其他石磺($P<0.05$),4种石磺的FFA/DW含量较为接近。

2.2 石磺肌肉组织的脂肪酸组成和含量种间比较

4种石磺的肌肉组织中检测出了34~37种已知脂肪酸的百分比含量(表3)。就饱和脂肪酸(SFA)而言,紫色疣石磺和瘤背石磺肌肉组织中C16:0均显著高于其他2种石磺($P<0.05$),故紫色疣石磺和瘤背石磺肌肉组织中的 Σ SFA含量均较高,里氏拟石磺肌肉组织中的 Σ SFA含量次之,平疣桑椹石磺中的百分含量最低,仅有29%左右;就单不饱和脂肪酸(MUFA)而言,各MUFA百分含量差异不大, Σ MUFA百分含量从大到小的顺序依次是瘤背石磺(20.63%)、紫色疣石磺(20.49%)、里氏拟石磺(19.61%)、平疣桑椹石磺(19.42%);就多不饱和脂肪酸[PUFA($\geq 18:2n$)]

表1 四种石磺肌肉总脂中的脂质组成

Tab. 1 Composition of lipid class in the muscle total lipid (TL) of four onchidiids

| 脂质成分 lipid class | 紫色疣石磺 <i>P. verruculata</i> | 瘤背石磺 <i>O. struma</i> | 里氏拟石磺 <i>P. reevesii</i> | 平疣桑椹石磺 <i>P. mortoni</i> |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 磷脂 phospholipids | 73.12±1.3 ^a | 26.23±1.63 ^d | 54.98±1.69 ^c | 58.98±0.91 ^b |
| 总胆固醇 total cholesterol | 4.87±0.76 ^a | 2.55±0.2 ^c | 3.87±0.05 ^b | 4.61±0.45 ^a |
| 甘油三酯 triglycerides | 1.82±0.28 ^b | 2.75±0.21 ^a | 1.33±0.03 ^c | 2.02±0.2 ^b |
| 游离脂肪酸 free fatty acids | 19.16±0.52 ^a | 13.94±1.28 ^b | 11.72±1.02 ^c | 14.25±1.26 ^b |

注:同行数据上标不同表示差异显著($P<0.05$), $a>b>c>d$,下同

Notes: Values in the same line without the same letter on the superscript are significantly different($P<0.05$), $a>b>c>d$, the same below

表2 四种石磺肌肉中总脂及脂类成分含量(干重)

Tab. 2 Content of total lipid and lipid class in the muscle dry weight (DW) of four onchidiids

| 脂类成分 lipid class | 紫色疣石磺 <i>P. verruculata</i> | 瘤背石磺 <i>O. struma</i> | 里氏拟石磺 <i>P. reevesii</i> | 平疣桑椹石磺 <i>P. mortoni</i> |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 磷脂 phospholipids | 2.6±0.07 ^a | 1.29±0.08 ^d | 2.15±0.08 ^c | 2.32±0.04 ^b |
| 总胆固醇 total cholesterol | 0.21±0.01 ^a | 0.12±0.02 ^b | 0.19±0.01 ^a | 0.21±0.02 ^a |
| 甘油三酯 triglycerides | 0.08±0.01 ^c | 0.13±0.01 ^a | 0.07±0.01 ^c | 0.09±0.01 ^b |
| 游离脂肪酸 free fatty acids | 0.69±0.07 ^a | 0.65±0.02 ^{ab} | 0.58±0.03 ^{bc} | 0.53±0.08 ^c |
| 总脂 total lipids | 3.79±0.97 ^b | 4.08±0.64 ^{ab} | 4.63±0.76 ^a | 3.9±0.75 ^b |

注:DW.肌肉组织干质量

Notes: DW means muscle dry weight

表 3 四种石磺肌肉组织中的脂肪酸组成
 Tab. 3 Fatty acids composition in the muscle of four onchidiids

