

文章编号: 1674-5566(2019)03-0409-10

DOI:10.12024/jsou.20181202454

雌性阿根廷滑柔鱼性腺发育阶段的脂肪酸组成及其变化

林东明^{1,2,3}, 孙程婕¹, 宣思鹏¹, 韩飞¹, 陈新军^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306; 3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 阿根廷滑柔鱼是典型的头足类, 资源生物量与其生长发育过程中营养物质积累及生殖投入密切相关。为了获知雌性阿根廷滑柔鱼性腺发育各阶段的脂肪酸组成及其变化特点, 研究采用氯仿甲醇法和气相色谱法检测分析胴体、消化腺和卵巢的脂肪酸种类及其含量。结果表明, 雌性阿根廷滑柔鱼胴体、消化腺和卵巢 3 个组织的脂肪酸均以多不饱和脂肪酸(PUFA)为主, 饱和脂肪酸(SFA)次之, 单不饱和脂肪酸(MUFA)的总含量最低。胴体组织的脂肪酸种类最全面, 共检测出 28 种脂肪酸, 消化腺和卵巢分别检测出 21 种和 17 种脂肪酸。检测发现 3 个组织中 SFA 均以 C16:0 脂肪酸最为丰富, MUFA 以 C18:1n9c 和 C20:1 脂肪酸为主, PUFA 的 DHA(C22:6n3)最丰富, EPA(C20:5n3)次之。胴体的 SFA 和 MUFA 在成熟期达到最大值, 在产卵期显著降低; 消化腺的 PUFA 保持相对稳定水平, 但是其含量显著低于胴体和卵巢; 卵巢持续积累脂肪酸, 在产卵期时 MUFA 和 PUFA 显著降低。研究表明, 雌性阿根廷滑柔鱼胴体、消化腺和性腺 3 个组织的脂肪酸种类具有组织特殊性, 而主要脂肪酸具有一致性。性腺发育过程中, 胴体的 SFA 和 MUFA 可能转化为能量供给卵巢发育, 消化腺的 PUFA 则向胴体和卵巢转移, 卵巢则持续积累脂肪酸供给卵子发生。

关键词: 阿根廷滑柔鱼; 脂肪酸; 繁殖发育; 西南大西洋

中图分类号: S 917 **文献标志码:** A

脂肪酸作为脂类的主要组成成分, 既是海洋动物必需的营养物质, 也是机体所需能量的主要来源^[1]。这些脂类在海洋动物早期生活史起着十分重要的作用, 特别是多不饱和脂肪酸中的 n-3 系列脂肪酸是胚胎发育和仔稚期生长的必需脂肪酸, 对维持细胞膜结构和机能的完整性极为重要, 直接影响补充群体的大小^[2-4]。同时, 在海洋生态系统中, 海洋动物自身合成和改造脂肪酸的能力非常有限, 尤其丧失对高不饱和脂肪酸的合成和改造能力, 只能从饵料食物中摄取并在组织中保持这些脂肪酸原来的结构形式^[5]。因此, 脂肪酸也逐渐成为海洋生态食物网物质流动追踪研究的重要生物标志法之一^[6-8]。

阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*), 隶属于头足纲(Cephalopoda)、枪形目(Teuthoidea)、柔鱼科(Ommastrephidae), 分布在西南大西洋自巴西外

海至福克兰群岛的大陆架和大陆坡海域, 并以 35°S ~ 52°S 巴塔哥尼亚陆架海域的资源量最为丰富^[9]。该种类是西南大西洋生态系统的主要种类指标, 扮演着重要的“生物泵”作用^[10], 也是世界上重要的经济型头足类, 其渔获量占西南大西洋头足类总渔获量的 87%, 平均占世界头足类总产量的 10% 以上^[11]。同时, 该种类也是我国远洋鱿钓渔业中的三大捕捞对象之一^[12]。中国远洋渔业协会鱿钓技术组数据统计显示, 近年来我国远洋鱿钓渔业中的阿根廷滑柔鱼渔获量年均在 30 万 t 以上。类似于其他柔鱼科种类, 阿根廷滑柔鱼生长快、生命周期短^[9], 在索饵育肥期间生长和性腺发育同步进行^[13]。然而, 该种类对环境波动的敏感性高, 年间生物资源量变化大^[14], 并可能与生长发育过程中的营养物质积累及生殖投入密切相关^[15-16]。目前, 研究表明 C16:0、

收稿日期: 2018-12-03 修回日期: 2019-03-08

基金项目: 国家自然科学基金(41876144, 41876141); 国家高技术研究发展计划(2012AA092303); 上海市自然科学基金(16ZR1415400); 上海海洋大学大学生创新创业训练计划(X201810264035)

作者简介: 林东明(1980—), 男, 高级工程师, 研究方向为头足类繁殖生物学。E-mail: dmlin@shou.edu.cn

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

C18: 0、C16: 1n7、C18: 1n9、C20: 4n6 (ARA)、C20: 5n3 (EPA) 和 C22: 6n3 (DHA) 等脂肪酸在头足类生长发育过程中起着重要的生理作用和能量供给作用^[17-18], 并且后三者已经被证实为头足类的必需脂肪酸^[19-20]。WAKO 等^[21] 研究发现, 阿根廷滑柔鱼的消化腺在生长发育过程中不断积累 C14: 0、C16: 0、C16: 1n7 和 C18: 1n9 等脂肪酸, 而 C18: 0、ARA 和 DHA 等含量则有所下降。但是, 引起这些脂肪酸含量变化的原因尚不清楚^[21]。因此, 研究利用脂肪酸生物标志物方法, 初步分析研究雌性阿根廷滑柔鱼性腺发育过程中不同组织的脂肪酸组成, 并从能量积累和生殖投入角度认知该种类脂肪酸积累的变化过程, 以期丰富认知该种类的生长发育, 为可持续开发利用该种群资源提供科学基础。

1 材料与方法

1.1 实验样本

阿根廷滑柔鱼样本采自西南大西洋公海远洋灯光鱿钓渔业的渔获样本, 采样时间为 2014 年 12 月至 2015 年 3 月, 采样海域为 41°31'S ~ 47°02'S、57°38'W ~ 61°05'W。样本采集后经 -30 °C 冷冻储藏后运回实验室进行分析。

