

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200211001

http://www.yykxjz.cn/

陈仕焯, 于雯雯, 张虎, 张硕. 吕泗渔场主要渔获物春夏秋三季脂肪酸组成及食性分析. 渔业科学进展, 2021, 42(4): 19–28  
CHEN S X, YU W W, ZHANG H, ZHANG S. Fatty acid composition and feeding habits analysis of the main catches from Lüsi fishing ground during spring, summer and autumn. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(4): 19–28

## 吕泗渔场主要渔获物春夏秋三季 脂肪酸组成及食性分析

陈仕焯<sup>1#</sup> 于雯雯<sup>2#</sup> 张 虎<sup>2</sup> 张 硕<sup>1,3①</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 江苏省海洋水产研究所 江苏 南通 226007;  
3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室 上海 201306)

**摘要** 为探究吕泗渔场主要渔获物营养价值、食性及季节变化,于2018年5、8和10月渔业资源调查采集渔获物,测定其脂肪酸组成,采用脂肪酸标记法进行食性分析。结果显示,8种主要渔获物多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸(PUFA/SFA)为0.88~1.79,n-3/n-6为2.56~3.18,C16:1n7和 $\Sigma 15+\Sigma 17$ 夏季显著增加( $P<0.05$ ),C20:5n3+C22:6n3(EPA+DHA)、PUFA/SFA、n-3/n-6、C20:4n6、C22:6n3和 $\Sigma 22+\Sigma 24$ 秋季显著增加( $P<0.05$ ),C20:1+C22:1秋季显著减少( $P<0.05$ )。各渔获物营养价值较高且秋季显著高于春、夏季,其中,棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)和小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)营养价值最优。DHA/EPA和聚类分析将渔获物分为3组:哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*)、周氏新对虾(*Metapenaeus joyneri*)和日本蟳(*Charybdis japonica*);凤鲚(*Coilia mystus*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)、棘头梅童鱼和小黄鱼;银鲳(*Pampus argenteus*)。哈氏仿对虾、周氏新对虾、日本蟳植食性和底栖生物食性明显,凤鲚和小黄鱼浮游动物食性明显,银鲳植食性和浮游动物食性明显,皮氏叫姑鱼和棘头梅童鱼食性无明显偏好。夏季,硅藻和细菌食源显著增加;秋季,底栖生物、海藻和陆生植物食源显著增加,浮游动物食性显著减少。

**关键词** 脂肪酸;营养价值;食性;季节;渔获物;吕泗渔场

中图分类号 S931.1; S917 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2021)04-0019-10

吕泗渔场位于黄海西南部,属沙脊潮沟生态系统,由苏北沿岸水、长江冲淡水 and 黄海暖流三股水系汇流而成,在冷暖水系、高低盐度的交互下形成了独特的地理生态环境,该渔场水质肥沃、饵料充足,是多种鱼类产卵育肥的重要区域之一(田丰歌等,2011)。近年来,吕泗渔场频繁出现赤潮、工业污水、石油污染等,其渔场环境持续处于富营养化状态,轻度至中

度有机物污染和重金属污染,严重影响鱼类的栖息和繁殖,渔船数量和捕捞效率的提高也使得渔场渔业资源急剧衰退,部分经济鱼类已难以形成渔汛,渔场环境和渔业资源修复亟需解决(刘绿叶等,2009;宋静静等,2017)。目前,对吕泗渔场的研究多停留在生物群落结构(徐捷等,2016)、资源分布(于雯雯等,2013)与环境因子的关系上,而明晰生物食性是了解海洋食物

\* 江苏省国家级海洋牧场示范项目(D8005-18-0188)和江苏省自然科学基金(BK20170438)共同资助 [This work was supported by the National Marine Ranching Demonstration Project of Jiangsu (D8005-18-0188), and the Natural Science Foundation of Jiangsu (BK20170438)]. #共同第一作者,陈仕焯, E-mail: chenshixuan2019@foxmail.com; 于雯雯: E-mail: jshyyww@163.com

① 通讯作者: 张 硕, 教授, E-mail: s-zhang@shou.edu.cn

收稿日期: 2020-02-11, 收修改稿日期: 2020-03-21

网结构及物质能量流动的基础,是制定和改善渔场渔业资源修复及利用政策的重要依据。

传统食性分析法,如胃含物分析法、饵料差减分析法皆存在一定局限性,只能反映生物短期摄食情况。而脂肪酸是生物体内重要的储能物质,占生物体干质量的5%左右,其化学性质稳定,被捕食者摄食分解后,能以原来的形式重新组合,并且以能量的形式长期储存在捕食者体内,是典型的生物标志物,脂肪酸标记法能准确反映物种一段时间内的综合摄食信息及营养级地位(沈亚男等,2015)。本研究对吕泗渔场主要渔获物脂肪酸组成、营养关系、食性及季节变化进行分析,以期为深入研究该海域鱼类食性对环境变化的响应、渔场渔业资源可持续利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本采集

于2018年春季(5月)、夏季(8月)和秋季(10月)采用单船有翼单囊底拖网在吕泗渔场(32°00'~34°00'N, 122°30'E以西)进行渔业资源调查并采集实验样品,作业拖速3.6 kn,每站拖曳时长约25 min,采样站位见图1。根据渔获物种类及数量,选取每个季节数量优势的物种作为研究对象,每组选取3~5个平行样品,包括13尾哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*)、14尾周氏新对虾(*Metapenaeus joyneri*)、14只日本蟳(*Charybdis japonica*)、10尾凤鲚(*Coilia mystus*)、12尾皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)、13尾棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、13尾小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)和10尾银鲳(*Pampus argenteus*),共8种99尾渔获物,冷冻保存于-20℃,带回实验室后立即处理。

