

成体瘤背石磺脂类和脂肪酸组成

吴旭干^{1,2}, 滕炜鸣¹, 唐伯平², 成永旭¹, 于智勇¹, 周波¹, 杨筱珍¹

(1. 上海水产大学 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 200090; 2. 江苏省滩涂生物资源与环境保护重点实验室, 江苏 盐城 224002)

摘要: 测定和比较了成体瘤背石磺的肌肉、肝胰腺、两性腺和卵黄腺指数、水分含量、总脂(TL)含量、脂类和脂肪酸组成。结果表明: (1) 瘤背石磺的肌肉指数为 57.31%, 显著高于其他 3 种组织 ($P < 0.05$); 肌肉和两性腺中的水分含量为 80% 左右, 肝胰腺中的总脂/湿质量含量为 8.23%, 显著高于其他 3 种组织 ($P < 0.05$)。 (2) 成体瘤背石磺各种组织总脂主要由磷脂(PL)、胆固醇(Cho)、游离脂肪酸(FFA)、甘油三酯(TG)和甘油一酯(MG)组成; 肌肉中的 PL/TL 高达 85.24%, 显著高于其他 3 种组织 ($P < 0.05$); 肝胰腺中 PL/TL 含量仅为 41.77%, 显著低于其他组织 ($P < 0.05$); 肝胰腺中的 FFA/TL 达 44.99%, 显著高于其他组织。 (3) 成体瘤背石磺肝胰腺中的总饱和脂肪酸(Σ SFA)含量达 34.93%, 显著高于其他 3 种组织 ($P < 0.05$); 两性腺中总单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)含量仅为 18.96%, 显著低于其他 3 种组织, 总多不饱和脂肪酸(Σ PUFA)含量从大到小顺序依次为: 两性腺(40.60%)、卵黄腺(33.21%)、肌肉(30.85%)、肝胰腺(21.00%)。肌肉中 $C_{20:4n6}$ (AA)含量显著高于其他组织, 两性腺中的 $C_{22:5n3}$ (DPA)含量高达 10.34%, 4 种组织中的 $C_{20:5n3}$ (EPA)含量均显著大于 $C_{22:6n3}$ (DHA)含量。由此可见, PL 和 PUFA 对于瘤背石磺的两性腺发育具有十分重要作用, 肝胰腺中高含量的 FFA 可能与其旺盛的脂类代谢有关, 肌肉、卵黄腺和两性腺具有较高的脂类营养价值。[中国水产科学, 2008, 15(3): 431-438]

关键词: 瘤背石磺; 成体; 脂类; 脂肪酸

中图分类号: Q959.223

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)03-0431-08

瘤背石磺 (*Onchidium struma*) 是生活在潮间带高潮区滩涂的一种肺螺类, 隶属于软体动物门 (Mollusca), 腹足纲 (Gastropoda), 肺螺亚纲 (Pulmonata), 柄眼目 (Stylommatophora), 石磺科 (Onchidiidae), 主要分布于中国江、浙、沪沿海, 是一种具有重要营养价值和药用价值的经济贝类^[1-2]。

目前瘤背石磺已被作为高档滋补品而受到消费者的广泛欢迎^[3]。自 20 世纪 80 年代以来, 国内外学者已对石磺类的外部形态、生殖行为、生态习性、胚胎发育和性腺发育等方面进行了较多的研究^[4-10], 但有关瘤背石磺生化组成的报道极少, 仅张媛溶^[1]和黄金田^[3]初步报道了瘤背石磺的一般营养成分含量。

脂类是仅次于蛋白质的第二大营养物质, 它是细胞膜和细胞器的构建、卵黄体和内分泌激素合成不可或缺的成分, 对于贝类生长和生殖至关重要^[11-15]。大量研究表明, 海洋贝类通常含有较多的磷脂 (PL) 和高不饱和脂肪酸 (HUFA), 这些成分具有促进人类智力发育、降低血脂、增强视力等重要生理功能^[16-18], 瘤背石磺的营养及药用价值可能与此有关, 但是迄今尚未见有关成体瘤背石磺的脂类和脂肪酸组成的报道。鉴于此, 本实验测定了成体瘤背石磺肌肉、肝胰腺、两性腺和卵黄腺中的脂类和脂肪酸组成, 以为瘤背石磺的营养繁殖学的研究和脂类营养价值评价提供基础资料和理论依据, 从而促进瘤背石磺增养殖业的健康发展。

收稿日期: 2007-06-13; **修订日期:** 2008-02-30.

基金项目: 上海市科委基础研究重点项目 (04JC14067); 上海市科技兴农重点攻关项目 (沪农科攻字 2005D4-3); 江苏省滩涂生物资源与环境保护重点实验室开放基金 (JLCBE052002); 上海市重点学科项目 (Y1101).