| 脂肪酸 fatty acids | 紫色疣石磺 <i>P. verruculata</i> | 瘤背石磺 <i>O. struma</i> | 里氏拟石磺 <i>P. reevesii</i> | 平疣桑椹石磺 <i>P. mortoni</i> | % |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| C10:00 | 0.04±0.01 | — | — | — | |
| C11:00 | 0.04±0.02 ^{bc} | 0.1±0.03 ^a | 0.07±0.01 ^b | 0.03±0.01 ^c | |
| C12:00 | 0.35±0.1 ^b | 0.49±0.08 ^a | 0.49±0.04 ^a | 0.31±0.05 ^b | |
| C13:00 | 0.13±0.01 ^{bc} | 0.31±0.07 ^a | 0.11±0.01 ^c | 0.18±0.02 ^b | |
| C14:00 | 2.17±0.13 ^a | 1.81±0.16 ^b | 1.86±0.12 ^b | 1.66±0.1 ^b | |
| C15:00 | 1.45±0.15 ^c | 1.93±0.09 ^a | 1.67±0.17 ^b | 2.1±0.11 ^a | |
| C16:00 | 15.41±0.53 ^a | 16.35±0.81 ^a | 12.78±0.63 ^b | 12.62±0.51 ^b | |
| C17:00 | 1.81±0.07 ^a | 1.85±0.07 ^a | 1.44±0.05 ^b | 1.43±0.11 ^b | |
| C18:00 | 12.64±0.47 ^{ab} | 12.13±0.37 ^b | 13.11±0.29 ^a | 9.97±0.32 ^c | |
| C19:00 | 0.21±0.05 ^c | 0.31±0.03 ^b | 0.35±0.02 ^b | 0.51±0.01 ^a | |
| C20:00 | 0.28±0.12 | 0.22±0.07 | 0.27±0.03 | 0.24±0.1 | |
| C21:00 | 0.24±0.02 ^c | 0.26±0.01 ^c | 0.57±0.04 ^a | 0.35±0.01 ^b | |
| C22:00 | 0.23±0.02 ^a | 0.03±0.01 ^b | 0.04±0.01 ^b | 0.03±0.02 ^b | |
| C23:00 | — | — | — | 0.13±0.01 | |
| C24:00 | 0.04±0.02 | 0.03±0.01 | — | 0.02±0.01 | |
| ΣSFA | 35.05±0.67 ^a | 35.83±1.15 ^a | 32.75±0.72 ^b | 29.58±0.76 ^c | |
| C16:1n5 | 0.3±0.09 ^a | 0.16±0.04 ^b | — | 0.2±0.08 ^{ab} | |
| C16:1n7 | 5.35±0.88 ^a | 4.55±0.25 ^b | 4.17±0.32 ^b | 3.87±0.25 ^b | |
| C17:1 | 0.36±0.04 ^{ab} | 0.39±0.04 ^a | 0.34±0.02 ^{ab} | 0.32±0.05 ^b | |
| C18:1n9 | 4.68±0.11 ^b | 5.09±0.17 ^a | 4.6±0.05 ^b | 3.72±0.07 ^c | |
| C18:1n7 | 3.15±0.09 ^b | 2.37±0.13 ^d | 2.66±0.06 ^c | 3.54±0.26 ^a | |
| C19:1n9 | 0.14±0.03 ^b | 0.21±0.02 ^a | 0.2±0.01 ^a | 0.2±0.02 ^a | |
| C20:1n9 | 5.02±0.02 ^c | 6.67±0.11 ^a | 5.44±0.11 ^b | 6.81±0.38 ^a | |
| C20:1n7 | 1.34±0.02 ^b | 1.12±0.05 ^c | 2.09±0.02 ^a | 0.72±0.02 ^d | |
| C22:1n9 | 0.15±0.02 ^a | 0.08±0.01 ^b | 0.12±0.02 ^a | 0.05±0.01 ^c | |
| ΣMUFA | 20.49±0.97 ^a | 20.63±0.21 ^a | 19.61±0.37 ^b | 19.42±0.25 ^b | |
| C18:2n6 | 3.77±0.18 ^c | 4.44±0.28 ^b | 4.77±0.05 ^b | 7.87±0.35 ^a | |
| C18:3n3 | 1.55±0.05 ^a | 1.29±0.03 ^b | 1.24±0.03 ^b | 1.54±0.07 ^a | |
| C18:4n3 | 0.12±0.01 ^b | 0.04±0.02 ^c | 0.14±0.02 ^a | 0.01±0.01 ^d | |
| C20:2n6 | 1.67±0.04 ^d | 2.61±0.1 ^b | 1.89±0.05 ^c | 3.57±0.13 ^a | |
| C20:3n6 | 1.71±0.03 ^b | 1.36±0.03 ^d | 1.6±0.03 ^c | 2.13±0.07 ^a | |
| C20:3n3 | 0.27±0.02 ^a | 0.14±0.01 ^b | 0.16±0.02 ^b | 0.13±0.02 ^b | |
| C20:4n6 | 8.48±0.36 ^b | 7.53±0.21 ^c | 6.4±0.06 ^d | 11.45±0.22 ^a | |
| C20:4n3 | 0.31±0.03 ^a | 0.12±0.02 ^b | 0.29±0.04 ^a | 0.1±0.02 ^b | |

· 续表3 ·

| | | | | |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| C20:5n3 | 3.58±0.28 ^b | 2.74±0.22 ^c | 4.99±0.06 ^a | 2.85±0.11 ^c |
| C22:2n6 | 0.05±0.01 ^b | 0.08±0.03 ^a | 0.09±0.02 ^a | 0.08±0.01 ^{ab} |
| C22:4n6 | 4.87±0.18 ^b | 6.07±0.37 ^a | 6.32±0.24 ^a | 3.96±0.14 ^c |
| C22:5n6 | 0.36±0.05 ^a | 0.18±0.03 ^b | 0.35±0.03 ^a | 0.04±0.01 ^c |
| C22:5n3 | 1.01±0.04 ^b | 1.01±0.12 ^b | 1.73±0.05 ^a | 0.49±0.04 ^c |
| C22:6n3 | 0.46±0.04 ^b | 0.16±0.02 ^c | 0.52±0.02 ^a | 0.02±0.01 ^d |
| ΣPUFA(≥18:2n) | 28.19±1.02 ^c | 27.77±0.61 ^c | 30.5±0.32 ^b | 34.25±0.38 ^a |
| Σn3PUFA | 7.28±0.43 ^b | 5.5±0.35 ^c | 9.06±0.04 ^a | 5.15±0.21 ^c |
| Σn6PUFA | 20.91±0.61 ^c | 22.27±0.46 ^b | 21.44±0.32 ^c | 29.1±0.35 ^a |
| n3/n6 | 0.35±0.01 ^b | 0.25±0.02 ^c | 0.42±0.01 ^a | 0.18±0.01 ^d |
| ΣHUFA(≥20:3n) | 21.09±0.96 ^b | 19.39±0.75 ^c | 22.46±0.34 ^a | 21.25±0.39 ^b |
| DHA+EPA | 4.03±0.31 ^b | 2.9±0.23 ^c | 5.52±0.07 ^a | 2.87±0.12 ^c |
| 未知脂肪酸 unknown fatty acids | 16.27±0.35 ^{bc} | 15.78±0.45 ^c | 17.14±0.07 ^a | 16.75±0.88 ^{ab} |

注: ΣSFA. 饱和脂肪酸总量; ΣMUFA. 单不饱和脂肪酸总量; ΣPUFA. 多不饱和脂肪酸总量; ΣHUFA. 高不饱和脂肪酸总量; “—”代表未检测出或者含量极少