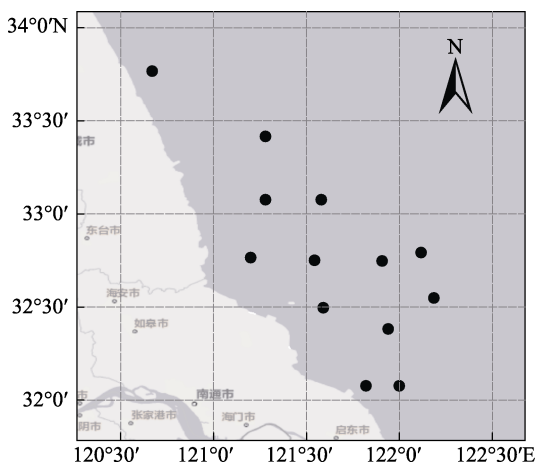


图1 研究区域及采样站位  
Fig.1 Study area and sampling locations

### 1.2 实验方法

**1.2.1 样本预处理** 测量渔获物体长、体重(表1)和性腺成熟度,其中,日本蟳和银鲳的性腺成熟度主要处于V~VI期,其他渔获物主要处于II~III期。鱼类取第1背鳍附近白肌,虾类取腹部肌肉,蟹类取第1螯足肌肉,用超纯水冲洗干净后放入冷冻干燥机冷冻干燥30 h,再用混合球磨仪研磨成粉末,装入离心管待测。

**1.2.2 粗脂提取** 采用Folch法提取脂肪酸(Folch *et al.*, 1957),称取0.2 g粉末,加入15 mL氯仿-甲醇溶液(体积比2:1),浸泡22 h,离心过滤(3500 r/min)后取上清液并加入0.9%的生理盐水,取下层溶液于圆底烧瓶中氮吹,得到粗脂。

**1.2.3 粗脂甲酯化** 粗脂甲酯化参照GB/T 17376-2008《动植物油脂脂肪酸甲酯制备》的三氟化硼-甲醇法,先加入氢氧化钠-甲醇溶液(0.5 mol/L)4 mL,水浴加热,8 min后加入4 mL三氟化硼-甲醇溶液,25 min后加入4 mL正己烷,萃取回流2 min,冷却至室温,再加入饱和NaCl溶液,吸取上层有机层,以1:1的比例与十九烷酸甲酯(50 mg/L)混合于色谱瓶,待GC-MS测定。

**1.2.4 脂肪酸GC-MS分析** 色谱柱型号为Agilent HP-88 (60 m×0.25 mm×0.20 μm),进样口温度220℃,检测器温度280℃,温柱初始温度125℃,以8℃/min上升到145℃,保持26 min后,再升温至220℃(2℃/min)。以37种脂肪酸混标为标准,对比保留时间进行定性分析,以十九烷酸甲酯标准品为内标,进行定量分析,内标回收率皆在74%以上,内标法公式如下:

$$X_i = F_i \times \frac{A_i}{A_{19}} \times \frac{m_{19}}{m} \times 100\%$$

式中,  $X_i$  为待测样品组分*i*的含量(mg/g);  $A_i$  是组分*i*的峰面积;  $m$  是样品质量;  $m_{19}$  是内标物十九烷酸甲酯的质量;  $A_{19}$  是待测样品中内标物的峰面积;  $F_i$  是组分*i*与内标物的校正因子之比,称为相对校正因子。

### 1.3 数据分析

脂肪酸数据多元统计运用方差分析(ANOVA)和聚类分析(Cluster)。聚类分析将样本分组,使用Origin 2018和SPSS 20.0软件进行,方差分析判定变量之间是否存在显著差异,分析精度为±0.01%。

## 2 结果

### 2.1 脂肪酸组成及季节差异

8种渔获物样品体内各检测出30种脂肪酸,包括12种饱和脂肪酸(SFA)(C12:0、C13:0、C14:0、

C15:0、C16:0、C17:0、C18:0、C20:0、C21:0、C22:0、C23:0 和 C24:0)、8 种单不饱和脂肪酸(MUFA)(C14:1n5、C15:1n5、C16:1n7、C17:1n7、C18:1n9、C20:1、C22:1n9 和 C24:1n9)和 10 种多不饱和脂肪酸(PUFA)(C18:2n6、C18:3n3、C18:3n6、C20:2、C20:3n3、

C20:3n6、C20:4n6、C20:5n3、C22:2n6 和 C22:6n3)。饱和脂肪酸中, C16:0 和 C18:0 百分含量最高; 不饱和脂肪酸中, C18:1n9、C20:5n3(EPA)和 C22:6n3(DHA)百分含量最高。8 种主要渔获物 PUFA/SFA 分布于 0.88~1.79 之间, n-3/n-6 分布于 2.56~3.18 之间。

表 1 主要渔获物体长、体重范围

Tab.1 The length and weight range of the main catches

物种 Species	体长/头胸甲长 Body length/Carapace length/mm			体重 Body weight/g			数量 Number		
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn
	哈氏仿对虾 <i>P. hardwickii</i>	68~91	74~93	71~97	2.9~5.6	4.6~6.3	4.5~6.5	4	5
周氏新对虾 <i>M. joyneri</i>	95~104	93~107	90~101	6.4~7.3	5.6~7.4	4.0~6.3	5	5	4
日本蟳 <i>C. japonica</i>	39~54	41~49	34~52	32.5~57.3	30.7~47.9	40.2~56.8	5	5	4
凤鲚 <i>C. mystus</i>	109~136	107~132	109~130	5.3~11.2	3.8~9.8	5.4~9.0	4	3	3
皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>	96~115	98~121	91~117	13.3~21.2	15.6~33.7	11.3~30.6	5	4	3
棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>	96~125	97~120	95~121	19.1~24.8	16.7~26.2	6.6~19.0	5	4	4
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	87~100	85~102	96~107	10.7~14.2	9.3~16.9	7.0~15.2	4	5	4
银鲳 <i>P. argenteus</i>	127~149	131~145	124~141	42.9~75.3	40.0~74.2	36.7~44.2	3	4	3