1.2 样品处理分析

冷冻样本在实验室低温条件下解剖, 分别辨别雌雄及其性腺成熟度。性腺成熟划分以 ARKHIPKIN^[22] 和 ICES^[23] 性腺成熟度划分标准为基础, 结合林东明等^[24] 的方法, 共划分 I、II、III、IV、V、VI、VII 和 VIII 8 个时期。同时, 进行性腺发育的大类划分, 即 I ~ III 期为未成熟期, IV ~ VI 期为成熟期, VII 为产卵期, VIII 期为衰败期。经鉴别, 样本中未发现衰败期样本, 可能是产卵后组织衰败、活动能力丧失而无法被鱿钓渔具所捕获。

每个性腺成熟度挑选 6 尾样本用于测试分析。实验样本的平均胴长为 (202.86 ± 18.39) mm, 平均体质量为 (154.97 ± 48.51) g, 并按性腺发育的大类等级归类(表 1)。每尾样本分别剪取胴体腹部肌肉组织, 约 10 g; 摘取整个消化腺组织和整个卵巢组织。3 个组织样品置于冷冻干燥机(Christ Alpha 1-4/LDplus) -80 °C 冷冻干燥; 干燥后, 胴体组织和卵巢组织置于研磨机(Retsch MM400)中研磨粉碎。经冷冻干燥去除水分之

后, 消化腺组织为紧密黏稠态, 这与其油脂含量高密切相关, 初步分析显示其总脂肪的平均含量为干重的 36.76% ± 5.98%。为此, 消化腺组织无法置于研磨机中研磨粉碎, 将参照 PHILLIPS 等^[6] 方法, 使用研钵捣碎均匀。称取每个粉碎组织样品约 0.2 g, 用做脂肪酸测定。

表 1 阿根廷滑柔鱼脂肪酸测定样本组成
Tab. 1 Summary of *Illex argentinus* specimens used for fatty acids determination

成熟等级 Maturity stage	样本数 N/尾	胴长 Mantle length/mm	体质量 Body mass/g
未成熟 Immature	18	192.88 ± 16.32	136.81 ± 52.20
成熟期 Mature	18	215.75 ± 14.88	183.88 ± 32.97
产卵期 Spawning	6	214.20 ± 9.42	166.80 ± 34.48
总体 Pooled	42	202.86 ± 18.39	154.97 ± 48.51

组织样品脂肪酸测定分析, 按照 GB/T 22223—2008 提供的方法^[25], 用含 0.01% BHT 氯仿: 甲醇(2: 1, V/V) 溶液提取各组织样品总脂肪酸, 用三氟化硼(BF₃)-甲醇法甲酯化, 用 Agilent 7890B 气相色谱仪(GC), 搭载 5977A 氮质谱离子检测器(MSD)测定分析组织的脂肪酸。色谱条件为: 色谱柱 HP-88 (60 m × 0.25 mm × 0.20 μm), 高纯氦气为载气, 分流比为 10: 1; 进样口温度 250 °C, 柱温以 8 °C/min 从 125 °C 升到 145 °C、保持 26 min, 然后再以 2 °C/min 升至 220 °C、保持 1 min, 再以 1 °C/min 升到 227 °C、保持 1 min。质谱条件: GS-MSD 接口温度为 280 °C, Extractor I 离子源, 质量扫描范围 50 ~ 300 u。

以 37 种脂肪酸混标及内标 19 烷酸甲酯标品作为标准, 通过比对保留时间对脂肪酸进行定性分析, 采用内标法对脂肪酸进行定量分析^[25]。脂肪酸含量表示为单个脂肪酸占全部脂肪酸总量的百分比。

1.3 数据统计

实验数据结果以平均值 ± 标准差 (Mean ± SD) 表示。实验数据采用 SPSS 20.0 和 Origin 2018 等统计软件分析处理, 利用非参数 Kruskal-Wallis 卡方检验分析不同组织间、不同性腺成熟等级间的差异显著性, 并利用 Mann-Whitney 检验进行随后配对多重比较^[26]。数据分析的显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

阿根廷滑柔鱼胴体、消化腺和卵巢 3 个组织

共检测出 28 种脂肪酸,起始碳链长度在 14 碳 ~ 24 碳之间(表 2 ~ 4)。其中,饱和脂肪酸(SFA) 10 种,单不饱和脂肪酸(MUFA) 7 种,多不饱和脂肪酸(PUFA) 11 种。胴体组织的脂肪酸最全面,包含所有测定的 28 种脂肪酸,消化腺组织检测脂肪酸 21 种,卵巢组织检测脂肪酸 17 种。此外,各组织均以 PUFA 为主,SFA 次之,MUFA 含量最低。

2.1 未成熟期的各组织脂肪酸组成

胴体、消化腺和卵巢的 SFA 含量分别为

24.85% ± 2.66%、27.79% ± 3.64% 和 25.57% ± 3.83%,组织间不存在显著差异性($\chi^2 = 5.81$, $P > 0.05$)(表 2)。在检测的 SFA 中,3 组织均以 C16:0 的含量最丰富,胴体、消化腺和卵巢中的含量分别为 16.99% ± 2.72%、20.7% ± 3.98% 和 18.8% ± 2.84%,组织间的差异性显著($\chi^2 = 6.58$, $P < 0.05$)。卵巢中的 C18:0 含量显著高于胴体和消化腺($P < 0.05$),消化腺的 C14:0 脂肪酸含量显著高于胴体和卵巢($P < 0.05$)。