Notes: ΣSFA. sum of saturated fatty acids; ΣMUFA. sum of monounsaturated fatty acids; ΣPUFA. sum of polyunsaturated fatty acids; ΣHUFA. sum of highly unsaturated fatty acid; “—” means the lipid class couldn't be determined or content is very few

而言, 里氏拟石磺肌肉组织中的C20:5n3(EPA)、C22:5n3(DPA)、C22:6n3(DHA)显著高于其他石磺($P<0.05$), 而平疣桑椹石磺中的C18:2n6(7.87%)、C20:2n6(3.57%)、C20:4n6(ARA, 11.45%)百分含量均显著高于其他石磺, 但其C22:6n3(DHA)百分含量却是在4种石磺中最低, 仅有0.02%, 紫色疣石磺和瘤背石磺肌肉组织中的PUFA百分比含量差异较小, 故4种石磺的ΣPUFA含量从大到小的顺序依次是平疣桑椹石磺(34.25%)、里氏拟石磺(30.5%)、紫色疣石磺(28.19%)、瘤背石磺(27.77%), 高度不饱和脂肪酸的总含量(ΣHUFA)与ΣPUFA含量变化有所差异, 里氏拟石磺肌肉组织中的ΣHUFA达22.46%, 显著高于其他石磺($P<0.05$), 瘤背石磺含量最低(19.39%)。里氏拟石磺肌肉组织中的n3PUFA/n6PUFA的比值显著高于其他石磺($P<0.05$), 平疣桑椹石磺含量最低, 仅为0.18%。里氏拟石磺肌肉组织中的(DHA+EPA)含量也显著高于其他石磺($P<0.05$), 其次为紫色疣石磺(4.03%), 瘤背石磺和平疣桑椹石磺肌肉组织中的含量无显著差异($P>0.05$)。

4种石磺肌肉组织中的不同脂肪酸总含量组成比例较为适宜, 且存在一定的差异性(图1)。4种石磺肌肉组织中的ΣSFA和ΣPUFA含量均高于

ΣMUFA, 而ΣMUFA与ΣHUFA的含量较为接近。紫色疣石磺和瘤背石磺肌肉组织中的ΣSFA、ΣMUFA和ΣPUFA含量均无显著差异($P>0.05$), 紫色疣石磺肌肉组织中的ΣHUFA含量高于瘤背石磺。里氏拟石磺肌肉组织中的ΣSFA、ΣMUFA和ΣPUFA含量均较高, 且其ΣHUFA含量显著高于其他石磺。平疣桑椹石磺肌肉组织中的ΣSFA含量显著低于其他石磺($P<0.05$), 但其ΣPUFA含量均显著高于其他石磺($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 不同种类石磺的总脂含量和脂类组成及其营养评价

石磺是一种低脂肪高蛋白质、富含水分及矿物质的贝类, 同时富含各种氨基酸和微量元素, 肉质鲜美, 具有重要的营养价值和药用价值^[3]。结果显示, 里氏拟石磺肌肉组织中的总脂含量最高(4.63%), 与红树蚬(*Polymesoda erosa*)(4.37%)^[29]、泥蚶(*Tegillarca granosa*)(4.7%)^[30]含量相近; 民间食用较多的瘤背石磺和紫色疣石磺总脂含量分别为4.08%、3.79%, 与文蛤(*Meretrix linnaeus*)(3.71%)、毛蚶(*Scapharca subcrenata*)(3.3%)^[30]等含量相近, 而略低于缢蛏(*Sinonovacula constricta*)(5.28%)^[29]、近江牡蛎(*Crassostrea*

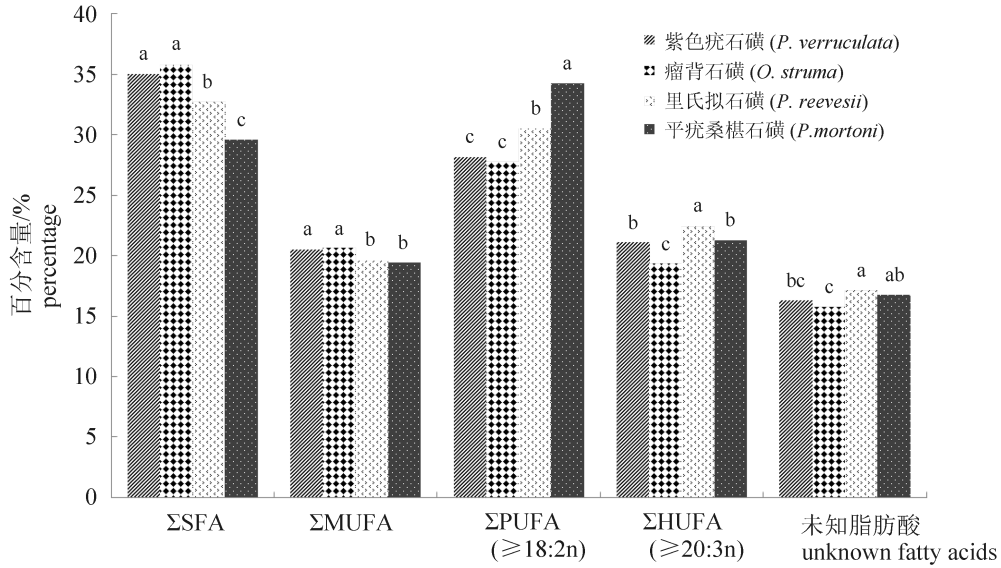


图 1 四种石磺肌肉组织中不同脂肪酸总含量的变化

同行数据上标不同表示差异显著(P<0.05)

Fig. 1 Changes of total amount of different fatty acids in muscle tissue of four onchidiids