作者简介: 吴旭干 (1978-), 男, 博士研究生, 讲师, 从事水生动物营养繁殖学. Tel: 021-65711346; E-mail: xgwu@shfu.edu.cn

通讯作者: 成永旭. Tel: 13371935236, 021-65711346. E-mail: yxcheng@shfu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验材料及解剖

实验用成体瘤背石磺于2006年5月20~28日采自上海崇明岛北支芦苇滩涂湿地(N31°38', E121°41'),共125只,体质量(19.36 ± 4.43)g,范围16.2~35.9 g,体长(7.51 ± 0.49)cm,体长范围5.82~8.33 cm。实验室内进行解剖,分别取出肌肉、肝胰腺、两性腺(瘤背石磺的精子 and 卵子均由两性腺产生,没有单独的精巢和卵巢,所以称为两性腺^[5])和卵黄腺后分别准确称重(精确到0.1 mg)后用于计算组织系数。根据王金庆等的方法^[5]挑选性腺发育接近成熟的个体用于脂类和脂肪酸分析,接近成熟个体的两性腺指数大于1.2%,两性腺颜色呈黄褐色,卵黄腺为粉红色。取1 g左右的组织在60℃烘干到恒重测定各组织中水分含量,每种组织样品均重复测定5~8次,其余样品保存于-20℃冰箱中待分析。按如下公式计算其组织指数:

肌肉指数(MI, %)=肌肉重/体质量×100;

肝胰腺指数(HSI, %)=肝胰腺重/体质量×100;

卵黄腺指数(VSI, %)=卵黄腺重/体质量×100;

两性腺指数(DSI, %)=两性腺重/体质量×100。

1.2 脂类组成分析

将肌肉、肝胰腺、两性腺和卵黄腺冷冻干燥后用于脂类分析,按照Folch法^[19]采用氯仿:甲醇(2:1, V/V)抽提组织中的总脂(Total lipid, TL),参考李铎等^[20]的方法用IAROSCANTM MK-6s棒状薄层色谱扫描仪(IATRON LABORATORIES INC., Tokyo, Japan)进行脂类组成分析。具体步骤如下:将待测脂类用氯仿定容稀释至10~20 mg/mL,取1 μL在色谱棒的零点位置进行点样,展层液为正己烷:乙醚:甲酸(42:28:0.3, V/V/V)。展层结束后将色谱棒置于色谱棒干燥器中于60℃干燥5 min,去除色谱棒上残留的展层液。在氢气160 mL/min,空气2 L/min的条件下用氢火焰检测器(FID)检测各种脂类成分,用Chormstar软件处理TLC-FID的薄层层析图谱。磷脂(Phospholipids, PL)、胆固醇(Cholesterol, Cho)、甘油三酯(Triacylglycerol, TG)、游离脂肪酸(Free fatty acids, FFA)、甘油一酯(Monoacylglycerol, MG)和胆固醇酯(CE, Cholesterol esters)的标准品购自Sigma公司,用氯仿稀释后在相同的参数条件下进行层析,以此作为

脂类成分定性的依据,脂类成分的定量采用面积百分比法。

1.3 脂肪酸分析

采用14%的三氟化硼-甲醇(V/V)溶液对提取的总脂进行甲酯化处理,然后用1~2 mL正己烷萃取脂肪酸甲酯。旋转蒸发到所需浓度进行脂肪酸分析^[21]。所用仪器为Agilent-6890气相色谱,毛细管柱型号为Omegawax320(30.0 m×0.32 mm, USA),进样口和氢火焰检测器的温度均为260℃,起始柱温60℃,逐步程序升温到260℃直到所有脂肪酸全部出峰。氢气的流速为30 mL/min,空气流速为300 mL/min,补偿气体氮气的流速为25 mL/min,分流比为1:50,压力为60 kPa。混合标准脂(Cat.No.47085-U,购自Supelco公司)作为脂肪酸定性的依据,C19:0作为内标用于计算脂肪酸的绝对含量(mg/g组织干重),脂肪酸的相对含量计算采用面积百分比法。

1.4 数据处理

利用STAT5.5软件对实验数据进行统计分析,用Levene's法进行齐性方差检验,当不满足齐性方差时,对数据进行反正弦或者平方根转换,采用Duncan's法进行单因子多重比较, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 成体瘤背石磺的组织系数、水分和总脂含量

由表1可知,成体瘤背石磺的肌肉指数高达(57.31 ± 6.81)%,显著高于其他3种组织系数($P<0.05$),两性腺指数最小仅为(1.77 ± 0.44)%。肌肉和两性腺中的水分含量高达80%左右,卵黄腺中的水分含量仅为(55.83 ± 2.43)%,显著低于其他3种组织($P<0.05$)。肝胰腺中的总脂/湿质量含量均高于其他3种组织($P<0.05$),两性腺中的总脂含量次之(3.98 ± 0.61)%,卵黄腺和肌肉中的总脂含量显著低于其他2种组织,仅为1.5%左右。

2.2 成体瘤背石磺的脂类组成和含量

成体瘤背石磺各种组织总脂主要由磷脂(PL)、胆固醇(Cho)、游离脂肪酸(FFA)、甘油三酯(TG)和甘油一酯(MG)组成,表2为各组织总脂中脂类成分的相对含量(脂类成分/总脂),肌肉中PL/TL高达(85.24 ± 3.01)%显著高于其他3种组织($P<0.05$),肝胰腺中PL/TL含量最低,仅为(41.77 ± 8.60)%;肌肉中Cho/TL也显著高于其他

三种组织 ($P<0.05$), 是其他组织中的 2~3 倍。肝胰腺和卵黄腺的总脂中发现了较多的 FFA, 分别为 44.99% 和 10.99%, 肌肉中的 FFA/TL 仅为 (1.36 ± 0.21)%, 仅在肝胰腺中检测出少量 MG (0.82%)。成体瘤背石磺各种组织中的总脂含量和脂类成分绝对含量 (脂类成分 / 组织干重) 见表 3。4 种组