表 2 阿根廷滑柔鱼未成熟期的不同组织脂肪酸组成

Tab. 2 Fatty acid profiles of different tissues in immature *Illex argentinus*

脂肪酸 Fatty acid	胴体 Mantle/%	消化腺 Digestive gland/%	卵巢 Ovary/%	χ^2	P
C14:0	1.20 ± 0.57 ^a	2.62 ± 0.97 ^b	0.72 ± 0.33 ^a	24.45	0.000
C15:0	0.52 ± 0.15 ^b	0.39 ± 0.21 ^b	0.09 ± 0.11 ^a	14.83	0.001
C16:0	16.99 ± 2.72 ^a	20.70 ± 3.98 ^b	18.80 ± 2.84 ^{ab}	6.58	0.037
C17:0	0.46 ± 0.10 ^b	0.55 ± 0.20 ^b	0.29 ± 0.11 ^a	13.87	0.001
C18:0	4.25 ± 1.19 ^a	3.38 ± 1.78 ^a	5.91 ± 2.17 ^b	11.79	0.003
C20:0	0.46 ± 0.21	-	-	-	-
C21:0	0.42 ± 0.21	-	-	-	-
C22:0	0.27 ± 0.13	-	-	-	-
C23:0	0.19 ± 0.09	-	-	-	-
C24:0	0.11 ± 0.05	-	-	-	-
ΣSFA	24.85 ± 2.66 ^a	27.79 ± 3.64 ^a	25.57 ± 3.83 ^a	5.81	0.055
C16:1n7	0.85 ± 0.53 ^a	3.70 ± 2.04 ^b	0.26 ± 0.19 ^a	33.78	0.000
C17:1n7	0.13 ± 0.08	-	-	-	-
C18:1n9t	0.29 ± 0.14 ^b	0.03 ± 0.02 ^a	-	11.25	0.001
C18:1n9c	2.50 ± 1.98 ^a	10.09 ± 3.03 ^b	4.29 ± 2.42 ^a	29.23	0.000
C20:1	2.90 ± 1.12 ^a	2.88 ± 3.94 ^a	4.65 ± 1.10 ^b	15.69	0.000
C22:1n9	0.29 ± 0.09 ^b	0.10 ± 0.10 ^a	-	8.60	0.003
C24:1n9	0.17 ± 0.06	-	-	7.36	0.007
ΣMUFA	7.13 ± 3.28 ^a	16.11 ± 4.87 ^b	9.14 ± 2.90 ^a	22.96	0.000
C18:2n6t	0.88 ± 0.47 ^a	0.54 ± 0.29 ^a	1.49 ± 1.73 ^b	6.74	0.034
C18:2n6c	0.60 ± 0.31 ^a	1.56 ± 0.96 ^b	0.24 ± 0.16 ^a	30.47	0.000
C18:3n6	0.41 ± 0.20 ^b	0.10 ± 0.09 ^a	-	15.56	0.000
C18:3n3	0.58 ± 0.27 ^b	0.90 ± 0.53 ^b	0.08 ± 0.15 ^a	14.79	0.001
C20:2	0.61 ± 0.25 ^b	0.25 ± 0.18 ^a	0.33 ± 0.18 ^a	16.51	0.000
C20:3n6	0.25 ± 0.12	0.04 ± 0.01	-	5.15	0.023
C20:3n3	1.58 ± 0.60 ^b	0.66 ± 0.50 ^a	0.54 ± 0.47 ^a	18.65	0.000
C20:4n6 (ARA)	1.70 ± 0.67 ^a	1.22 ± 0.44 ^a	3.30 ± 2.95 ^b	13.01	0.001
C22:2n6	2.42 ± 1.56 ^a	3.70 ± 0.86 ^b	4.13 ± 1.58 ^b	14.43	0.001
C20:5n3 (EPA)	12.56 ± 1.23 ^a	12.85 ± 2.13 ^a	17.33 ± 6.01 ^b	10.23	0.006
C22:6n3 (DHA)	46.42 ± 6.29 ^b	34.57 ± 6.19 ^a	38.21 ± 7.05 ^a	19.37	0.000
ΣPUFA	68.02 ± 4.16 ^b	56.10 ± 6.74 ^a	65.29 ± 4.25 ^b	23.32	0.000

注:“-”表示未检测到,各组平均值中标示的不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

Notes:“-” indicates undetected, mean values with different scripts represent significant differences ($P < 0.05$)

在检测的 MUFA 中,3 个组织均以 C18:1n9c 和 C20:1 为主。消化腺的 C18:1n9c 含量显著高于胴体和卵巢($P < 0.05$),其含量为 10.09% ± 3.03%,而胴体和卵巢的含量分别为 2.50% ± 1.98% 和 4.29% ± 2.42%。C20:1 的含量以卵巢最高($P < 0.05$),为 4.65% ± 1.10%。消化腺

的 MUFA 总含量显著高于胴体和卵巢($P < 0.05$),胴体和卵巢的含量差异不显著($P > 0.05$)。

胴体和卵巢的 PUFA 总含量没有显著性差异($P > 0.05$),消化腺的 PUFA 总含量最低($P < 0.05$,表 2)。在检测的 PUFA 中,C22:6n3 (DHA)

的含量在3个组织中最为丰富, C20:5n3 (EPA) 的含量次之。胴体、消化腺和卵巢中的 DHA 含量分别为 $46.42\% \pm 6.29\%$ 、 $34.57\% \pm 6.19\%$ 和 $38.21\% \pm 7.05\%$, 胴体的含量显著高于消化腺和卵巢 ($P < 0.05$)。EPA 含量以卵巢组织最高, 为 $17.33\% \pm 6.01\%$, 显著高于胴体和消化腺 ($P < 0.05$)。此外, 卵巢的 C20:4n6 (ARA) 含量也显著高于胴体和消化腺 ($P < 0.05$), 为 $3.30\% \pm 2.95\%$ 。

2.2 成熟期各组织的脂肪酸组成

成熟期阿根廷滑柔鱼胴体的 SFA 总含量比

未成熟期有所增加 ($P < 0.05$), 消化腺的 SFA 总含量显著低于未成熟期 ($P < 0.05$), 卵巢的 SFA 总含量则保持相对一致的水平 ($P > 0.05$); 3 个组织中胴体的 SFA 含量显著高于消化腺和卵巢 ($P < 0.05$, 表 3)。在检测的 SFA 中, C16:0 仍然是 3 个组织中含量最高的脂肪酸, 胴体、消化腺和卵巢中的含量分别为 $19.71\% \pm 3.39\%$ 、 $17.39\% \pm 3.33\%$ 和 $19.42\% \pm 4.54\%$, 胴体和卵巢的含量显著高于消化腺 ($P < 0.05$); 并且胴体和卵巢的 C16:0 含量均比未成熟期有所增加, 而消化腺的 C16:0 含量则下降显著 ($P < 0.05$)。