Values in the same line without the same letter on the superscript are significantly different(P<0.05)

rivularis)(5.84%)、马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)(6.5%)^[30]等, 远低于河蚬(*Corbicula fluminea*)(10.91%)^[29]、翡翠贻贝(*Perna viridis*)(13.68%)^[31]、栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)(19.67%)^[29]等食用贝类, 据管菊等^[2]研究报道, 紫色疣石磺、瘤背石磺、里氏拟石磺和平疣桑椹石磺的蛋白质含量分别为72.27%、55.56%、58.54%、60.27%。由此可见, 4种石磺科贝类是具有高蛋白质、低脂肪含量的滋补佳品。

贝类软体部的营养成分含量与其生存环境、生长期、饵料成分等都有密切的关系^[32]。本研究表明, 瘤背石磺的磷脂及胆固醇含量最低, 游离脂肪酸含量相对较高, 这与吴旭干等^[24]的研究结果有所差异, 究其原因可能是样品采集的地域性差异以及时间差异导致了同种石磺脂质组成上的较大差异, 关于不同产地的瘤背石磺的差异性有待进一步深入研究。相比较而言, 里氏拟石磺和平疣桑椹石磺的磷脂含量较为接近, 可能与它们的栖息环境和食性较为相似有关。

石磺作为一种海产贝类, 含有多种胆固醇物质, 但其胆固醇含量并不高, 类似于缢蛭^[33]。研究表明, 饮食中胆固醇的摄入虽不是血液中胆固醇的主要来源, 但避免摄入过多的胆固醇仍是防治血脂异常、高血压、冠心病、动脉粥样硬化等心脑血管疾病的重要措施。而甘油三

酯作为血液中的一种脂肪类物质, 大部分是从饮食中获得的, 体内含量过高, 同样会引发一些心血管疾病, 因此, 控制饮食中的胆固醇和甘油三酯含量对于心血管健康尤为重要。4种石磺的磷脂含量均较高且胆固醇、甘油三酯含量低, 尤其是紫色疣石磺和瘤背石磺, 具有较好的营养价值且有助于减肥。本研究结果还显示, 4种石磺的游离脂肪酸含量均较高, 其中紫色疣石磺的含量高达19.16%, 高于一般的食用贝类, 究其原因可能与物种差异以及不同海域贝类生物学特性、栖息环境、生活习性以及摄食方式等有关, 具体原因有待进一步探讨。

3.2 不同种类石磺的脂肪酸组成、作用及其营养评价

一般而言, 海洋经济动物生长过程中, 由于环境和饵料等的改变, 其生化组分会产生较大差异^[34]; 同时贝类种群的不同, 其营养成分组成也会存在较大差异^[35]。张永普等^[36]发现由于泥蚶种群的不同, 其营养成分存在较大差异, 这与本研究的结果相似。此外, 脂质储存时间和温度、季节差异、性别差异、组织差异以及摄食方式、栖息环境的不同等多种因素都会影响贝类的脂肪酸组成。

结果显示, 4种石磺的脂肪酸组成存在一定

的差别。紫色疣石磺、瘤背石磺、里氏拟石磺的 Σ SFA含量均大于32%，高于 Σ MUFA和 Σ PUFA，而平疣桑椹石磺的 Σ PUFA含量却高于 Σ SFA和 Σ MUFA，这些石磺的脂肪酸组成中， Σ PUFA均高于 Σ MUFA，可能是由于石磺以摄食高不饱和脂肪酸含量较高的藻类如硅藻纲微藻为主^[22]的原因。SFA以C16:00和C18:00为主，MUFA主要由C16:1、C18:1、C20:1组成，有研究表明，C16:00、C18:00等脂肪酸在生物组织中可以提供能量，合成细胞膜磷脂，对生物体具有重要意义，而油酸可以降低低密度脂蛋白胆固醇，可以预防动脉硬化，而且不会降低对人体有益的高密度脂蛋白胆固醇的水平^[37]。PUFA则以EPA(C20:5n3)和ARA(C20:4n6)为主，这与李海英等^[38]的研究结果相似。4种石磺肌肉组织中的DHA(C22:6n3)含量明显低于其他贝类，而ARA含量很高，可能是由于亚油酸(C18:2n6)在一定情况下快速地由醋酸盐合成并转化为ARA，因而导致了ARA在石磺体内的大量累积^[38]。此外，瘤背石磺与吴旭干等^[24]报道中的脂肪酸组成存在较大差异，可能与其摄食特性以及样品采集海域及采集时间的不同有关。石磺以摄食底泥中的有机物和底栖藻类为生，即使是同种石磺也会因海域及时间的差异性，导致摄入的有机物和底栖藻类有所差异，从而导致了脂肪酸组成的差异性。此外，海洋贝类脂肪酸组成的差异也在一定程度上反映了不同海域微藻等浮游生物组成结构的差异^[39-40]。

有关研究报道表明，人体摄入脂肪酸的组成 Σ SFA: Σ MUFA: Σ PUFA=1:1:1^[28]以及 Σ PUFA/ Σ SFA > 0.4^[29-30]时有利于人体健康，而石磺肌肉组织中的 Σ SFA: Σ MUFA: Σ PUFA接近1:1:1，且4种石磺的 Σ PUFA/ Σ SFA均大于0.7，由此可见，石磺具有很高的营养价值，是很好的天然保健食品^[41]。此外，在PUFA中，4种石磺均以具有生物活性的HUFA的组成为主，除平疣桑椹石磺外，其他3种石磺的HUFA:PUFA比值均在0.7以上，HUFA具有降压、降脂、抑制血小板凝集以及提高生物膜液态性、抗炎、抗肿瘤和免疫调节之功效^[40]。因此，可以将石磺作为开发富含HUFA功能食品的新原料，具有很高的营养价值及经济效益。