根据脂肪酸含量显著性差异检验可知(表 2 和表 3), 日本蟳 PUFA/SFA 显著高于其他渔获物( $P<0.05$ ), 8 种渔获物的 EPA+DHA、PUFA/SFA、n-3 和 n-3/n-6, 秋季显著高于春、夏季( $P<0.05$ )。对食性有指示作用的脂肪酸称为特征脂肪酸, 吕泗渔场主要渔获物检测到的特征脂肪酸有 C16:1n7、C18:1n9、C20:4n6、C20:5n3、C22:6n3、 $\Sigma 15+\Sigma 17$ 、C18:2n-6+C18:3n-3、C20:1+C22:1、C20:5n-3/C22:6n-3、 $\Sigma 22+\Sigma 24$  和 DHA/EPA。其中, 主要渔获物的 C16:1n7 和  $\Sigma 15+\Sigma 17$  夏季显著高于春、秋季( $P<0.05$ ), C20:4n6、C22:6n3、 $\Sigma 22+\Sigma 24$  和 DHA/EPA 秋季显著高于春、夏季( $P<0.05$ ), C20:1+C22:1 秋季显著低于春、夏季( $P<0.05$ )。

哈氏仿对虾、周氏新对虾和日本蟳 C20:5n3 显著高于鱼类( $P<0.05$ )。哈氏仿对虾的  $\Sigma 15+\Sigma 17$  夏季显著高于春、秋季( $P<0.05$ ), C20:5n3 秋季显著高于夏季( $P<0.05$ ), C18: 2n-6+C18:3n-3 和 C20:1+C22:1 秋季显著低于春、夏季( $P<0.05$ ), 3 个季节 C20:5n-3/C22:6n-3 $<1$ 。周氏新对虾的 C20:4n6 秋季最高, 春季最低, 3 个季节差异显著( $P<0.05$ ),  $\Sigma 22+\Sigma 24$  秋季显著高于春、夏季( $P<0.05$ ),  $\Sigma 15+\Sigma 17$  秋季显著低于春、

夏季( $P<0.05$ ), 春夏 C20:5n-3/C22:6n-3 $>1$ , 秋季 C20:5n-3/C22:6n-3 $<1$ 。日本蟳的 C18:1n9 秋季显著高于夏季( $P<0.05$ ), C18:2n-6+C18:3n-3 秋季显著高于春季( $P<0.05$ ), 春季 C20:5n-3/C22:6n-3 $<1$ , 夏、秋季 C20:5n-3/C22:6n-3 $>1$ 。

3 个季节所有鱼类的 C20:5n-3/C22:6n-3 皆 $<1$ 。凤鲚的 C20:1+C22:1 秋季显著低于春、夏季( $P<0.05$ )。皮氏叫姑鱼的 C16:1n7 春季显著高于秋季( $P<0.05$ ),  $\Sigma 15+\Sigma 17$  夏季显著高于春、秋季( $P<0.05$ ), C20:1+C22:1 夏季最高, 秋季最低, 3 个季节差异显著( $P<0.05$ ), C22:6n3 和  $\Sigma 22+\Sigma 24$  秋季显著高于春、夏季( $P<0.05$ )。棘头梅童鱼的 C18:2n-6+C18:3n-3 夏季显著低于春、秋季( $P<0.05$ ), C20:4n6、C20:5n3、C22:6n3 和  $\Sigma 22+\Sigma 24$  秋季显著高于春、夏季( $P<0.05$ )。小黄鱼的 C20:4n6 春季显著低于夏、秋季( $P<0.05$ ),  $\Sigma 15+\Sigma 17$  夏季显著高于春、秋季( $P<0.05$ ), C20:1+C22:1 夏季最高, 秋季最低, 3 个季节差异显著( $P<0.05$ ), C22:6n3 和  $\Sigma 22+\Sigma 24$  秋季最高, 春季最低, 3 个季节差异显著( $P<0.05$ )。银鲳 C20:5n3 春季显著高于夏季( $P<0.05$ ), C20:4n6、C22:6n3 和  $\Sigma 22+\Sigma 24$  秋季显著高于春、夏季( $P<0.05$ )。

表2 主要渔获物部分脂肪酸百分含量  
Tab.2 Partial fatty acid content of main catches

脂肪酸 Fatty acid	哈氏仿对虾 <i>P. hardwickii</i>	周氏新对虾 <i>M. joyneri</i>	日本蝠 <i>C. japonica</i>	凤鲚 <i>C. mystus</i>	皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>	棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	银鲱 <i>P. argentatus</i>	食性指示 Feeding instructions
C16:1n7	3.99±0.80	5.58±1.17	4.40±1.12	3.78±2.63	12.42±8.50	9.30±8.09	5.26±5.20	6.23±6.11	硅藻 Diatom
C18:1n9	8.19±0.90	9.10±0.71	14.14±2.06	12.78±7.32	10.56±4.16	16.00±8.84	10.82±5.32	15.07±9.18	褐藻 Brown algae
C20:4n6	4.67±0.48	5.23±1.06	6.14±1.05	2.31±0.74	3.25±1.90	3.08±1.58	2.97±1.35	3.57±1.29	底栖生物 Benthos
C20:5n3	9.33±0.72	10.37±1.56	13.65±2.56	5.24±1.17	5.34±3.64	5.79±1.98	5.23±1.25	3.98±1.41	硅藻 Diatom
C22:6n3	17.05±1.60	15.83±2.51	13.01±1.51	16.87±7.04	13.94±7.66	16.39±6.53	20.03±9.23	16.42±10.30	甲藻 Dinoflagellate
Σ15+Σ17	4.43±0.38	2.81±1.59	4.58±3.13	3.26±1.59	2.83±0.80	2.77±0.94	3.20±1.31	4.11±1.46	细菌 Bacteria
C18:2n-6+C18:3n-3	3.46±0.61	2.13±0.39	2.30±0.43	2.62±0.95	2.45±0.57	2.76±1.37	2.92±0.72	3.20±0.66	大型藻类/海草/陆生植物 Macroalgae/Seagrass/Terrestrial plant
C20:1+C22:1	3.49±1.59	2.91±1.22	3.69±1.23	3.91±2.31	3.32±1.42	2.73±1.10	3.85±1.90	4.96±3.57	浮游动物 Zooplankton
C20:5n-3/C22:6n-3	0.55±0.05	0.89±0.38	1.06±0.25	0.35±0.11	0.39±0.12	0.37±0.08	0.30±0.11	0.33±0.19	硅藻/甲藻 Diatom/Dinoflagellate
Σ22+Σ24	24.04±1.21	21.42±2.52	20.13±1.40	24.23±6.92	19.77±8.38	21.39±7.76	26.78±9.68	23.51±8.60	陆生植物 Terrestrial plant
DHA/EPA	1.83±0.16	1.34±0.59	0.98±0.17	3.12±0.87	2.77±0.64	2.82±0.52	3.74±1.22	4.15±2.34	营养级 Trophic level
EPA+DHA	26.39±2.04	26.19±2.79	26.66±2.97	22.11±8.04	19.28±10.77	22.19±8.29	25.26±10.10	20.40±10.80	
PUFA/SFA	1.20±0.12	1.20±0.17	1.79±0.40	0.88±0.22	0.89±0.45	1.08±0.50	1.11±0.42	0.96±0.33	
n-3	31.61±1.97	31.87±2.92	32.97±2.64	25.51±8.04	22.98±12.05	25.97±9.44	29.25±10.79	24.37±11.61	
n-3/n-6	2.81±0.24	2.98±0.31	2.63±0.38	3.05±1.43	2.56±0.80	3.11±0.49	3.18±1.11	2.80±1.13	