表 3 阿根廷滑柔鱼成熟期的不同组织脂肪酸组成

Tab. 3 Fatty acid profiles of different tissues in mature *Illex argentinus*

脂肪酸 Fatty acid	胴体 Mantle/%	消化腺 Digestive gland/%	卵巢 Ovary/%	χ^2	<i>P</i>
C14:0	1.12 ± 0.38 ^a	1.62 ± 0.86 ^a	1.17 ± 0.21 ^a	2.12	0.347
C15:0	0.50 ± 0.11 ^b	0.39 ± 0.45 ^b	0.06 ± 0.04 ^a	18.16	0.000
C16:0	19.71 ± 3.39 ^b	17.39 ± 3.33 ^a	19.42 ± 4.54 ^b	6.66	0.036
C17:0	0.42 ± 0.09 ^{ab}	0.52 ± 0.34 ^b	0.28 ± 0.09 ^a	8.26	0.016
C18:0	4.76 ± 1.52 ^b	3.15 ± 1.17 ^a	4.26 ± 1.03 ^{ab}	10.76	0.005
C20:0	0.43 ± 0.13	-	-	-	-
C21:0	0.39 ± 0.13	-	-	-	-
C22:0	0.25 ± 0.08	-	-	-	-
C23:0	0.18 ± 0.06	-	-	-	-
C24:0	0.10 ± 0.03	-	-	-	-
ΣSFA	27.87 ± 4.11 ^b	23.07 ± 4.59 ^a	25.19 ± 5.75 ^b	7.21	0.027
C16:1n7	0.99 ± 0.46 ^a	2.45 ± 1.41 ^b	0.54 ± 0.20 ^a	16.22	0.000
C17:1n7	0.13 ± 0.04	-	-	-	-
C18:1n9t	0.27 ± 0.08	0.06 ± 0.05	-	13.36	0.000
C18:1n9c	3.03 ± 1.72 ^a	14.90 ± 2.70 ^c	5.39 ± 1.69 ^b	27.01	0.000
C20:1	2.88 ± 0.62 ^{ab}	2.14 ± 1.12 ^a	3.53 ± 0.61 ^b	10.62	0.005
C22:1n9	0.32 ± 0.06	0.16 ± 0.09	-	7.62	0.006
C24:1n9	0.18 ± 0.04	-	-	2.63	0.105
ΣMUFA	7.81 ± 2.31 ^a	19.41 ± 2.49 ^b	9.46 ± 2.20 ^a	25.44	0.000
C18:2n6t	0.78 ± 0.32 ^b	0.46 ± 0.18 ^a	0.31 ± 0.08 ^a	16.33	0.000
C18:2n6c	0.62 ± 0.21 ^a	1.50 ± 0.85 ^b	0.25 ± 0.12 ^a	21.56	0.000
C18:3n6	0.39 ± 0.11 ^b	0.22 ± 0.08 ^a	-	7.05	0.008
C18:3n3	0.54 ± 0.21 ^b	0.50 ± 0.47 ^b	0.12 ± 0.08 ^a	11.75	0.003
C20:2	0.55 ± 0.13 ^b	0.37 ± 0.21 ^a	0.22 ± 0.13 ^a	15.76	0.000
C20:3n6	0.24 ± 0.07 ^b	0.06 ± 0.08 ^a	-	4.94	0.026
C20:3n3	1.23 ± 0.38 ^b	0.80 ± 0.48 ^{ab}	0.47 ± 0.24 ^a	13.58	0.001
C20:4n6 (ARA)	1.41 ± 0.28 ^b	0.97 ± 0.28 ^a	1.32 ± 0.33 ^b	11.23	0.004
C22:2n6	1.85 ± 1.01 ^a	3.40 ± 0.92 ^b	2.80 ± 0.31 ^b	13.93	0.001
C20:5n3 (EPA)	14.13 ± 2.77 ^a	13.82 ± 2.53 ^a	14.68 ± 2.36 ^a	1.14	0.567
C22:6n3 (DHA)	42.59 ± 5.14 ^b	35.89 ± 3.02 ^a	45.29 ± 6.48 ^b	17.52	0.000
ΣPUFA	64.33 ± 4.65 ^b	57.52 ± 5.39 ^a	65.35 ± 7.52 ^b	13.26	0.001

注:“-”表示未检测到,各组平均值中标示的不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Notes:“-” indicates undetected, mean values with different scripts represent significant differences ($P < 0.05$)

性腺成熟期,3 个组织中消化腺的 MUFA 总含量仍为最高($P < 0.05$),为 $19.41\% \pm 2.49\%$ (表 3)。此时期,消化腺的 C18:1n9c 增加显著($P < 0.05$),为 $14.90\% \pm 2.70\%$ (表 3),并且显著高于胴体和卵巢的含量($P < 0.05$)。胴体、消化腺和卵巢的 C20:1 含量均有所下降,但仍以卵巢的 C20:1 为最高($P < 0.05$),为 $3.53\% \pm 0.61\%$ 。

与未成熟期比较,胴体的 PUFA 总含量有所下降($P < 0.05$),消化腺和卵巢的 PUFA 总含量则没有显著变化($P > 0.05$)。此时期,卵巢的 DHA 含量增加显著($P < 0.05$),消化腺的 DHA 含量显著低于胴体和卵巢($P < 0.05$),且卵巢的 DHA 含量在 3 个组织中最高。胴体、消化腺和卵巢 3 个组织的 EPA 含量不存在显著性差异($\chi^2 = 1.14, P = 0.567$);但是卵巢的 EPA 含量与未成熟期时相一致,在 3 组织中含量最高。此外,卵巢的 ARA 含量与未成熟期相比较下降显著($P < 0.05$)。

2.3 产卵期各组织的脂肪酸组成

产卵期,卵巢的 SFA 总含量显著增加($P < 0.05$),而消化腺和胴体的 SFA 总含量则比成熟期有所降低;3 个组织中,卵巢的 SFA 总含量最高($P < 0.05$),为 $27.79\% \pm 2.82\%$ (表 4)。在检测的 SFA 中,C16:0 仍然是 3 个组织中含量最为丰富的脂肪酸,卵巢的 C16:0 含量达到最高值($P < 0.05$),为 $21.41\% \pm 3.06\%$ 。

与成熟期相比较,消化腺、胴体和卵巢的 MUFA 总含量则均有所下降,3 个组织中消化腺的 MUFA 总含量仍然为最高($P < 0.05$),为 $18.26\% \pm 2.91\%$ 。消化腺、胴体和卵巢 3 个组织的 C18:1n9c 含量均有所下降,且胴体的 C18:1n9c 含量下降明显($P < 0.05$)。此外,消化腺的 C20:1 含量增加显著($P < 0.05$),其含量也是 3 个组织中最高($P < 0.05$),为 $8.28\% \pm 0.66\%$ (表 4)。

产卵期,卵巢的 PUFA 总含量下降明显($P < 0.05$),消化腺的 PUFA 总含量显著低于胴体和卵巢($P < 0.05$),为 $59.97\% \pm 4.99\%$ 。与成熟期相比较,消化腺的 EPA 和 DHA 含量均增加显著($P < 0.05$);胴体的 EPA 含量有所下降,而 DHA 含量则增加明显($P < 0.05$);卵巢的 EPA 和 DHA 的含量则略有下降但不显著($P > 0.05$)。3 个组织中胴体的 DHA 含量最高($P < 0.05$),为