虽然石磺的粗脂肪含量并不高，但其不饱

和脂肪酸含量高、脂肪酸种类非常丰富。研究表明，作为人体必需脂肪酸的不饱和脂肪酸具有预防心血管疾病、抗炎、抗肿瘤和免疫调节等作用，不饱和脂肪酸对于稳定细胞膜功能、调控基因表达、维持脂蛋白和细胞因子平衡、抗心血管疾病以及在促进生长发育等方面具有特殊的生理活性^[33]，此外，不饱和脂肪酸对贝类自身的生长也具有重要作用^[40]，其还是贝类营养、风味前体的主要来源之一。4种石磺中不饱和脂肪酸含量均占总脂肪酸的45%以上，因此，4种石磺不仅具有脂类营养价值，还具有较高的活性成分，是难得的滋补佳品。瘤背石磺的C20:5n3及C22:6n3含量极少，仅为2.74%、0.16%，与其他贝类比较，瘤背石磺肌肉中含有较高C22:5n3和较低C22:6n3，可认为是其脂肪酸组成的一个重要特征。紫色疣石磺和平疣桑椹石磺肌肉总脂中含有丰富的C20:4n6和C20:5n3等不饱和脂肪酸，表明紫色疣石磺和平疣桑椹石磺具有很高的营养价值和脂质功能因子的开发潜力。

在不饱和脂肪酸中， ω -3系列的HUFA更具有保健功能，对心脑血管疾病、自体免疫疾病等有一定的疗效，还可以抑制肿瘤的生长和转移等^[42]，里氏拟石磺的 ω -3PUFA含量高于其他3种石磺，因而里氏拟石磺的脂肪酸具有较高的营养价值和药用价值，但由于里氏拟石磺味苦，民间少有食用， ω -3HUFA含量次之的紫色疣石磺更具有食用价值。里氏拟石磺的C22:6n3含量为0.52%及n6/n3的比值为2.38均显著高于其他3种石磺，这与元冬娟等^[43]报道的腹足纲n6/n3 PUFA比值1.00~14.34的研究结果较为相似。 ω -3系列脂肪酸中起主要作用的EPA和DHA在医学上具有不容忽视的价值。EPA和DHA具有防止动脉硬化、改善冠状动脉血液循环、抑制前列腺素合成、改善记忆力、学习力、预防老年痴呆、改善机体脂质代谢、防治癌症、保护视力、增强免疫力等作用，对缺血性心脏病致心绞痛、心肌梗死和心律失常都有一定的防治作用，可用于预防与治疗心肌梗塞、冠心病、脉管炎、脑动脉硬化等多种疾病；同时DHA还能抑止脑细胞老化，活化脑细胞，是人类生长发育所必需的活性物质^[44-47]。4种石磺中的EPA+DHA含量在2.8%~5.5%，表明4种石磺肌肉组织中所含的脂肪酸具有较好的保健作用和很好的食用价值，

尤其是里氏拟石磺和广泛食用的紫色疣石磺、瘤背石磺, 其脂类活性价值有待进一步研究。

4 小结

4种石磺总脂含量在3.79%~4.63%, 除里氏拟石磺外的其他3种石磺之间并无显著差异。4种石磺总脂中的磷脂含量存在极显著性差异($P<0.01$), 其中紫色疣石磺磷脂含量最高, 高达73.12%, 瘤背石磺的含量最低, 仅有26.23%。里氏拟石磺和平疣桑椹石磺的PL/TL含量均在55%左右。4种石磺干样中的胆固醇和甘油三酯含量较低, 且差异较小; 游离脂肪酸的含量为0.53%~0.69%, 均高于一般食用贝类。4种石磺肌肉组织中的脂肪酸组成存在较大差异, 紫色疣石磺、瘤背石磺、里氏拟石磺、平疣桑椹石磺肌肉组织中的不饱和脂肪酸含量分别为48.68%、48.4%、50.11%、53.67%, 以C16:1、C18:1、C20:1、C18:2、C20:4、C20:5以及C22:4为主, 不同种石磺的肌肉组织中均含有丰富的油酸、亚油酸、亚麻酸和花生四烯酸等必需脂肪酸, HUFA/PUFA的比值均大于0.7, EPA含量均远高于其DHA的含量, EPA+DHA含量较高, n3/n6比值适宜。可见, 从不饱和脂肪酸和必需脂肪酸方面综合来看, 东海海域的紫色疣石磺、瘤背石磺、里氏拟石磺、平疣桑椹石磺这4种石磺科贝类的营养价值、药用价值较高; 4种石磺的脂质和脂肪酸组成存在较大差异, 其中, 紫色疣石磺和瘤背石磺含有丰富的人体必需脂肪酸, 且营养均衡, 适宜食用; 里氏拟石磺具有特殊生理活性的脂肪酸成分含量较高。本研究为石磺科贝类的营养评价及资源的开发利用提供了理论依据; 也能为腹足纲贝类生活习性、生存环境与体内成分之间的差异研究提供参考。

姚理想和杨铁柱为同等贡献第一作者。

参考文献:

- [1] Bouchet P, Rocroi J P. Classification and nomenclator of gastropod families[J]. *Malacologia*, 2005, 47(1-2): 85-397.
- [2] 管菊, 沈和定, 钱静, 等. 四种石磺营养成分分析及价值评价[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(17): 349-353, 364. Guan J, Shen H D, Qian J, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition of four species of Onchidiidae [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(17): 349-353, 364(in Chinese).
- [3] 张媛溶, 周昭曼, 卢卫平, 等. 上海沿海蛤蟆石磺的初步研究[C]//中国贝类学会. 贝类学论文集: 第2辑. 北京: 科学出版社, 1986: 153. Zhang Y R, Zhou Z M, Lu W P, *et al.* A preliminary study on the *Onchidium* sp. in shanghai area[C]//Transactions of the Chinese Society of Malacology: the Second Album. Shellfish Society in China. Beijing: Science Press, 1986: 153(in Chinese).
- [4] Dayrat B, Tillier S. Evolutionary relationships of euthyneuran gastropods (Mollusca): a cladistic re-evaluation of morphological characters[J]. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2002, 135(4): 403-470.
- [5] Dayrat B, Zimmermann S, Raposa M. Taxonomic revision of the Onchidiidae (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata) from the tropical eastern pacific[J]. *Journal of Natural History*, 2011, 45(15-16): 939-1003.
- [6] 黄金田, 沈伯平, 王资生. 瘤背石磺的生态习性观察[J]. *海洋渔业*, 2004, 26(2): 103-109. Huang J T, Shen B P, Wang Z S. The observation on ecological habits of *Onchidium struma*[J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(2): 103-109(in Chinese).
- [7] 王金庆, 成永旭, 吴旭干, 等. 瘤背石磺的形态、习性和生殖行为[J]. *动物学杂志*, 2005, 40(1): 32-40. Wang J Q, Cheng Y X, Wu X G, *et al.* Morphological characteristics, living habitus and reproductive behavior of *Onchidium struma*[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2005, 40(1): 32-40(in Chinese).
- [8] Pal P. Fine structure of reproductive glands in two primitive marine pulmonates (Basommatophora: Siphonariidae)[J]. *Acta Zoologica*, 2007, 88(2): 145-152.
- [9] 王金庆, 成永旭, 吴旭干, 等. 瘤背石磺的生殖系统和性腺发育[J]. *动物学杂志*, 2006, 41(1): 19-26. Wang J Q, Cheng Y X, Wu X G, *et al.* Reproductive system and gonadal development of *Onchidium struma*[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2006, 41(1): 19-26(in Chinese).
- [10] 沈和定, 陈贤龙, 陈汉春, 等. 水温对石磺胚胎发育的影响[J]. *水产学报*, 2005, 29(6): 776-782. Shen H D, Chen X L, Chen H C, *et al.* Effects of water temperature on embryonic development of *Onchidium* sp.[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(6): 776-

- 782(in Chinese).
- [11] 王金庆, 成永旭, 吴旭干. 瘤背石磺的胚胎和幼虫发育[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 108-115.
Wang J Q, Cheng Y X, Wu X G. Embryonic and larval development of *Onchidium struma*[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(2): 108-115(in Chinese).
- [12] 倪小英, 应雪萍, 张永普, 等. 不同温度和pH值对瘤背石磺(*Onchidium verruculatum* Cuvier)消化酶活性的影响[J]. 温州大学学报(自然科学版), 2009, 30(2): 1-5.
Ni X Y, Ying X P, Zhang Y P, et al. Effect of different temperatures and pHs on digestive enzyme activities of *Onchidium verruculatum* Cuvier[J]. Journal of Wenzhou University (Natural Sciences), 2009, 30(2): 1-5(in Chinese).
- [13] 沈永龙, 戈贤平, 黄金田, 等. 盐度对瘤背石磺不同部位Na⁺/K⁺-ATP酶活性、围心腔液和腹腔液渗透压及离子含量的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(6): 851-857.
Shen Y L, Ge X P, Huang J T, et al. Effects of salinity on Na⁺/K⁺-ATPase activity, the osmolality of pericardial cavity fluid and peritoneal fluid and ion content in *Onchidium struma*[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(6): 851-857(in Chinese).
- [14] 沈和定, 陈汉春, 陈贤龙, 等. 石磺繁殖生物学的实验研究[J]. 水产学报, 2006, 30(6): 753-760.
Shen H D, Chen H C, Chen X L, et al. Experimental study on the reproductive biology of *Onchidium* sp.[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(6): 753-760(in Chinese).
- [15] 沈永龙, 黄金田, 戈贤平, 等. 几种重要环境因子对瘤背石磺人工养殖成活率的影响[J]. 南方水产科学, 2012, 8(6): 57-64.
Shen Y L, Huang J T, Ge X P, et al. Effects of several key environmental factors on survival of artificial breeding of *Onchidium struma*[J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(6): 57-64(in Chinese).
- [16] 滕炜鸣, 吴旭干, 唐伯平, 等. 瘤背石磺滩涂生态繁殖的初步研究[J]. 海洋渔业, 2007, 29(3): 214-220.
Teng W M, Wu X G, Tang B P, et al. The study of ecological reproduction of *Onchidium struma* in wetland[J]. Marine Fisheries, 2007, 29(3): 214-220(in Chinese).
- [17] Tsukasa G. Role of cyclic nucleotides in the long-lasting histaminergic inhibition in the mollusc, *Onchidium* neuron[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part C: Comparative Pharmacology, 1988, 91(1): 75-78.
- [18] Carbone M, Ciavatta M L, Wang J R, et al. Extending the record of bis- γ -pyrone polypropionates from marine pulmonate mollusks[J]. Journal of Natural Products, 2013, 76(11): 2065-2073.
- [19] Sun B N, Shen H D, Wu H X, et al. Determination of chemical constituents of the marine pulmonate slug, *Paraoncidium reevesii*[J]. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2014, 13(12): 2071-2074.
- [20] Wang J R, Carbone M, Gavagnin M, et al. Assignment of absolute configuration of bis- γ -pyrone polypropionates from marine pulmonate molluscs[J]. European Journal of Organic Chemistry, 2012, 2012(6): 1107-1111.
- [21] 黄金田, 王爱民. 瘤背石磺营养成分分析及品质评价[J]. 海洋科学, 2008, 32(11): 29-35.
Huang J T, Wang A M. Determination of the nutrients of *Onchidium struma* and evaluation of its quality[J]. Marine Sciences, 2008, 32(11): 29-35(in Chinese).
- [22] 李娜. 贝类中氨基酸、脂肪酸和重金属的含量分析及其产品质量评价[D]. 保定: 河北农业大学, 2011.
Li N. The amino acids, fatty acids and heavy metals content analysis of the shellfish and its product quality evaluation[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2011(in Chinese).
- [23] Harris W S, Miller M, Tighe A P, et al. Omega-3 fatty acids and coronary heart disease risk: clinical and mechanistic perspectives[J]. Atherosclerosis, 2008, 197(1): 12-24.
- [24] 吴旭干, 滕炜鸣, 唐伯平, 等. 成体瘤背石磺脂类和脂肪酸组成[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 431-438.
Wu X G, Teng W M, Tang B P, et al. Lipid class and fatty acid composition of adult *Onchidium struma*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(3): 431-438(in Chinese).
- [25] 贺诗水, 吴旭干, 滕炜鸣, 等. 不同规格瘤背石磺(*Onchidium struma*)肌肉的生化组成及营养价值评价[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(4): 761-767.
He S S, Wu X G, Teng W M, et al. Biochemical composition and nutritional evaluation in the muscle of different size *Onchidium struma*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(4): 761-767(in Chinese).
- [26] 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.
Wan C Y, Huang F H, Li W L. Determination of