织中的 PL/DW 含量从大到小顺序依次为: 两性腺 (14.52%)、肝胰腺 (10.26%)、肌肉 (7.53%)、卵黄腺 (2.97%), 肌肉中 Cho/DW 含量显著高于其他 3 种组织 ($P<0.05$), 卵黄腺中的 Cho/DW 含量最低, 仅为 0.16%, 肝胰腺中的 FFA/DW 显著高于其他 3 种组织 ($P<0.05$), 而两性腺中的 TG/DW 含量最高。

表 1 成体瘤背石磺的组织系数及水分含量
Tab.1 Tissue indic and water content of adult *Onchidium struma*

$\bar{X} \pm SD$; %WW

项目 Item	肌肉 Muscle	肝胰腺 Hepatopancreas	卵黄腺 Vitelline gland	两性腺 Digenetic gonad
组织系数 Tissue index	57.31 ± 6.81 ^a (n=43)	6.69 ± 1.72 ^b (n=43)	6.36 ± 2.35 ^b (n=43)	1.77 ± 0.44 ^c (n=43)
水分 Moisture	83.30 ± 2.31 ^a (n=6)	66.65 ± 2.96 ^c (n=6)	55.83 ± 2.43 ^d (n=5)	77.22 ± 1.83 ^b (n=5)
总脂 / 湿质量 TL/WW	1.48 ± 0.19 ^c (n=5)	8.23 ± 1.48 ^a (n=5)	1.65 ± 0.17 ^c (n=5)	3.98 ± 0.61 ^b (n=5)

注: 同行数据上标中不含有相同字母的代表差异显著 ($P<0.05$); “WW”为组织湿质量。

Note: Values in the same line without the same letter on the superscript are significantly different; “WW” means wet weight.

表 2 成体瘤背石磺组织总脂中的脂类组成
Tab.2 Composition of lipid class in the tissue total lipid (TL) of adult *Onchidium struma*

$\bar{X} \pm SD$; n=5; %TL

脂类成分 Lipid component	肌肉 Muscle	肝胰腺 Hepatopancreas	卵黄腺 Digenetic gonad	两性腺 Vitelline gland
磷脂 / 总脂 PL/TL	85.24 ± 3.01 ^a	41.77 ± 8.60 ^c	79.37 ± 1.62 ^b	79.32 ± 4.18 ^{ab}
胆固醇 / 总脂 Cho/TL	13.00 ± 2.20 ^a	3.36 ± 1.27 ^b	4.34 ± 0.50 ^b	4.29 ± 0.36 ^b
甘油一酰 / 总脂 MG/TL	ND	0.82 ± 0.41	ND	ND
游离脂肪酸 / 总脂 FFA/TL	1.36 ± 0.21 ^d	44.99 ± 7.58 ^a	10.99 ± 2.16 ^b	2.77 ± 0.18 ^c
甘油三酰 / 总脂 TG/TL	0.83 ± 0.51 ^d	9.06 ± 0.55 ^b	5.06 ± 0.92 ^c	12.45 ± 2.96 ^a

注: 同行数据肩标中不含有相同字母的两项间差异显著 ($P<0.05$); “ND”代表未检测出。

Note: Values in the same line without the same letter on the superscript are significantly different; “ND” means the lipid class couldn't be determined.

表 3 成体瘤背石磺组织中总脂及脂类成分含量
Tab.3 Content of total Lipid and lipid class in the tissue dry weight (DW) of adult *Onchidium struma*

$\bar{X} \pm SD$; n=5; %DW

项目 Item	肌肉 Muscle	肝胰腺 Hepatopancreas	卵黄腺 Digenetic gonad	两性腺 Vitelline gland
磷脂 / 干质量 PL/DW	7.53 ± 0.56 ^c	10.26 ± 1.85 ^b	2.97 ± 0.06 ^c	14.52 ± 1.53 ^a
胆固醇 / 干质量 Cho/DW	1.14 ± 0.18 ^a	0.83 ± 0.16 ^b	0.16 ± 0.03 ^c	0.79 ± 0.12 ^b
甘油一酰 / 干质量 MG/DW	ND	0.20 ± 0.10	ND	ND
游离脂肪酸 / 干质量 FFA/DW	0.12 ± 0.02 ^d	11.05 ± 1.86 ^a	0.37 ± 0.08 ^c	0.51 ± 0.03 ^b
甘油三酰 / 干质量 TG/DW	0.07 ± 0.05 ^c	2.13 ± 0.13 ^a	0.22 ± 0.03 ^b	2.28 ± 0.54 ^a
总脂 / 干质量 TL/DW	8.87 ± 1.13 ^b	24.57 ± 4.43 ^a	3.73 ± 0.39 ^c	18.30 ± 2.81 ^a

注: 同行数据上标中不含有相同字母的两项间差异显著 ($P<0.05$); “ND”代表未检测出; “DW”代表组织干质量。

Note: Values in the same line without the same letter on the superscript are significantly different; “ND” means the lipid class could not be determined; “DW” means tissue dry weight.