$47.53\% \pm 3.25\%$;消化腺的 EPA 含量最丰富($P < 0.05$),为 $16.27\% \pm 2.11\%$ 。

3 讨论

一般地,头足类的胚胎和仔稚鱼生长发育所需的脂肪酸依赖于卵内的内源性储备^[27-28],因此亲体的脂肪酸水平对于胚胎和仔稚鱼的存活至关重要。在本研究中,阿根廷滑柔鱼胴体、消化腺和卵巢的脂肪酸均以多不饱和脂肪酸(PUFA)为主,饱和脂肪酸(SFA)次之,单不饱和脂肪酸(MUFA)的总含量最低。这与蛸类、乌贼类等种类^[29-30]的饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸等之间的总含量组成相一致,说明这些头足类对脂肪酸种类具有相类似的保留能力。同时,胴体的脂肪酸种类最全面,而卵巢的脂肪酸种类仅检测出 17 种,这可能是这些种类对脂肪酸的保留具有组织特殊性所致,因为胴体组织的脂肪酸更多地起着能量存储和重要结构组分的作用^[31],而卵巢对脂肪酸的积累则更多地用于卵子发生及随后胚胎的正常发育和随后仔鱼存活等^[32]。

头足类的性腺发育滞后于个体生长,但是性腺发育开始之后卵巢中的各类营养物质会比较快速地积累,从而导致这些营养物质在不同组织之间重新投入分配^[33]。通常,SFA 和 MUFA 脂肪酸被认为是海洋动物优先选择并氧化供给能量的脂肪酸种类^[34]。研究显示,在未成熟期,胴体、消化腺和卵巢 3 个组织的 SFA 总含量没有显著性差异,MUFA 总含量以消化腺最高。随着性腺发育,胴体的 SFA 总含量和 MUFA 总含量在成熟期达到最大值,随后在产卵期下降,并且 SFA 总含量在成熟期时显著高于消化腺和卵巢。消化腺的 SFA 总含量不断减少,在产卵期时显著低于胴体和卵巢;MUFA 总含量增加显著并在产卵期时维持相当水平,并且在每个发育时期的总含量均显著高于胴体和卵巢。卵巢的 SFA 总含量在产卵期时达到最大值,并显著高于胴体和消化腺;MUFA 总含量则维持着稳定水平。结合雌性阿根廷滑柔鱼性腺发育成熟后逐渐停止摄食行为^[15, 35]和卵子间歇性批次成熟^[36-37]等生活史特点,该种类的胴体组织很可能在产卵前不断积累 SFA 和 MUFA,并在产卵期间转化为能量用于配子成熟和繁殖产卵活动。消化腺作为脂类最为

丰富的组织器官^[38],则可能因为摄食行为逐渐变弱导致其脂类及脂肪酸含量降低,与此同时所积累的能量也逐渐投入肌肉组织及性腺发育。卵

巢则持续积累 SFA 和 MUFA 以投入配子发生及其成熟,为后续配子的正常发育及前期仔鱼的存活提供必需的能量存储^[17-18, 39]。

表 4 阿根廷滑柔鱼产卵期不同组织的脂肪酸组成
Tab. 4 Fatty acid profiles of different tissues in spawning *Illex argentinus*

脂肪酸 Fatty acid	胴体 Mantle/%	消化腺 Digestive gland/%	卵巢 Ovary/%	χ^2	P
C14:0	1.03 ± 0.19 ^a	1.79 ± 0.87 ^a	1.03 ± 0.41 ^a	1.30	0.522
C15:0	0.43 ± 0.04 ^b	0.23 ± 0.22 ^a	0.05 ± 0.04 ^a	7.63	0.022
C16:0	17.94 ± 4.80 ^a	15.16 ± 2.09 ^a	21.41 ± 3.06 ^b	5.20	0.022
C17:0	0.45 ± 0.05 ^{ab}	0.52 ± 0.17 ^b	0.29 ± 0.10 ^a	5.80	0.045
C18:0	3.98 ± 2.26 ^a	3.27 ± 0.47 ^a	5.01 ± 1.59 ^a	5.57	0.062
C20:0	0.36 ± 0.04	-	-	-	-
C21:0	0.85 ± 1.17	-	-	-	-
C22:0	0.22 ± 0.02	-	-	-	-
C23:0	0.15 ± 0.02	-	-	-	-
C24:0	0.09 ± 0.01	-	-	-	-
ΣSFA	25.5 ± 4.31 ^{ab}	21.76 ± 2.88 ^a	27.79 ± 2.82 ^b	6.23	0.043
C16:1n7	0.55 ± 0.05 ^a	1.47 ± 0.65 ^b	0.22 ± 0.07 ^a	9.29	0.010
C17:1n7	0.07 ± 0.06	-	-	-	-
C18:1n9t	1.01 ± 1.76 ^b	0.01 ± 0.01 ^a	-	3.75	0.043
C18:1n9c	1.49 ± 0.74 ^a	11.82 ± 3.12 ^b	4.39 ± 0.86 ^a	11.57	0.003
C20:1	2.72 ± 1.41 ^a	8.28 ± 0.66 ^b	3.94 ± 0.74 ^a	7.48	0.024
C22:1n9	0.28 ± 0.05	-	-	-	-
C24:1n9	0.15 ± 0.03	-	-	-	-
ΣMUFA	6.26 ± 0.99 ^a	18.26 ± 2.91 ^b	8.55 ± 0.36 ^a	11.57	0.003
C18:2n6t	0.87 ± 0.40 ^b	0.65 ± 0.07 ^{ab}	0.39 ± 0.04 ^a	8.28	0.016
C18:2n6c	0.47 ± 0.17 ^{ab}	0.84 ± 0.54 ^b	0.11 ± 0.03 ^a	8.46	0.015
C18:3n6	0.34 ± 0.05	-	-	-	-
C18:3n3	0.39 ± 0.05 ^b	0.20 ± 0.28 ^{ab}	0.03 ± 0.03 ^a	5.22	0.033
C20:2	0.48 ± 0.09 ^b	0.26 ± 0.16 ^a	0.24 ± 0.09 ^a	7.24	0.027
C20:3n6	0.26 ± 0.15	-	-	2.14	0.143
C20:3n3	1.00 ± 0.16	-	0.24 ± 0.19	6.40	0.041
C20:4n6 (ARA)	1.34 ± 0.12 ^a	1.26 ± 0.39 ^a	1.45 ± 0.11 ^a	2.69	0.260
C22:2n6	1.86 ± 1.06 ^a	2.29 ± 0.57 ^b	2.74 ± 0.21 ^b	6.90	0.032
C20:5n3 (EPA)	13.69 ± 0.79 ^a	16.27 ± 2.11 ^b	13.62 ± 1.49 ^a	5.85	0.048
C22:6n3 (DHA)	47.53 ± 3.25 ^b	38.15 ± 5.61 ^a	44.91 ± 2.47 ^{ab}	6.54	0.038
ΣPUFA	68.23 ± 3.87 ^b	59.97 ± 4.99 ^a	63.66 ± 3.01 ^{ab}	5.16	0.036