- phospholipids in oils by ascorbic acid-molybdenum blue spectrophotometry[J]. *China Oils and Fats*, 2006, 31(4): 46-49(in Chinese).
- [27] 孙甜甜, 薛长湖, 薛勇, 等. 南极磷虾脂质提取方法的比较[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(16): 115-117, 121.
Sun T T, Xue C H, Xue Y, *et al.* Comparisons of the antarctic krill lipid extraction methods[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(16): 115-117, 121(in Chinese).
- [28] 楼乔明, 王玉明, 杨文鸽, 等. 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.
Lou Q M, Wang Y M, Yang W G, *et al.* Lipid classes and fatty acid compositions of antarctic krill meal[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(8): 1256-1262(in Chinese).
- [29] 周浩郎, 张俊杰, 邢永泽, 等. 红树蚬软体部营养成分分析与评价[J]. *南方农业学报*, 2015, 46(2): 308-312.
Zhou H L, Zhang J J, Xing Y Z, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in the soft part of mangrove clam, *Polymesoda erosa* (Solander 1768)[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2015, 46(2): 308-312(in Chinese).
- [30] 王颖, 吴志宏, 李红艳, 等. 青岛魁蚶软体部营养成分分析及评价[J]. *渔业科学进展*, 2013, 34(1): 133-139.
Wang Y, Wu Z H, Li H Y, *et al.* Analysis and evaluation of nutrition composition in soft tissue of *Anadara uropygimelana*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(1): 133-139(in Chinese).
- [31] 庆宁, 林岳光, 金启增. 翡翠贻贝软体部营养成分的研究[J]. *热带海洋*, 2000, 19(1): 81-84.
Qing N, Lin Y G, Jin Q Z. Studies on nutritive compositions of soft part in mussel *Perna viridis*[J]. *Tropic Oceanology*, 2000, 19(1): 81-84(in Chinese).
- [32] 张善发, 邓岳文, 王庆恒, 等. 几种饵料对华贵栉孔扇贝浮游幼虫生长和成活率的影响[J]. *水产科学*, 2008, 27(4): 184-186.
Zhang S F, Deng Y W, Wang Q H, *et al.* Larval growth and survival in huagui scallop *Chlamys nobilis* fed different diets[J]. *Fisheries Science*, 2008, 27(4): 184-186(in Chinese).
- [33] 孙秋颖, 张付云, 李伟, 等. 螭蛭的营养及活性成分研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(12): 201-204.
Sun Q Y, Zhang F Y, Li W, *et al.* Research progress on the nutritional and functional ingredient of *Sinonovacula constricta* (Lamarck)[J]. *Food Research and Development*, 2011, 32(12): 201-204(in Chinese).
- [34] 常抗美, 吴常文, 吕振明, 等. 曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*)野生及养殖群体的生化特征及其形成机制的研究[J]. *海洋与湖沼*, 2008, 39(2): 145-151.
Chang K M, Wu C W, Lü Z M, *et al.* Comparison in biochemistry of tissues of wild and cultured *Sepiella maindroni*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2008, 39(2): 145-151(in Chinese).
- [35] 丁君, 常亚青, 张婧, 等. 虾夷扇贝"象牙白"品系与普通品系营养成分分析及评价[J]. *中国农业科技导报*, 2011, 13(2): 121-128.
Ding J, Chang Y Q, Zhang J, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in "ivory" strains and ordinary strains of *Mizuhopecten yessoensis*[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2011, 13(2): 121-128(in Chinese).
- [36] 张永普, 贾守菊, 应雪萍. 不同种群泥蚶肉营养成分的比较研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2002(2): 33-38.
Zhang Y P, Jia S J, Ying X P. A comparative study on the nutritive composition and contents in the meat of *Tegillarca granosa* in varied populations[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2002(2): 33-38(in Chinese).
- [37] 田永全. 脂肪酸的营养功能[J]. *中国食物与营养*, 2007(8): 51-52.
Tian Y Q. The nutritional functions of fatty acids[J]. *Food and Nutrition in China*, 2007(8): 51-52(in Chinese).
- [38] 李海英, 徐继林, 严小军. 16种贝类脂肪酸和甾醇组成分析[J]. *宁波大学学报(理工版)*, 2009, 22(1): 48-54.
Li H Y, Xu J L, Yan X J. Analysis of fatty acid and sterol composition in 16 shellfishes[J]. *Journal of Ningbo University (NSEE)*, 2009, 22(1): 48-54(in Chinese).
- [39] 刘亚, 章超桦, 张静. 贝类功能性成分的研究现状及其展望[J]. *海洋科学*, 2003, 27(8): 34-38.
Liu Y, Zhang C H, Zhang J. Present conditions and prospects on functional ingredient of edible shellfish[J]. *Marine Sciences*, 2003, 27(8): 34-38(in Chinese).
- [40] 孟学平, 高如承, 董志国, 等. 西施舌营养成分分析与评价[J]. *海洋科学*, 2007, 31(1): 17-22.
Meng X P, Gao R C, Dong Z G, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in edible part of *Coelomactra antiquata*[J]. *Marine Sciences*, 2007, 31(1): 17-22(in Chinese).