2.3 成体瘤背石磺的脂肪酸组成和含量

成体瘤背石磺的不同组织中检测出 23~26 种已知脂肪酸,表 4 为各组织中的脂肪酸百分比含量。

就饱和脂肪酸 (SFA) 而言,肝胰腺中的 C16: 0 和 C14: 0 显著高于其他 3 种组织 ($P<0.05$),故 Σ SFA 含量最高,卵黄腺中的 Σ SFA 含量次之,肌肉和两

表 4 成体石磺主要组织中的脂肪酸组成
Tab.4 Fatty acids composition of adult *Onchidium struma*

脂肪酸 Fatty acids	肌肉 Muscle	肝胰腺 Hepatopancreas	卵黄腺 Digenetic gonad	两性腺 Vitelline gland
$\bar{X} \pm \text{SD}; n=5; \%$				
C _{14: 00}	1.69±0.15 ^c	4.81±0.37 ^a	2.17±0.13 ^b	1.63±0.52 ^{bc}
C _{15: 00}	0.79±0.12 ^b	1.08±0.14 ^a	0.68±0.04 ^b	0.42±0.17 ^c
C _{16: 00}	13.44±0.47 ^d	23.93±1.84 ^a	20.76±0.56 ^b	14.55±1.15 ^c
C _{17: 00}	0.83±0.15	0.68±0.23	0.99±0.25	1.09±0.34
C _{18: 00}	7.06±0.37 ^a	4.05±0.40 ^b	3.73±0.27 ^b	6.47±0.28 ^a
C _{23: 00}	1.33±0.13 ^a	0.37±0.18 ^c	0.98±0.12 ^b	0.96±0.19 ^b
Σ SFA	25.13±0.93 ^c	34.93±3.16 ^a	29.31±0.87 ^b	25.11±0.90 ^c
C _{14: 1n7}	4.31±0.46 ^a	ND	3.44±1.06 ^a	0.56±0.29 ^b
C _{16: 1n7}	3.62±0.99 ^b	21.58±1.84 ^a	4.17±0.64 ^b	2.72±1.33 ^b
C _{16: 1n5}	0.69±0.09 ^a	0.45±0.07 ^b	0.71±0.09 ^a	0.59±0.04 ^a
C _{17: 1}	0.59±0.08 ^{ab}	0.82±0.21	0.37±0.08 ^c	0.48±0.28 ^{bc}
C _{18: 1n9}	4.84±1.95	4.24±1.81	6.57±2.02	4.48±1.85
C _{18: 1n7}	4.21±0.19 ^b	5.50±0.41 ^a	5.14±0.18 ^a	5.41±0.36 ^a
C _{20: 1n9}	5.01±0.38 ^a	3.16±0.31 ^c	3.74±0.15 ^c	4.10±0.18 ^b
C _{20: 1n7}	0.96±0.11 ^b	1.73±0.23 ^a	1.19±0.06 ^b	0.81±0.04 ^c
Σ MUFA	24.23±2.64 ^{bc}	37.49±4.87 ^a	25.25±2.34 ^b	18.96±3.27 ^c
C _{18: 2n6}	2.17±0.65 ^{ab}	2.15±0.41 ^b	3.37±0.61 ^a	3.61±0.53 ^a
C _{18: 3n6}	ND	0.16±0.08	ND	ND
C _{18: 3n4}	0.35±0.16	0.38±0.08	0.45±0.06	0.31±0.19
C _{18: 3n3}	1.24±0.31 ^a	1.14±0.25 ^a	0.63±0.12 ^b	1.00±0.16 ^a
C _{18: 4n3}	ND	0.87±0.26 ^a	0.28±0.19 ^b	ND
C _{20: 2n6}	2.79±0.18 ^b	1.08±0.15 ^c	2.50±0.26 ^b	6.30±0.85 ^a
C _{20: 3n6}	0.72±0.11	0.69±0.19	0.93±0.25	1.15±0.40
C _{20: 4n6}	6.30±0.43 ^a	2.87±0.54 ^c	4.98±0.84 ^b	4.02±1.06 ^b
C _{20: 4n3}	0.26±0.23 ^b	0.37±0.20 ^b	0.69±0.11 ^a	0.60±0.19 ^{ab}
C _{20: 5n3}	9.00±0.36 ^b	8.07±1.42 ^b	11.38±0.89 ^a	9.74±0.60 ^b
C _{22: 2n6}	2.70±0.35 ^a	1.18±0.19 ^c	1.78±0.40 ^b	1.28±0.12 ^c
C _{22: 5n3}	3.32±0.25 ^b	0.66±0.12 ^c	3.26±0.32 ^b	10.34±1.46 ^a
C _{22: 6n3}	2.15±0.18 ^b	1.47±0.30 ^c	3.12±0.33 ^a	2.16±0.32 ^b
Σ PUFA ($\geq 18: 2n$)	30.85±0.57 ^b	21.00±2.78 ^c	33.21±2.78 ^b	40.60±2.72 ^a
Σ n3PUFA	16.00±0.56 ^c	12.57±2.09 ^d	19.20±1.74 ^b	23.92±1.91 ^a
Σ n6PUFA	14.68±0.52 ^b	8.05±0.89 ^d	13.55±1.04 ^c	16.37±1.28 ^a
n3/n6	1.09±0.06 ^b	1.56±0.23 ^a	1.42±0.05 ^a	1.46±0.11 ^a
Σ HUFA ($\geq 20: 3n$)	21.76±0.83 ^b	14.11±2.35 ^c	24.19±2.49 ^{ab}	28.01±2.12 ^a
未知脂肪酸 Unknown fatty acids	19.78±2.33 ^a	6.78±1.60 ^d	12.23±1.39 ^c	15.33±3.38 ^b

注: 同行数据中上标不含有相同字母的两项间差异显著 ($P<0.05$); “ND”代表未检测出。

Note: Values in the same line without the same letter on the superscript are significantly different; “ND” means the lipid class couldn't be determined.