注:“-”表示未检测到,各组平均值中标示的不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

Notes:“-” indicates undetected, mean values with different scripts represent significant differences ($P < 0.05$)

同时研究显示,阿根廷滑柔鱼胴体、消化腺和卵巢 3 个组织的 SFA 和 MUFA 主要脂肪酸具有一致性,其中:SFA 以 C16:0 的含量最为丰富,C18:0 含量次之;MUFA 以 C18:1n9c 和 C20:1 的含量最为丰富。这说明阿根廷滑柔鱼对这些脂肪酸具有较强的选择性保留能力,并可能与这些脂肪酸的脂类特性有关。C16:0 和 C18:0 分别是头足类卵磷脂(Phosphatidylcholine)和磷脂酰丝氨酸(Phosphatidylserine)的主要成分,而 C18:1n9 则是中性脂肪甲酯化的重要脂肪酸^[40]。此外,

WAKO 等^[21]曾报道 C16:0 是阿根廷滑柔鱼最基本的脂肪酸,这些个体对该脂肪酸具有一定的自我生物合成能力,并且可以对 C16:0 的碳链进行延长和去饱和以合成 C18:1n9 脂肪酸。因此,这种自我生物合成转化也可能是阿根廷滑柔鱼 MUFA 中具有较高 C18:1n9 含量的原因之一。

多不饱和脂肪酸,尤其是高不饱和脂肪酸被认为是海洋鱼类和头足类的必需脂肪酸,在促进个体的生长发育及其存活等方面起着重要的作用^[2-4]。一般认为,海洋动物缺乏对这类多不饱

和脂肪酸的自我生物合成能力或者合成能力很弱,必须从食物中获取^[5]。研究显示,随着性腺发育,阿根廷滑柔鱼胴体、消化腺和卵巢 3 个组织均以 PUFA 最为丰富。但是,组织间 PUFA 统计分析显示,不同发育时期消化腺的 PUFA 总含量均低于胴体和卵巢。在头足类中,消化腺是食性脂肪、脂肪酸的重要暂存器官^[6-7, 41],具有向其它器官组织输送食性脂肪、脂肪酸的功能作用^[42]。因此,消化腺 PUFA 总含量较低的原因可能是其向胴体、卵巢输送所致,而胴体、卵巢随着性腺发育则不断积累这类脂肪酸。然而,具体原因仍需后续的深入比对研究。同时,值得注意的是,卵巢的 PUFA 总含量进入产卵期后有所下降且显著。这可能说明卵巢的 PUFA 已经逐步地转移给卵子发生,而卵子成熟后逐渐排入输卵管且可能批次排出体外完成授精活动^[36-37]。

在多不饱和脂肪酸中,DHA、EPA 和 ARA 已经被证实为头足类的必需脂肪酸^[19-20]。为此,这 3 类脂肪酸往往也是头足类优先积累存储的脂肪酸^[19-20]。研究显示,胴体、消化腺和卵巢的多不饱和脂肪酸在每个性腺发育时期均以 DHA 含量最为丰富,EPA 含量次之,说明阿根廷滑柔鱼对这 2 类脂肪酸的需求比较大且优先选择积累保存。该研究结果与其他蛸类、乌贼类等^[29-30]相一致。同时研究发现,卵巢在性腺未成熟期和成熟期的 DHA 和 EPA 含量均高于胴体和消化腺,这应该是卵巢中不断积累 DHA 和 EPA 含量以形成高质量的配子,为后续胚胎和仔鱼的顺利发育提供营养保障^[43]。此外,胴体、消化腺和卵巢的 ARA 含量相对较低,则可能是因为 ARA 和 EPA 两者存在一定的竞争性关系^[44],且两者均是生物体内被称为类二十烷酸酯的一类具有重要生理活性物质的前导物^[31]。

综上所述,阿根廷滑柔鱼胴体、消化腺和卵巢 3 个组织的脂肪酸组成均以 PUFA 为主,SFA 次之,MUFA 的总含量最低。在检测的脂肪酸中,胴体的脂肪酸种类最全面,而卵巢的脂肪酸种类仅检测出 17 种,说明各组织对脂肪酸的积累保留具有组织特殊性。但是,各组织的主要脂肪酸具有一致性:SFA 以 C16:0 脂肪酸最为丰富,C18:0 次之;MUFA 以 C18:1n9c 和 C20:1 脂肪酸为主;PUFA 的 DHA 占比最高,EPA 占比次之。在产卵前,胴体组织持续积累 SFA 和 MUFA,并

可能在产卵期间转化为能量用于配子成熟和繁殖产卵活动。消化腺组织则可能因为摄食行为逐渐减弱导致摄食脂类及其脂肪酸也随之减少,与此同时所积累的能量逐渐投入肌肉组织及性腺发育等,致使其 SFA 总含量随着性腺发育逐渐减少。卵巢组织持续积累 SFA 和 MUFA,可能为配子的正常发育及前期仔鱼的存活提供必需的能量存储。在性腺发育各个阶段,消化腺的 PUFA 总含量均低于胴体和卵巢,有可能是该组织积累的 PUFA 比较快速地向胴体和卵巢转移所致;进入产卵期,卵巢的 PUFA 则可能逐渐地转移给卵子发生。然而,值得注意的是,脂肪酸是重要的营养物质和能量物质,并且在海洋捕食者体内具有保守性和保存性^[5],为此今后仍需要加强对阿根廷滑柔鱼特征脂肪酸的筛选研究,并结合胃含物及胃含物脂肪酸分析,以深入了解该种类能量来源及其积累过程,丰富认知该种类的基础生物学,为可持续开发利用该种群资源提供科学基础。

参考文献:

- [1] LEE R F, NEVENZEL J C, PAFFENHÖFER G A. Importance of wax esters and other lipids in the marine food chain: Phytoplankton and copepods [J]. *Marine Biology*, 1971, 9 (2): 99-108.
- [2] KJØRSVIK E, MANGOR-JENSEN A, HOLMEFJORD I. Egg quality in fishes [J]. *Advances in Marine Biology*, 1990, 26: 71-113.
- [3] SARGENT J R, BELL J G, BELL M V, et al. Requirement criteria for essential fatty acids [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 1995, 11(3/4): 183-198.
- [4] 高淳仁, 雷霖霖. 不同脂肪源对真鲷幼鱼生长、存活及体内脂肪酸组成的影响 [J]. *中国水产科学*, 1999, 6(3): 55-60.
GAO C R, LEI J L. Effects of different lipids on growth, survival and tissue fatty acid composition of juvenile *Pagrosomus major* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, 6(3): 55-60.
- [5] IVERSON S J. Tracing aquatic food webs using fatty acids: from qualitative indicators to quantitative determination [M]//KAINZ M, BRETT M T, ARTS M T. *Lipids in Aquatic Ecosystems*. New York: Springer, 2009: 281-308.
- [6] PHILLIPS K L, JACKSON G D, NICHOLS P D. Predation on myctophids by the squid *Moroteuthis ingens* around Macquarie and Heard Islands: stomach contents and fatty acid analyses [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 215: 179-189.
- [7] PHILLIPS K L, NICHOLS P D, JACKSON G D. Lipid and

- fatty acid composition of the mantle and digestive gland of four Southern Ocean squid species; implications for food-web studies[J]. *Antarctic Science*, 2002, 14(3): 212-220.
- [8] 黄亮, 吴莹, 张经. 脂肪酸标志水生生态系统营养关系的研究[J]. *海洋科学*, 2009, 33(3): 93-96.
HUANG L, WU Y, ZHANG J. Studies on nutrient relation of aquatic ecosystem using fatty acids[J]. *Marine Sciences*, 2009, 33(3): 93-96.
- [9] RODHOUSE P G K, ARKHIPKIN A I, LAPTIKHOVSKY V, et al. *Illex argentinus*, argentine shortfin squid [J]. *Advances in Squid Biology, Ecology and Fisheries. Part II*, 2013, 23(4): 109-148.
- [10] ARKHIPKIN A I. Squid as nutrient vectors linking Southwest Atlantic marine ecosystems[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2013, 95: 7-20.
- [11] FAO. Review of the state of world marine fishery resources [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- [12] 陈新军, 陆化杰, 刘必林, 等. 大洋性柔鱼类资源开发现状及可持续利用的科学问题[J]. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(5): 831-840.
CHEN X J, LU H J, LIU B L, et al. Current exploitation and some scientific issues in the sustainable utilization of Ommastrephidae[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(5): 831-840.
- [13] ARKHIPKIN A. Age, growth, stock structure and migratory rate of pre-spawning short-finned squid *Illex argentinus* based on statolith ageing investigations [J]. *Fisheries Research*, 1993, 16(4): 313-338.
- [14] CHIU T Y, CHIU T S, CHEN C S. Movement patterns determine the availability of Argentine shortfin squid *Illex argentinus* to fisheries[J]. *Fisheries Research*, 2017, 193: 71-80.
- [15] 林东明, 陈新军, 魏嫣然, 等. 阿根廷滑柔鱼雌性个体肌肉和性腺组织能量积累及其生殖投入[J]. *水产学报*, 2017, 41(1): 70-80.
LIN D M, CHEN X J, WEI Y R, et al. Energy accumulation of both somatic and reproductive tissues and its allocation to reproduction in Argentinean short-fin squid (*Illex argentinus*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(1): 70-80.
- [16] LIN D M, CHEN X J, WEI Y R, et al. The energy accumulation of somatic tissue and reproductive organs in post-recruit female *Illex argentinus* and the relationship with sea surface oceanography [J]. *Fisheries Research*, 2017, 185: 102-114.
- [17] GARCÍA-GARRIDO S, HACHERO-CRUZADO I, GARRIDO D, et al. Lipid composition of the mantle and digestive gland of *Octopus vulgaris* juveniles (Cuvier, 1797) exposed to prolonged starvation [J]. *Aquaculture International*, 2010, 18(6): 1223-1241.
- [18] GARCÍA S, DOMINGUES P, NAVARRO J C, et al. Growth, partial energy balance, mantle and digestive gland lipid composition of *Octopus vulgaris* (Cuvier, 1797) fed with two artificial diets [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17(2): e174-e187.
- [19] MONROIG Ó, GUINOT D, HONTORIA F, et al. Biosynthesis of essential fatty acids in *Octopus vulgaris* (Cuvier, 1797): Molecular cloning, functional characterisation and tissue distribution of a fatty acyl elongase [J]. *Aquaculture*, 2012, 360-361: 45-53.
- [20] REIS D B, ACOSTA N G, ALMANSA E, et al. In vivo metabolism of unsaturated fatty acids in *Octopus vulgaris* hatchlings determined by incubation with ¹⁴C-labelled fatty acids added directly to seawater as protein complexes [J]. *Aquaculture*, 2014, 431: 28-33.
- [21] WAKO Y, ISHIKAWA S, NAKAYA H. Comparison of fatty acids in liver lipids from various sizes of squid (*Illex argentinus*) [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 1993, 57(12): 2181-2183.
- [22] ARKHIPKIN A I. Reproductive system structure, development and function in cephalopods with a new general scale for maturity stages [J]. *Journal of northwest Atlantic Fishery Science*, 1992, 12: 63-74.
- [23] ICES. Report of the workshop on sexual maturity staging of cephalopods (WKMSCEPH) [R]. Livorno, Italy: ICES, 2010: 14-17.
- [24] 林东明, 陈新军, 方舟. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼夏季产卵种群繁殖生物学的初步研究[J]. *水产学报*, 2014, 38(6): 843-852.
LIN D M, CHEN X J, FANG Z. Preliminary study on reproductive biology of summer spawning stock of *Illex argentinus* in the southwestern Atlantic Ocean [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(6): 843-852.
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 22223—2008 食品中总脂肪、饱和脂肪(酸)、不饱和脂肪(酸)的测定 水解提取-气相色谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-16.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 22223 - 2008 Determination of total fat saturated fat and unsaturated fat in foods-Hydrolytic extraction-Gas chromatography[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 1-16.
- [26] ZAR J H. Biostatistical analysis[M]. 4th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- [27] NAVARRO J C, VILLANUEVA R. Lipid and fatty acid composition of early stages of cephalopods: an approach to their lipid requirements [J]. *Aquaculture*, 2000, 183(1/2): 161-177.
- [28] NAVARRO J C, VILLANUEVA R. The fatty acid composition of *Octopus vulgaris* paralarvae reared with live and inert food: deviation from their natural fatty acid profile [J]. *Aquaculture*, 2003, 219(1/4): 613-631.
- [29] ROSA R, COSTA P R, NUNES M L. Effect of sexual