- [41] 李振华, 陈月忠, 周永东, 等. 福建长乐海蚌保护区海蚌软体部的营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 176-182.
Li Z H, Chen Y Z, Zhou Y D, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional composition of edible part of *Coelomactra antiquata* (Spengler) in nature sanctuary of *Coelomactra antiquata* of Fujian Province[J]. Food Science, 2014, 35(5): 176-182(in Chinese).
- [42] 吴爱春, 张永普, 周化斌. 橄榄蚶软体部营养成分分析与评价[J]. 动物学杂志, 2009, 44(1): 92-98.
Wu A C, Zhang Y P, Zhou H B. Analysis and evaluation of the nutritive components in the edible part of *Estellarca olivacea*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2009, 44(1): 92-98(in Chinese).
- [43] 元冬娟, 吴湃, 王璠, 等. 19种湛江地区海产贝类中脂肪酸组成GC-MS分析[J]. 中国海洋药物, 2009, 28(3): 29-33.
Yuan D J, Wu P, Wang F, *et al.* Analysis of fatty acids compositions in 19 kinds of marine shellfish from Zhanjiang coast by GC-MS[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2009, 28(3): 29-33(in Chinese).
- [44] 苏天凤, 黄建华, 江世贵. 2种东风螺软体部和生殖腺脂肪酸组成研究[J]. 海洋科学, 2009, 33(1): 21-24.
Su T F, Huang J H, Jiang S G. A study on the composition of fatty acids in *Babylonia areolata* and *Babylonia formosae*[J]. Marine Sciences, 2009, 33(1): 21-24(in Chinese).
- [45] 刘慧慧, 徐梅英, 吴常文. 舟山海域扁玉螺和玉螺食用价值评估[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 228-231.
Liu H H, Xu M Y, Wu C W. Evaluation of nutritional composition in *Neveritia didyma* and *Natica vitellus* from Zhoushan sea area[J]. Food Science, 2013, 34(5): 228-231(in Chinese).
- [46] 郝颖, 汪之和. EPA、DHA的营养功能及其产品安全性分析[J]. 现代食品科技, 2006, 22(3): 180-183.
Hao Y, Wang Z H. Nutritive function and safety analysis of EPA and DHA[J]. Modern Food Science and Technology, 2006, 22(3): 180-183(in Chinese).
- [47] 董辉, 王颀, 刘亚琼, 等. 杂色蛤软体部营养成分分析及评价[J]. 水产学报, 2011, 35(2): 276-282.
Dong H, Wang J, Liu Y Q, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in edible part of *Ruditapes variegata*[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(2): 276-282(in Chinese).

Lipids and fatty acids composition in the edible mass of four species in Onchidiidae

YAO Lixiang, YANG Tiezhu, ZHUmin, SHEN Heding*, LI Baihang, DIAO Ya

(Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources,
Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Onchidiidae which is widely distributed in China and rich in resources is one kind of economic gastropoda with nutritional value, despite reports for molecular biology, ecology, developmental, physiological and ecological breeding field of research. The analysis of biochemical components of Onchidiidae is conducive to its development and utilization of resources. In view of this, this study determined and compared four different species of Onchidiidae (*Peronia verruculata*, *Onchidium struma*, *Platevindex mortoni* and *Paraoncidium reevesii*) of total fat (TF) content, lipid and fatty acid composition. The experiments were conducted to investigate total lipid(TL) class and fatty acid composition of Onchidiidae by GC-MS and others. Results show that: ① Four different onchidiids muscle total fat are mainly composed of phospholipids (PL), free fatty acid (FFA), cholesterol (Cho) and triglyceride (TG); the PL/TL content of *P. verruculata*'s muscle tissue is as high as 73.12%, significantly higher than the other three species ($P<0.05$); the PL/TL content of *O. struma* muscle tissue is only 26.23%, significantly lower than the other three species ($P<0.05$); the TG/TL content of *O. struma* muscle tissue amounted to 2.75% of muscle tissue, significantly higher than the other three species ($P<0.05$); FFA/TL of *P. verruculata*'s muscle tissue is as high as 19.16%, significantly higher than the other three species ($P<0.05$). ② The fatty acid composition of muscle tissue of four different onchidiids is more balanced (S : M : P close to 1 : 1 : 1). The total saturated fatty acids in muscle tissue (Σ SFA) levels of *O. struma* and *P. verruculata* were above 35%, Σ SFA of *P. mortoni* muscle tissue is only 29.58%, significantly lower than the other three species ($P<0.05$); the four species of Onchidiidae total monounsaturated fatty acid (Σ MUFA) content were similar; the total polyunsaturated fatty acid content of *P. mortoni*'s muscle tissue is 34.25%, significantly higher than the other three species ($P<0.05$). The C20 : 4n6 (ARA) of *P. mortonian* in muscle tissue content and the C22:5n3 (DPA) of *P. reevesii*'s muscle tissue were significantly higher than that of the other three onchidiids, C20:5n3 (EPA) content in four onchidiids were significantly higher than the C22:6n3 (DHA). Studies have shown that four species contained higher ω -3 polyunsaturated fatty acids, which suggests that onchidiids' muscle tissue has high lipid nutrition value, in addition, the composition of lipid and fatty acid of all four has a significant difference, may be related to its habitats and species diversity. The purpose of this study was to evaluate the nutritional value of different kinds of Onchidiidae, provide theoretical basis for the development and utilization of its resources, and provide theory support for the ecological culture and enhancement.

Key words: Onchidiidae; lipid class; fatty acid composition; GC-MS

Corresponding author: SHEN Heding. E-mail: hdshen@shou.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation (41276157)