性腺中的百分含量最低,仅 25% 左右;就单不饱和脂肪酸 (MUFA) 而言,肝胰腺中的 $C_{16:1n7}$ 高达 21.58%, 是其他组织的 4~5 倍,其他的 MUFA 百分含量差异不大, Σ MUFA 百分含量从大到小顺序依次为: 肝胰腺 (37.49%)、卵黄腺 (25.25%)、肌肉 (24.23%)、两性腺 (18.96%);就多不饱和脂肪酸 (Σ PUFA) 而言,两性腺中的 $C_{20:2n6}$ 和 $C_{22:5n3}$ (DPA) 含量显著高于其他 3 种组织,卵黄腺中的 $C_{20:5n3}$ (EPA) 和 $C_{22:6n3}$ (DHA) 含量高于其他组织,而肌肉中的 $C_{20:4n6}$ (AA) 含量 (6.30%) 显著高于其他组织 ($P<0.05$),肝胰腺中的主要多不饱和脂肪酸 (Σ PUFA) 百分含量均低于其他组织,故 Σ PUFA 含量从大到小顺序依次为: 两性腺 (40.60%)、卵黄腺 (33.21%)、肌肉 (30.85%)、肝胰腺 (21.00%),

高度不饱和脂肪酸的总含量 (Σ HUFA) 与 Σ PUFA 含量变化类似,两性腺中的 Σ HUFA 含量高达 28.01%,是肝胰腺中含量的 2 倍。肌肉中 n3-PUFA/n6-PUFA 的比值显著低于其他组织 ($P<0.05$),而肝胰腺、卵黄腺和两性腺中的比值无显著差异 ($P>0.05$)。

由于不同组织中的总脂含量和脂肪中的总脂肪酸含量也有所不同,故本研究采用 C19:0 内标测定组织中 PUFA 和 HUFA 的绝对含量 (见表 5, mg/g 组织干重)。肝胰腺和两性腺中的 LA、AA、EPA 和 DHA 绝对含量均高于其他 2 种组织,两性腺中的 Σ PUFA 和 Σ HUFA 含量是卵黄腺中 6 倍多。此外两性腺中含有 8.14 mg/g 的 DPA,显著高于其他 3 种组织 ($P<0.05$)。

表 5 成体瘤背石磺组织中的主要多不饱和脂肪酸的含量
Tab.5 The content of main polyunsaturated fatty acids of adult *Onchidium struma*

$\bar{X} \pm SD; n=5; \text{mg/g DW}$

脂肪酸 Fatty acid	肌肉 Muscle	肝胰腺 Hepatopancreas	卵黄腺 Digenetic gonad	两性腺 Vitelline gland
$C_{18:2n6}$	0.92 ± 0.29^b	2.40 ± 0.42^a	0.75 ± 0.14^b	3.15 ± 0.45^a
$C_{18:3n3}$	0.45 ± 0.06^c	1.50 ± 0.40^a	0.12 ± 0.02^d	0.92 ± 0.13^b
$C_{20:4n6}$	2.64 ± 0.20^a	3.41 ± 0.83^{ab}	0.79 ± 0.22^c	3.70 ± 1.09^a
$C_{20:5n3}$	3.47 ± 0.06^b	8.57 ± 2.62^a	1.84 ± 0.33^c	8.37 ± 0.63^a
$C_{22:5n3}$	1.26 ± 0.08^b	0.72 ± 0.18^c	0.58 ± 0.06^c	8.14 ± 0.39^a
$C_{22:6n3}$	0.79 ± 0.07^b	1.71 ± 0.42^a	0.51 ± 0.04^c	1.86 ± 0.26^a
Σ PUFA ($\geq 18:2n$)	11.95 ± 0.24^c	25.88 ± 2.76^b	5.64 ± 0.63^d	34.24 ± 2.41^a
Σ HUFA ($\geq 20:3n$)	8.52 ± 0.35^c	15.94 ± 3.73^b	3.92 ± 0.71^d	23.74 ± 2.58^a

注: 同行数据上标中不含有相同字母的两项间差异显著 ($P<0.05$); “ND”代表未检测出; “DW”代表组织干质量。

Note: Values in the same line without the same letter on the superscript are significantly different; “ND” means the lipid class could not be determined; “DW” means tissue dry weight.

3 讨论

3.1 成体瘤背石磺的水分、总脂含量及脂类组成

肌肉为瘤背石磺最主要的可食部分,其指数高达 57.31%,成体瘤背石磺的卵黄腺和两性腺也可以食用,因此总可食部分之和 (肌肉指数、卵黄腺指数和两性腺指数之和) 为 65.44%,远高于贻贝 (*Mytilus edulis*)、栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*)、杂色蛤 (*Philippinarum Ruditapes*) 和毛蚶 (*Scapharca subcrenata*) 等常见贝类的可食部分 (20%~30%),略低于缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 的 70.1%^[18]。成体瘤背石磺肌肉中水分含量为 83% 左右,略高于绿唇鲍 (*Haliotis laevis*, 70%~74%) 和黑唇鲍 (*Haliotis rubra*, 77.4%)^[12] (但低于刺参