表3 春夏秋三季主要渔获物部分脂肪酸百分含量  
Tab.3 Partial fatty acid content of main catches in spring, summer and autumn

脂肪酸 Fatty acid	哈氏仿对虾 <i>P. hardwickii</i>			周氏新对虾 <i>M. joyneri</i>			日本蝠 <i>C. japonica</i>			凤鲚 <i>C. mystus</i>		
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn
C16:1n7	3.53±0.45	4.06±0.64	4.37±1.14	6.82±0.62	5.54±1.21	4.59±0.66	5.04±1.13	3.64±1.00	4.55±0.86	5.69±3.43	2.55±0.47	2.46±1.04
C18:1n9	8.95±0.67	7.60±0.98	8.15±0.40	9.16±0.46	10.74±3.25	8.67±0.93	14.20±1.86 <sup>ab</sup>	12.38±0.79 <sup>b</sup>	16.26±1.36 <sup>a</sup>	17.53±9.65	8.52±1.60	10.70±4.45
C20:4n6	4.92±0.33	4.52±0.50	4.61±0.58	4.27±0.59 <sup>c</sup>	5.23±1.18 <sup>b</sup>	6.50±0.19 <sup>a</sup>	6.54±1.23	5.49±0.62	6.44±1.08	1.89±0.86	2.76±0.32	2.41±0.77
C20:5n3	9.58±0.77 <sup>a</sup>	8.68±0.35 <sup>b</sup>	9.90±0.37 <sup>a</sup>	11.14±1.94	12.11±3.28	8.76±0.49	13.03±0.61	12.83±1.57	15.45±4.31	4.72±1.20	4.72±0.86	6.46±0.32
C22:6n3	17.64±0.45	15.83±1.83	18.00±1.19	15.08±2.18	14.85±2.15	18.23±2.93	13.51±1.20	12.31±1.31	13.26±2.09	13.15±7.82	14.34±0.89	24.34±3.04
Σ15+Σ17	4.09±0.11 <sup>b</sup>	4.79±0.32 <sup>a</sup>	4.31±0.23 <sup>b</sup>	3.58±0.34 <sup>a</sup>	3.56±0.96 <sup>a</sup>	0.46±0.12 <sup>b</sup>	3.34±0.35	6.51±4.92	3.70±0.65	3.52±2.44	3.64±0.30	2.51±1.07
C18:2n-6+ C18:3n-3	3.67±0.24 <sup>a</sup>	3.88±0.36 <sup>a</sup>	2.73±0.42 <sup>b</sup>	2.18±0.37	2.25±0.47	2.14±0.66	1.98±0.33 <sup>b</sup>	2.33±0.17 <sup>ab</sup>	2.67±0.53 <sup>a</sup>	2.19±0.43	2.80±0.78	3.01±1.59