- maturation on the tissue biochemical composition of *Octopus vulgaris* and *O. defilippi* (Mollusca: Cephalopoda) [J]. *Marine Biology*, 2004, 145(3): 563-574.
- [30] FLUCKIGER M, JACKSON G D, NICHOLS P, et al. An experimental study of the effect of diet on the fatty acid profiles of the European Cuttlefish (*Sepia officinalis*) [J]. *Marine Biology*, 2008, 154(2): 363-372.
- [31] SARGENT J, BELL G, MCEVOY L, et al. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish[J]. *Aquaculture*, 1999, 177(1/4): 191-199.
- [32] JAYA-RAM A, KUAH M K, LIM P S, et al. Influence of dietary HUFA levels on reproductive performance, tissue fatty acid profile and desaturase and elongase mRNAs expression in female zebrafish *Danio rerio*[J]. *Aquaculture*, 2008, 277(3/4): 275-281.
- [33] BOYLE P, RODHOUSE P. Cephalopods: ecology and fisheries[M]. Oxford, UK: Blackwell Science, 2005: 464.
- [34] 陈斌, 冯健, 吴彬, 等. 饥饿对太平洋鲑(*Oncorhynchus* spp.) 鱼体脂肪与脂肪酸的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2012, 43(6): 1247-1253.
- CHEN B, FENG J, WU B, et al. The effects of starvation on fat and fatty acids composition in Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, 43(6): 1247-1253.
- [35] LIN D M, CHEN X J, CHEN Y, et al. Sex-specific reproductive investment of summer spawners of *Illex argentinus* in the southwest Atlantic [J]. *Invertebrate Biology*, 2015, 134(3): 203-213.
- [36] LAPTIKHOVSKY V V, NIGMATULLIN C M. Egg size, fecundity, and spawning in females of the genus *Illex* (Cephalopoda: Ommastrephidae) [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1993, 50(4): 393-403.
- [37] LIN D M, CHEN X J, CHEN Y, et al. Ovarian development in Argentinean shortfin squid *Illex argentinus*: group-synchrony for corroboration of intermittent spawning strategy [J]. *Hydrobiologia*, 2017, 795(1): 327-339.
- [38] CLARKE A, RODHOUSE P G, GORE D J. Biochemical composition in relation to the energetics of growth and sexual maturation in the Ommastrephid squid *Illex argentinus* [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 1994, 344(1308): 201-212.
- [39] REIS D B, GARCÍA-HERRERO I, RIERA R, et al. An insight on *Octopus vulgaris* paralarvae lipid requirements under rearing conditions [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, 21(6): 797-806.
- [40] REIS D B, ACOSTA N G, ALMANSA E, et al. Composition and metabolism of phospholipids in *Octopus vulgaris* and *Sepia officinalis* hatchlings [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2016, 200: 62-68.
- [41] STOWASSER G, PIERCE G J, MOFFAT C F, et al. Experimental study on the effect of diet on fatty acid and stable isotope profiles of the squid *Lolliguncula brevis* [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 333(1): 97-114.
- [42] NAVARRO J C, MONROIG Ó, SYKES A V. Nutrition as a key factor for Cephalopod aquaculture [M]//IGLESIAS J, FUENTES L, VILLANUEVA R. *Cephalopod Culture*. Dordrecht: Springer, 2014: 77-95.
- [43] REIS D B, RODRÍGUEZ C, ACOSTA N G, et al. In vivo metabolism of unsaturated fatty acids in *Sepia officinalis* hatchlings [J]. *Aquaculture*, 2016, 450: 67-73.
- [44] ACKMAN R G. Comparison of lipids in marine and freshwater organisms [M]//ARTS M T, WAINMAN B C. *Lipids in Freshwater Ecosystems*. New York: Springer, 1999: 263-298.

Fatty acid composition and its changes during sexual maturation in female *Illex argentinus*

LIN Dongming^{1,2,3}, SUN Chengjie¹, XUAN Sipeng¹, HAN Fei¹, CHEN Xinjun^{1,2,3}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China)

Abstract: Argentinean short-fin squid, *Illex argentinus*, is an important Cephalopod species, characterized by fast growth, short lifespan and semelparous reproduction. It has been assumed that the stock biomass is closely related to the nutrients acquisition, accumulation and subsequent allocation to reproduction during the sexual maturation. In order to understand the fatty acid composition and its changes during sexual maturation in female *Illex argentinus*, the fatty acid profiles and their relative content in multiple tissues, namely mantle tissue, digestive gland and ovary, were investigated by the methods of chloroform-methanol and gas chromatography. The results indicated that the polyunsaturated fatty acids (PUFA) were the most abundant fatty acid class for the tissues investigated, followed by saturated fatty acids (SFA) and monounsaturated fatty acids (MUFA). A total of 28 fatty acid profiles were detected in mantle tissue, while digestive gland and ovary were had 21 fatty acid profiles and 17 fatty acid profiles, respectively. It was found that most of SFA content was presented as C16:0, MUFA content as C18:1n9c and C20:1, and PUFA content as docosahexaenoic acid (DHA; 22:6n3) and eicosapentaenoic acid (EPA; 20:5n3). During the sexual maturation, both SFA content and MUFA content in mantle tissue attained the highest level at mature stage, and then decreased significantly at spawning stage, probably indicating these fatty acids were mobilized to fuel reproduction. PUFA content in digestive gland was significantly lower than that in mantle tissue or ovary, even though it maintained a relatively stable status throughout sexual maturation. The ovary continuously accumulated fatty acid content, but showed a significant decrease in MUFA content and PUFA content during the spawning period, possibly suggesting that these fatty acids were increasingly allocated to oogenesis. These evidence indicated that the fatty acid profiles in *Illex argentinus* showed tissue-specific characteristics, while the major fatty acid profiles were consistent in mantle tissue, digestive gland and ovary. In the mantle tissue, both SFA and MUFA were possibly mobilized to fuel reproductive growth during sexual maturation. In the digestive gland, the PUFA content might be continuously transferred to mantle and ovary with maturation. Regarding fatty acids in the ovary, the content might be continuously accumulated and subsequently used to support oogenesis during the sexual maturation.

Key words: *Illex argentinus*; fatty acid; reproduction; southwest Atlantic