(*Apstichopus japonicus*) 的 90%~92%^[22]。成体瘤背石磺肝胰腺中的水分含量与绿唇鲍和黑唇鲍接近,但成体瘤背石磺两性腺中的水分含量 (77% 左右) 显著高于上述两种鲍鱼的性腺 (65%~73%)^[12]。成体瘤背石磺肝胰腺中脂肪含量 (24.57%) 远高于肌肉 (8.87%) 和卵黄腺 (3.73%),这在贝类中具有普遍性,因为肝胰腺是贝类的脂类消化吸收、代谢和储存中心^[12,15,23]。成体瘤背石磺肝胰腺中磷脂和游离脂肪酸分别占总脂的 41.77% 和 44.99%,甘油三酯仅占总脂的 9.06%,而大多数贝类肝胰腺总脂中的甘油三酯含量通常占 50% 以上,磷脂含量在 5%~30% 之间,游离脂肪酸的含量通常在 20% 以下^[15,23],造成这种差别的可能原因是野生瘤背石

磺主要生活在芦苇滩涂上,生殖季节为5~8月份,在此期间滩涂上的饵料条件比较丰富,食物中的脂类在肝胰腺中被分解成大量游离脂肪酸,这些脂肪酸通过脂蛋白被选择性运输到性腺和肌肉等组织供生长和发育用,因此肝胰腺中没有必要储存大量甘油三酯,类似的现象在凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)中也有发现^[24]。此外王金庆等^[2]对瘤背石磺的肝胰腺中的组织学研究表明,成体瘤背石磺的肝胰腺主要由消化细胞和胰腺泡组成,并没有发现可以储存甘油三酯的储存细胞^[2,25]。成体瘤背石磺的两性腺中脂肪含量(18.30%,脂肪/干质量)明显低于大海扇贝(*Pecten maximus*)^[26]、大西洋扇贝(*Nodipecten Subnodosus*)^[15]、绿唇鲍和黑唇鲍^[12]。其原因是由于瘤背石磺的生殖系统特性造成的,石磺的成熟两性腺中既可以产生精子也可以产生卵子,没有单独的精巢和卵巢,而贝类成熟卵巢中的脂肪含量远高于精巢^[12,27],故两性腺中的脂肪含量低于其他贝类的成熟卵巢^[15,22]。成体瘤背石磺肌肉干物质中总脂含量达8.87%高于绿唇鲍^[12]、大西洋扇贝^[15]、文蛤(*Meretrix meretrix*)^[16]和缢蛏^[28]等常见贝类,由于其总脂肪中的磷脂含量高达85.24%,故其干物质中的磷脂含量也高于上述贝类。

3.2 成体瘤背石磺的脂肪酸含量及其作用

瘤背石磺不同组织中的脂肪酸组成存在很大的差异,这是由于这些组织具有不同的生理功能,瘤背石磺肝胰腺中的脂肪酸组成和食物条件具有很大的相关性,这是因为贝类摄食的脂肪主要通过肝胰腺进行消化吸收^[15,22]。瘤背石磺肝胰腺中的 Σ SFA和 Σ MUFA的相对含量要高于其他3种组织,故其 Σ PUFA的相对含量最低,这是因为食物中的LA、AA、EPA和DHA等重要的PUFA被优先转运到性腺和肌肉等组织中,供应生长和性腺发育用^[12,29]。无论是相对含量(%总脂肪酸)还是绝对含量(mg/g干组织),瘤背石磺两性腺中的PUFA和HUFA均显著高于其他3种组织,特别是LA、C20:2n6和DPA这几种重要脂肪酸,这是因为性腺中PUFA的积累对于贝类的性腺发育、雌雄配子的形成、产卵和胚胎发育具有十分重要的作用,如形成细胞膜结构,调节细胞膜的离子通道和促进胚胎发育等^[30]。有研究表明,鱼类体内高含量的AA有利于增强其抗逆境能力、促进生长和提高免疫功能^[31],本研究发现,成体瘤背石磺肌肉、卵黄腺和两性腺中的AA相对含量均较高,这说明AA对

于瘤背石磺是十分重要的。

值得注意的是,与绝大多数海洋贝类相反,瘤背石磺所有组织中DHA的含量远低于EPA,这与大部分淡水和陆生贝类的脂肪酸组成比较接近^[32],这是因为瘤背石磺主要生活在河口区的低盐度芦苇滩涂上,是海洋和陆生贝类的过渡类型^[3],所以其DHA含量低于EPA。此外,瘤背石磺的肌肉、卵黄腺和两性腺中均发现了较多的DPA,特别在两性腺中含量高达10.34%。Grubert等研究发现,尽管饵料中的DPA含量较低(1.5%),但是在绿唇鲍和黑唇鲍的肌肉和精巢中具有较多的DPA(5%~10%)^[12],其含量远大于DHA的含量(0.4%~2.8%),推测认为DPA是由EPA转化而来,也有可能是由于DHA反转化而来^[12,29,30],有关DPA对瘤背石磺生长和性腺发育的作用有待进一步研究。

3.3 成体瘤背石磺的脂类和脂肪酸营养评价

尽管瘤背石磺肌肉干物质中的胆固醇含量相对较高(1%左右),由于其肌肉中含有较多的PL和PUFA,可以显著降低血液中总胆固醇(TC)的浓度,因为PUFA和PL有利于高密度脂蛋白(HDL)的形成,而HDL可以运输血液中多余的胆固醇到肝脏而排除体外,有利于人类心血管健康^[33]。所以推测认为,食用瘤背石磺不会造成人体血液中总胆固醇(TC)的含量的升高。类似的研究已在三疣梭子蟹中得到证实,尽管三疣梭子蟹卵巢中总脂含量(30%)和胆固醇含量(2%)较高,但是由于其PL和PUFA含量高,小白鼠摄食60d后并没有出现血清总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)含量升高^[34]。