续表 3

脂肪酸 Fatty acid	哈氏仿对虾 <i>P. hardwickii</i>			周氏新对虾 <i>M. joyneri</i>			日本鳎 <i>C. japonica</i>			凤鲷 <i>C. mystus</i>		
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn
C20:1+C22:1	4.43±0.44 <sup>a</sup>	4.50±0.35 <sup>a</sup>	1.30±0.70 <sup>b</sup>	1.84±1.49	2.66±1.39	3.08±0.17	4.12±0.31	4.51±0.46	2.13±1.22	4.46±2.18 <sup>a</sup>	5.80±0.58 <sup>a</sup>	1.29±0.57 <sup>b</sup>
C20:5n-3/ C22:6n-3	0.54±0.05	0.55±0.06	0.55±0.05	1.36±0.07 <sup>a</sup>	1.07±0.39 <sup>b</sup>	0.49±0.10 <sup>c</sup>	0.97±0.07	1.05±0.13	1.20±0.44	0.42±0.14	0.33±0.08	0.27±0.02
Σ22+Σ24	24.97±0.80	23.91±1.19	23.27±1.15	20.66±1.47 <sup>b</sup>	20.78±1.62 <sup>b</sup>	24.36±2.55 <sup>a</sup>	19.96±1.79	19.84±1.15	20.72±1.33	20.52±9.71	24.40±1.93	29.00±2.95
DHA/EPA	1.85±0.18	1.82±0.19	1.82±0.17	0.74±0.04 <sup>c</sup>	1.08±0.45 <sup>b</sup>	2.09±0.35 <sup>a</sup>	1.04±0.07	0.97±0.12	0.91±0.29	2.65±1.10	3.13±0.69	3.76±0.28
EPA+DHA	27.21±0.72 <sup>a</sup>	24.51±1.98 <sup>b</sup>	27.90±1.05 <sup>a</sup>	26.21±4.07	26.97±3.25	26.99±2.94	26.54±1.66	25.14±2.40	28.71±4.15	17.87±8.81	19.06±0.16	30.80±3.36
PUFA/SFA	1.35±0.04 <sup>a</sup>	1.14±0.07 <sup>b</sup>	1.12±0.05 <sup>b</sup>	1.15±0.22	1.43±0.53	1.26±0.19	1.71±0.09	1.64±0.39	2.09±0.57	0.83±0.33	0.81±0.06	1.03±0.09
n-3	33.06±0.77 <sup>a</sup>	29.63±1.55 <sup>b</sup>	32.63±1.02 <sup>a</sup>	31.07±4.15	32.62±3.42	33.43±2.92	33.18±0.80	31.12±1.41	35.02±3.91	21.12±9.40	23.22±0.34	33.66±3.46
n-3/n-6	2.92±0.12 <sup>a</sup>	2.57±0.13 <sup>b</sup>	3.01±0.20 <sup>a</sup>	2.94±0.27	2.91±0.35	2.90±0.41	2.82±0.52	2.55±0.31	2.49±0.20	2.65±1.20	2.16±0.18	4.45±1.58
脂肪酸	棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>											
Fatty acid	皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>											
Fatty acid	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>											
Fatty acid	银鲳 <i>P. argentatus</i>											
C16:1n7	18.80±2.82 <sup>a</sup>	11.49±9.77 <sup>ab</sup>	3.03±1.48 <sup>b</sup>	17.67±8.64	9.53±3.53	2.42±1.16	12.34±3.36 <sup>a</sup>	2.41±0.26 <sup>b</sup>	1.75±0.44 <sup>b</sup>	10.34±9.25	7.31±2.46	0.69±0.05
C18:1n9	13.33±2.06	10.23±5.22	6.37±0.58	18.49±12.13	21.37±6.42	9.72±2.92	18.13±3.05 <sup>a</sup>	7.18±0.09 <sup>b</sup>	8.06±0.61 <sup>b</sup>	13.56±13.6	21.78±3.45	7.64±0.54
C20:4n6	1.47±0.36	4.06±1.32	5.16±1.49	1.47±0.53 <sup>b</sup>	2.80±1.02 <sup>b</sup>	4.59±0.99 <sup>a</sup>	1.11±0.36 <sup>b</sup>	3.88±0.42 <sup>a</sup>	3.69±0.44 <sup>a</sup>	2.92±0.49 <sup>b</sup>	2.87±0.75 <sup>b</sup>	5.14±1.02 <sup>a</sup>
C20:5n3	3.08±0.81	4.35±1.31	10.44±3.89	5.20±1.80 <sup>b</sup>	4.29±1.01 <sup>b</sup>	7.47±1.56 <sup>a</sup>	4.46±1.99	5.13±0.27	6.13±0.54	5.53±0.72 <sup>a</sup>	2.73±1.02 <sup>b</sup>	4.09±0.30 <sup>ab</sup>
C22:6n3	9.26±1.96 <sup>b</sup>	11.10±4.77 <sup>b</sup>	25.52±2.93 <sup>a</sup>	11.85±3.2 <sup>b</sup>	12.42±4.06 <sup>b</sup>	23.21±3.65 <sup>a</sup>	9.99±2.61 <sup>c</sup>	18.91±2.7 <sup>b</sup>	31.48±3.57 <sup>a</sup>	13.16±4.65 <sup>b</sup>	8.69±4.86 <sup>b</sup>	29.99±2.93 <sup>a</sup>
Σ15+Σ17	2.28±0.21 <sup>b</sup>	3.74±0.63 <sup>a</sup>	2.52±0.47 <sup>b</sup>	3.11±1.61	2.32±0.64	2.86±0.29	2.03±0.49 <sup>b</sup>	4.50±1.11 <sup>a</sup>	2.74±0.34 <sup>b</sup>	4.26±1.48	5.00±1.44	2.78±0.09
C18:2n-6+ C18:3n-3	2.14±0.44	2.73±0.74	2.56±0.39	3.04±1.37 <sup>a</sup>	1.30±0.29 <sup>b</sup>	3.70±0.92 <sup>a</sup>	2.53±0.53	2.84±0.82	3.41±0.59	3.29±0.86	3.42±0.75	2.80±0.11
C20:1+C22:1	3.33±0.70 <sup>a</sup>	4.76±0.29 <sup>a</sup>	1.38±0.39 <sup>c</sup>	3.75±1.34	2.50±0.90	2.11±0.36	3.51±0.63 <sup>b</sup>	5.79±0.98 <sup>a</sup>	1.77±0.68 <sup>c</sup>	8.82±3.27	4.88±1.41	1.19±0.12
C20:5n-3/ C22:6n-3	0.33±0.04	0.42±0.11	0.43±0.21	0.44±0.10	0.35±0.05	0.32±0.04	0.43±0.09 <sup>a</sup>	0.28±0.04 <sup>a</sup>	0.20±0.02 <sup>b</sup>	0.47±0.21	0.36±0.14	0.14±0.01
Σ22+Σ24	13.35±2.63 <sup>b</sup>	19.04±6.31 <sup>b</sup>	31.41±2.25 <sup>a</sup>	15.99±4.34 <sup>b</sup>	16.90±5.82 <sup>b</sup>	29.31±3.69 <sup>a</sup>	14.25±3.29 <sup>c</sup>	28.80±2.28 <sup>b</sup>	36.79±2.67 <sup>a</sup>	22.53±3.61 <sup>b</sup>	16.14±4.18 <sup>b</sup>	34.33±2.76 <sup>a</sup>
DHA/EPA	3.05±0.41	2.47±0.50	2.71±1.07	2.35±0.53	2.87±0.42	3.15±0.34	2.41±0.51 <sup>c</sup>	3.69±0.54 <sup>b</sup>	5.14±0.54 <sup>a</sup>	2.45±1.06 <sup>b</sup>	3.04±1.01 <sup>b</sup>	7.32±0.32 <sup>a</sup>
EPA+DHA	12.34±2.69 <sup>b</sup>	15.45±6.05 <sup>b</sup>	35.96±1.23 <sup>a</sup>	17.05±4.53 <sup>b</sup>	16.70±4.98 <sup>b</sup>	30.68±5.07 <sup>a</sup>	14.45±4.60 <sup>c</sup>	24.03±2.75 <sup>b</sup>	37.61±3.88 <sup>a</sup>	18.69±4.16 <sup>b</sup>	11.42±5.80 <sup>b</sup>	34.08±3.20 <sup>a</sup>
PUFA/SFA	0.52±0.14 <sup>c</sup>	0.85±0.25 <sup>b</sup>	1.54±0.08 <sup>a</sup>	1.08±0.68	0.74±0.24	1.36±0.39	0.58±0.19 <sup>c</sup>	1.21±0.10 <sup>b</sup>	1.51±0.25 <sup>a</sup>	1.07±0.12 <sup>a</sup>	0.62±0.18 <sup>b</sup>	1.29±0.10 <sup>a</sup>
n-3	14.36±3.13 <sup>b</sup>	20.15±7.47 <sup>b</sup>	41.12±0.06 <sup>a</sup>	20.06±5.02 <sup>b</sup>	19.93±6.18 <sup>b</sup>	35.53±5.83 <sup>a</sup>	16.58±5.16 <sup>c</sup>	29.53±2.34 <sup>b</sup>	41.57±3.95 <sup>a</sup>	22.29±4.61 <sup>b</sup>	14.73±5.90 <sup>b</sup>	39.32±2.30 <sup>a</sup>
n-3/n-6	2.46±0.41 <sup>b</sup>	1.86±0.36 <sup>c</sup>	3.68±0.30 <sup>a</sup>	3.16±0.84	3.06±0.15	3.12±0.43	2.97±1.22 <sup>b</sup>	2.41±0.37 <sup>b</sup>	4.34±0.67 <sup>a</sup>	2.67±0.48 <sup>ab</sup>	1.96±0.93 <sup>b</sup>	4.04±0.68 <sup>a</sup>