瘤背石磺的肌肉和卵黄腺中的SFA:MUFA:PUFA(S:M:P)接近于1:1:1,是人体摄入的脂肪酸的理想组成^[33],此外两性腺的PUFA/SFA(P/S)值为1.51,符合医学界认为的药用膳食的脂肪酸营养标准($1.5 \leq P/S \leq 2$)^[35],所以肌肉、卵黄腺和两性腺具有较高的脂类营养价值。瘤背石磺的肝胰腺中总脂和SFA含量较高,且极易氧化的FFA含量高达44.99%,所以不适合人体食用,脂类营养价值不高。

4 小结

肌肉是瘤背石磺最主要的可食部分,卵黄腺和两性腺也可食用,因此可食部分之和(肌肉、卵黄腺和两性腺)占体质量的65.44%,肌肉和两性腺中水分含量较高(达80%左右),肝胰腺和两性腺中的脂肪含量达18%(总脂/干质量)以上。在

脂类组成中,肝胰腺中的游离脂肪酸和磷脂含量较高,占总脂的40%以上,这与其他贝类显著不同,这可能是由于瘤背石磺独特的生活习性和肝胰腺结构造成的。与大多数海洋贝类不同,瘤背石磺所有组织中的EPA均远大于DHA,属于典型的海洋和陆生贝类的过渡类型,两性腺中的PUFA和HUFA绝对含量显著高于其他组织,这说明PUFA和HUFA对于瘤背石磺的生殖过程至关重要。卵黄腺和肌肉中的脂肪酸组成平衡(S:M:P接近于1:1:1),符合人体摄入脂肪酸的理想组成,两性腺中的P/S值为1.51,符合医学界认为的药用膳食的脂肪酸营养标准($1.5 \leq P/S \leq 2$),这说明这些组织均具有极高的脂类营养价值。

参考文献:

- [1] 张媛溶,周昭曼,卢卫平,等. 上海沿海蛤蜊石磺的初步研究[C]. 贝类学论文集: 第二辑. 中国贝类学会编. 北京: 科学出版社,1986: 153.
- [2] 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.
- [3] 黄金田. 石磺及其物种保护[J]. 水产养殖,2005,26(6): 40-41.
- [4] 王金庆,成永旭,吴旭干,等. 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.
- [5] 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.
- [6] 邱立言. 苏沪沿海瘤背石磺的形态和习性[J]. 动物学杂志,1991,26(3): 33-36.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Smith A J, Kenny R. Reproduction and development of *Onchidium damelii* Semper, 1882[J]. Malac Soc Aust, 1987, 8: 37-39.
- [10] Deshpande U D, Nagabhushanam R. Annual reproductive cycle of the marine pulmonate, *Onchidium verruculatum* (Cuvier) and its control by environmental factors[J]. Indian J Mar Sci, 1983, 12(2): 122-124.
- [11] Delgado M, Pe' rez Camacho A, Labarta U, et al. The role of lipids in the gonadal development of the clam *Ruditapes decussatus* (L.) [J]. Aquaculture, 2004, 241: 395-411.
- [12] Grubert M, Dunstan G A, Ritar A J. Lipid and fatty acid composition of pre- and post-spawning blacklip (*Haliotis rubra*) and greenlip (*Haliotis laevis*) abalone conditioned at two temperatures on a formulated feed [J]. Aquaculture, 2004, 242: 297-311.
- [13] 黄晓春,刘慧慧,苏秀榕. 7种经济贝类生殖腺脂肪酸含量的研究[J]. 水产科学,2005,24(8): 20-22.
- [14] Palacios E, Racotta I S, Kraffe E, et al. Lipid composition of the Pacific lion-paw scallop, *Nodipecten (Lyropecten) subnodosus*, in relation to gametogenesis. I. Fatty acids [J]. Aquaculture, 2005, 250: 270-282.
- [15] Palacios E, Racotta I S, Arjona O, et al. Lipid composition of the Pacific lion-paw scallop, *Nodipecten subnodosus*, in relation to gametogenesis 2. Lipid classes and sterols [J]. Aquaculture, 2007, 266: 266-273.
- [16] 劳邦盛,盛国英,傅家谟,等. 5种贝类脂肪酸含量及脂肪酸组成研究[J]. 色谱,2001,19(2): 137-140.
- [17] Fredalina B D, Ridzwan B H, Zainal A. A, et al. Fatty acid compositions in local sea cucumber, *Stichopus chloronotus*, for wound healing [J]. General Pharmacology, 1999, 33: 337-340.
- [18] 林洪,吕青, Khalid Janil, 等. 贻贝等六种软体动物磷脂的比较[J]. 水产学报, 24(2): 175-179.
- [19] Folch J, Lees M, Sloane Stanley G. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. J Biol Chem, 1957, 226: 497-509.
- [20] 李铎,张永华. 棒状薄层色谱扫描仪在不同季节蟹脂类成份分析中的应用[J]. 中国食品学报, 2003, 增刊: 227-231.
- [21] Morrison W R, Smith L M. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethyl acetals from lipids with boron trifluoride-methanol [J]. J Lipid Research, 1964, 5: 600-608.
- [22] Pazos A, Sanchez J L, Roman G, et al. Seasonal changes in lipid classes and fatty acid composition in the digestive gland of *Pecten maximus* [J]. Comp Biochem Physiol, 2003, 131B: 367-380.
- [23] 李丹彤,常亚青等,陈炜,等. 獐子岛野生刺参体壁营养成分的分析[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(3): 278-282.
- [24] Wouters R, Molina C, Lavens P, et al. Lipid composition and vitamin content of wild female *Litopenaeus vannamei* in the different stages of sexual maturation [J]. Aquaculture, 2001, 198: 307-323.
- [25] 崔龙波,唐慧,刘晨临,等. 扁玉螺 (*Neverita didyma* Roding) 消化系统[J]. 烟台大学学报: 自然科学与工程版, 1999, 12(2): 123-126.
- [26] Pazos A, Roman G, Acosta C P, et al. Lipid classes and fatty acid composition in the female gonad of *Pecten maximus* [J]. Comp Biochem Physiol, 1997, 117B: 393-402.
- [27] 郑怀平,高健. 扁玉螺蛋白质、脂肪含量的季节变化[J]. 海