注: 不同小写字母表示同种鱼不同季节之间脂肪酸含量差异显著 ( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters indicate significant differences in fatty acid content between different seasons of the same species of fish ( $P<0.05$ )

### 2.2 主要渔获物 DHA/EPA 值及聚类分析

用 DHA/EPA 值对主要渔获物绘制柱状图(图 2), 哈氏仿对虾、周氏新对虾和日本鳀 DHA/EPA 值较低, 分别为 1.83、1.34 和 0.98; 皮氏叫姑鱼、凤鲚、棘头梅童鱼和小黄鱼的 DHA/EPA 值居中, 分别为 2.77、3.12、2.82 和 3.74; 银鲱 DHA/EPA 值较高, 为 4.15。

对吕泗渔场主要渔获物脂肪酸含量进行聚类分析(图 3a), 在距离 12 处可分为 3 组, 哈氏仿对虾、周氏新对虾和日本鳀为一组, 银鲱为一组, 凤鲚、皮氏叫姑鱼、棘头梅童鱼和小黄鱼为另一组。春、夏、秋 3 个季节脂肪酸含量聚类分析结果显示(图 3b~d), 在距离 14 处, 春季分为 4 组, 哈氏仿对虾、周氏新对虾和日本鳀为一组, 凤鲚为一组, 棘头梅童鱼和银鲱为一组, 皮氏叫姑鱼和小黄鱼为另一组; 夏季分为 3 组, 哈氏仿对虾、周氏新对虾、凤鲚、皮氏叫姑鱼和小黄鱼为一组, 日本鳀为一组, 棘头梅童鱼和银鲱