- 洋科学, 2002, 26 (4): 52-55.
- [28] 雷晓凌, 吴红棉, 范秀萍, 等. 缢蛏肉的化学特性及其营养液的研制 [J]. 海洋科学, 2004, 28 (12): 4-7.
- [29] Dunstan G A, Baillie H J, Barrett S M, et al. Effect of diet on the lipid composition of wild and cultured abalone [J]. Aquaculture, 1996, 140: 115-127.
- [30] 徐炜, 麦康森, 王正丽. 鲍鱼必需脂肪酸营养生理研究 [J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34 (6): 983-987.
- [31] Bell J G, Sargent J R. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities [J]. Aquaculture, 2003, 218: 491-499.
- [32] 刘玉芳. 缢蛏等贝类食品脂质脂肪酸组成分析研究 [J]. 水产科技情报, 1991, 18 (6): 179-180.
- [33] 王光慈. 食品营养学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 19-24.
- [34] 苏秀榕, 李太武, 欧阳芬, 等. 三疣梭子蟹营养成分的研究 [J]. 营养学报, 1996, 18 (3): 342-346.
- [35] 王丽梅, 陈炜, 石莹. 杂交海胆与两亲本性腺一般营养成分及脂肪酸组成的分析比较 [J]. 大连水产学院学报, 2006, 21 (3): 255-258.

Lipid class and fatty acid composition of adult *Onchidium struma*

WU Xu-gan^{1,2}, TENG Wei-ming¹, TANG Bo-ping², CHENG Yong-xu¹, YU Zhi-yong¹, ZHOU Bo¹, YANG Xiao-zhen¹

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Fisheries University, Ministry of Education, Shanghai 200090, China; 2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Coastal Wetland Bioresources and Environmental Protection, Yancheng 224002, China)

Abstract: *Onchidium struma* is a commercially important mollusk with high nutritional and pharomic value, whose natural habitat distributes on the mudflats of the intertidal zone especially in Jiangsu, Shanghai and Zhejiang. Nowadays, *O. struma* has become a very popular invigorant in East China, and there is an increasing demand for its production. However, the culture technology of all life stage of *O. struma* (broodstock, larvae and juveniles) have not been established in China. Although there are many research reports on morphological characteristics, reproductive behavior, ecological habits, embryonic development and gonadal development of *Onchidium* spp., only two studies have been conducted on proximate compositions of *O. struma*. The experiments were conducted to investigate total lipid (TL), lipid class and fatty acid composition of adult *O. strum* by GC and IAROSCAN TLC-FID. The results indicated that: (1) the muscle content of *O. struma* was 57.31%, which was higher than those of other tissue indices ($P < 0.05$). The highest total lipid/wet weight (7.89%) could be found in hepatopancreas among four tissues of *O. struma* ($P < 0.05$). (2) The lipid class of adult *O. struma* included phospholipids (PL), cholesterol (Cho), free fatty acids (FFA), triacylglycerol (TG) and monoacylglycerol (MG). The muscle had higher rate of PL/TL (85.24%). However, the percentage of PL/TL was only 41.77% in hepatopancreas. (3) The highest proportion of total saturated fatty acids ($\sum$ SFA) could be found in hepatopancreas, which had higher percent of $C_{16:0}$. However, the muscle and digenetic gonad had lower proportion of total monounsaturated fatty acids ($\sum$ MUFA) than those of other two tissues. Based on the proportion of total polyunsaturated fatty acids ($\sum$ PUFA) in those tissues, it could be ranked with the turn of digenetic gonad (40.60%) > vitelline gland (33.21%) > muscle (30.85%) > hepatopancreas (21.00%). The highest $C_{20:4n6}$ (AA) percentage could be found in muscle, while the digenetic gonad had higher proportion of $C_{22:5n3}$ (DPA) (10.34%). It was very interesting that the $C_{20:5n3}$ (EPA) content was significantly higher than $C_{22:6n3}$ (DHA) in all tissues. In conclusion, these results suggest that PL and PUFA are very vital to the gonad development of *O. struma*, and the higher content of FFA in hepatopancreas may be relevant to the lipid metabolism during the reproductive period. The muscle, vitelline gland and digenetic gonad are highly valuable food in the aspect of lipid nutrition. [Journal of Fishery Science s of China, 2008, 15 (3): 431-438]

Key words: *Onchidium struma*; adult; lipid class; fatty acid composition

Corresponding author: CHENG Yong-xu. E-mail: yxcheng@shfu.edu.cn