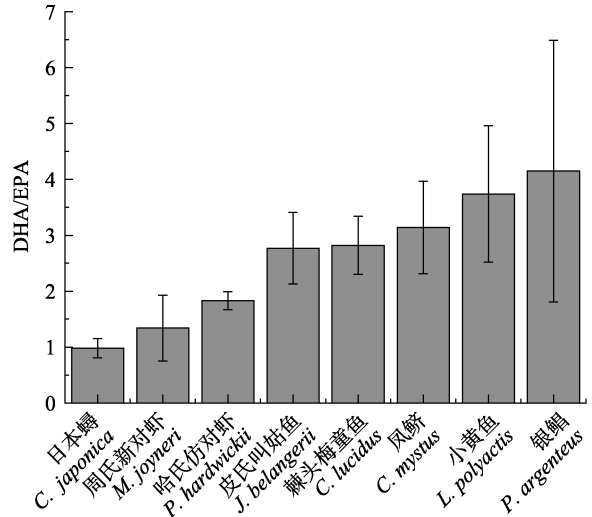


图 2 主要渔获物 DHA/EPA 值  
Fig.2 DHA/EPA ratios of main catches

为另一组; 秋季可分为 3 组, 哈氏仿对虾和周氏新对虾为一组, 日本鳀为一组, 凤鲚、皮氏叫姑鱼、棘头

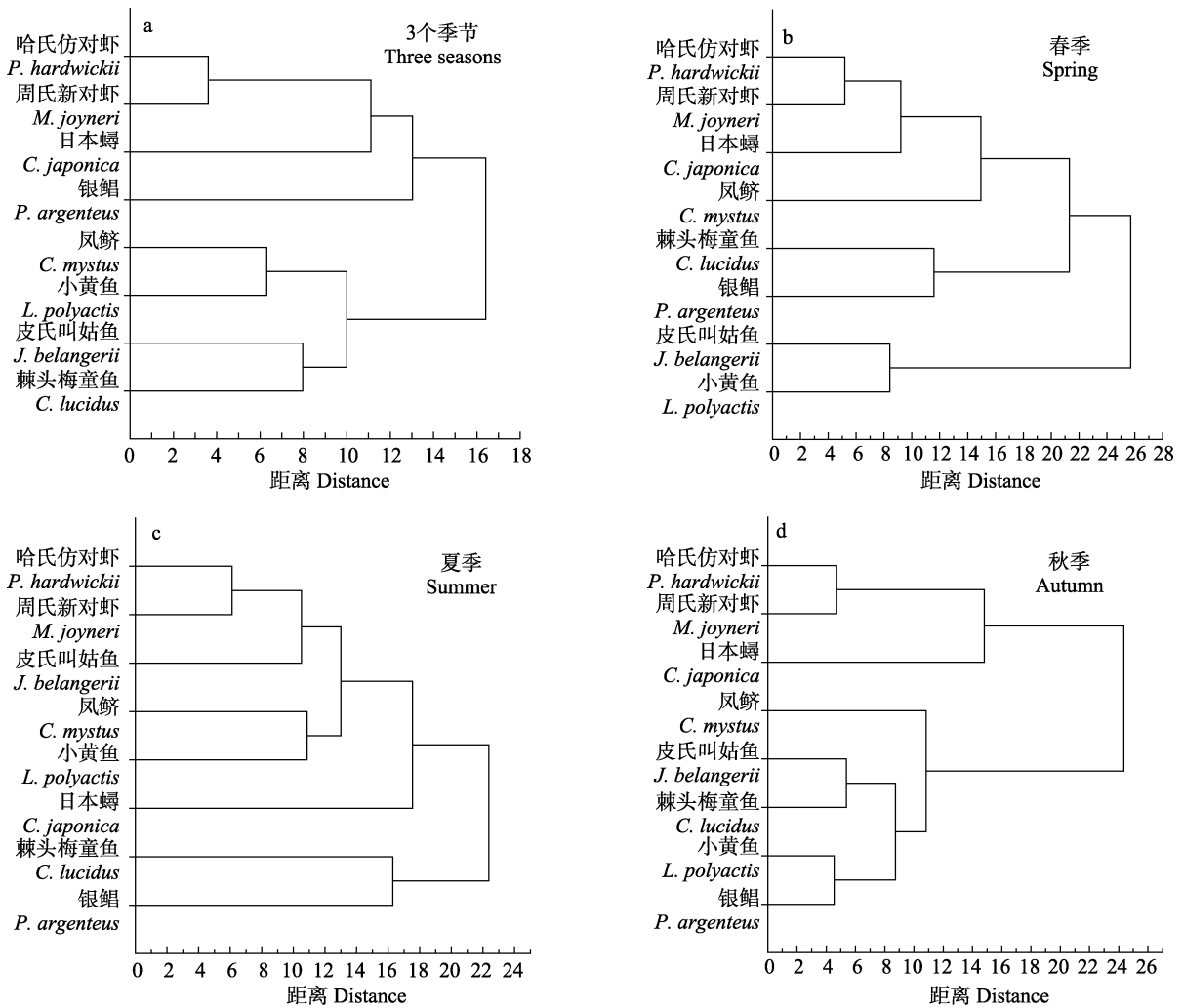


图 3 3 个季节(a)、春季(b)、夏季(c)、秋季(d)主要渔获物脂肪酸聚类分析

Fig.3 Fatty acid clustering analysis of main catches in three seasons (a), spring (b), summer (c) and autumn (d)

梅童鱼、小黄鱼和银鲳为另一组。

### 3 讨论

#### 3.1 脂肪酸组成及季节差异

海洋被称作“蓝色粮仓”，一直以来都是人类重要的食物来源之一，海洋生物向人类膳食提供了近 17% 的动物蛋白，同时包括多种 PUFA，如 C18:2n6、C18:3n3、EPA 和 DHA 等，它们可以有效预防心血管疾病、炎症、癌症和神经退行性疾病等。其中，亚油酸和  $\alpha$ -亚麻酸又称必需脂肪酸，人类自身无法合成，只能通过膳食摄取(Wang *et al*, 2019)。PUFA 是美国食品药品监督管理局(FDA) GRAS (generally recognized as safe)认证的安全食品，美国心脏协会(AHA)推荐每天通过鱼油形式摄入 1 g n-3 PUFA，可以预防心血管类疾病，国际脂肪酸和脂类研究学会(ISSFAL)建议健康成年人每天至少摄入 0.5 g EPA+DHA，PUFA/SFA>0.4 为宜(Adkins *et al*, 2010)，人类日常膳食肉类 PUFA/SFA 值约为 0.1 (Ospina-E *et al*, 2012)。本研究渔获物 PUFA/SFA 皆分布于 0.88~1.79 之间，其中，比值较高为哈氏仿对虾(1.20)、周氏新对虾(1.20)、日本鳀(1.79)、棘头梅童鱼(1.08)和小黄鱼(1.11)。现代人类的饮食模式导致 n-6 过剩，而 n-3/n-6 比例失衡会改变下游通路细胞基因的表达和调控，从而影响到细胞膜的流动性和器官功能等，因此，n-3/n-6 值是评价脂肪质量的重要指标(Huynh *et al*, 2009)。主要渔获物中凤鲚、棘头梅童鱼和小黄鱼 n-3/n-6 值最高(>3)，因此，它们的脂肪质量比其他渔获物更优。

本研究结果显示，主要渔获物的 EPA+DHA、PUFA/SFA、n-3、n-3/n-6 秋季显著高于春、夏季，这与 Zlatanov 等(2007)水温较低时 n-3 含量较高的结论相符。因此，秋季鱼类比春、夏季鱼类具有更高的营养保健价值。

#### 3.2 基于脂肪酸的营养关系研究

Dalsgaard 等(2003)在脂肪酸与食物网关系的研究中发现，DHA/EPA 值随营养级增大而增大，DHA/EPA 是指示营养级的良好标志物。本调查中，主要渔获物可分为 3 组，哈氏仿对虾、周氏新对虾和日本鳀(DHA/EPA<2)为一组，皮氏叫姑鱼、凤鲚、棘头梅童鱼和小黄鱼(DHA/EPA 为 2~4)为一组，银鲳(DHA/EPA>4)为另一组。本研究结果与黄亮(2004)对南黄海主要鱼类食物网研究结果相符。研究表明，随着体长增大，鱼类食性范围逐渐扩大以满足不同阶段的营养需求(Lukoschek *et al*, 2001)，比较吕泗渔场主

要渔获物三季 DHA/EPA 发现，秋季显著高于春、夏季，推测由于经过春、夏两季生长，渔获物体型更加饱满，口裂增大，游泳能力更强，具备了捕食更大型饵料生物的能力，且饵料生物营养级升高，捕食者营养级也随之升高(张波等, 2016)，这也与任晓明等(2019)海州湾秋季鱼食性生物量大于春季，底栖动物食性生物量低于春季的结论一致。

聚类分析可将吕泗渔场主要渔获物分为 3 组，分别为哈氏仿对虾、周氏新对虾和日本鳀为一组，凤鲚、皮氏叫姑鱼、棘头梅童鱼和小黄鱼为一组，银鲳为另一组。春季分为 4 组，而夏、秋季皆为 3 组，推测可能是由于渔获物体型增大后摄食范围更广泛，因此，不同生物间的饵料生物重合增多，差异减小。

#### 3.3 基于特征脂肪酸的食性研究

研究表明，C16:1n-7、EPA、EPA/DHA>1 可指示硅藻食性(金鑫, 2011)，C18: 4n-3、DHA、EPA/DHA<1 可以作为甲藻食性指标(Dalsgaard *et al*, 2003)， $\Sigma 15+\Sigma 17$  和 C18:1n-7 可以反映细菌食性(Rajendran *et al*, 1993)，C20:1+C22:1 表示对浮游动物的摄食偏好(Kattner *et al*, 1998)，C18:1n-9 可以揭示褐藻食性(Johns *et al*, 1979)，C18:2n-6+C18:3n-3 和  $\Sigma 22+\Sigma 24$  可指示陆生植物食性(Budge *et al*, 2001)，C18:2n-6+C18:3n-3 则是海草、大型藻类食性的标志物(Every *et al*, 2016)。较高的 C20:4n-6 则能指示底栖生物食性(Stowasser *et al*, 2009)，C18:1n-7/C18:1n-9 值<0.5 表示肉食性，反之则为植食性(Richoux, 2005)。

脂肪酸组成分析显示，日本鳀、棘头梅童鱼、银鲳 C18:1n9 较高(>14%)，褐藻食源更明显；哈氏仿对虾、银鲳 C18:2n-6+C18:3n-3 最高(>3%)，陆生植物食源明显，C18:2n-6+C18:3n-3 同时也指征了大型藻类和海草食源；凤鲚、小黄鱼、银鲳 C20:1+C22:1 较高(>3.8%)，浮游动物食性明显；较高的 C20:4n6 (>4.5%)指征了哈氏仿对虾、周氏新对虾、日本鳀皆具明显的底栖生物食性，这与黄美珍(2004)的研究结果一致。同时，哈氏仿对虾和日本鳀  $\Sigma 15+\Sigma 17$  最高(>4.4%)，指征了细菌食源偏好；日本鳀硅藻食性显著高于鱼类，这与王春琳等(1998)硅藻类是日本鳀主要食物之一的结论一致，其他渔获物则具甲藻食源偏好(C20:5n-3/C22:6n-3<1)；由于 C18:1n-7 含量极低，远小于分析精度 0.01%，默认为 0，因此，C18:1n-7/C18:1n-9<0.5，反映各渔获物具肉食性。

总体上，渔获物夏季硅藻、细菌食源显著高于春、秋季，秋季底栖生物、甲藻、陆生植物食源显著增加，浮游动物食性显著减少。杨洋等(2016)研究表明，夏

季浮游植物以硅藻为主,春、秋季则以甲藻为主,因此,渔获物藻类食性转变可能是对藻类季节差异的响应。鱼类夏季细菌食性显著增加,推测主要源于间接摄食,如以细菌为食的饵料生物或碎屑物质等(金鑫, 2011),而秋季底栖生物食源显著增加,浮游动物食性显著降低,可能是由于秋季水温降低,浮游动物生物量随之下降(李晓慧等, 2017)。春、夏、秋 3 个季节各渔获物特征脂肪酸显著性差异检验结果显示,其中,日本鳀、银鲱性腺处于 V~VI 期,其他渔获物性腺处于 II~III 期,哈氏仿对虾的夏季细菌食源显著增加,而秋季浮游动物、大型藻类、海草食性显著减少,3 个季节皆偏好摄食甲藻。周氏新对虾秋季底栖生物、陆生植物食性显著增加,细菌食源显著减少,春夏偏好摄食硅藻,秋季偏好摄食甲藻。日本鳀秋季褐藻、大型藻类、海草食性显著增加,春季偏好摄食甲藻,夏秋偏好摄食硅藻。凤鲚秋季浮游动物食性显著减少。这与郭爱等(2014)凤鲚主要食源为浮游动物且秋季空胃率最高的结论一致。皮氏叫姑鱼春季硅藻食源显著增加,夏季浮游动物、细菌食源显著增加,因其不会直接摄食细菌,推测为间接摄食,秋季甲藻、陆生植物食源显著增加。棘头梅童鱼夏季大型藻类、海草食源显著减少,秋季甲藻、陆生植物、底栖生物食源显著增加。小黄鱼春季底栖生物食性显著减少,夏季浮游动物、细菌食源显著增加,但其不会直接取食细菌,推测为间接摄食,秋季甲藻、陆生植物食源显著增加,此结果也符合王凯等(2012)小黄鱼胃含物中藻类(%IRI=1.90)相对重要性指数百分比仅低于虾类(%IRI=95.4)。银鲱秋季食性显著转变,甲藻、陆生植物、底栖生物食性显著增加,这也与魏秀锦等(2018)银鲱为杂食性鱼类,饵料包括虾类、日本枪乌贼(*Loligo japonica*)、浮游植物、浮游动物等,其中,浮游植物占比 0~21.33%相符。

脂肪酸标记法是食性分析的重要手段,对传统食性分析中难以鉴定的藻类有较高的识别能力,但在特定生态系统中,不同生物可能具有相似的脂肪酸特征(崔莹, 2012),且生物食性转变是对多方面因素的响应,包括生物本身生长发育阶段、洄游特性、饵料生物群落季节变化、温度、盐度和人类活动等(刘鸿雁等, 2018)。因此,今后研究将结合胃含物 DNA 鉴定技术和脂肪酸标记法,深入探讨鱼类食性转变及其影响因素。

## 参 考 文 献

- ADKINS Y, KELLEY D S. Mechanisms underlying the cardioprotective effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2010, 21(9): 781-792
- BUDGE S M, PARRISH C C, MCKENZIE C H. Fatty acid composition of phytoplankton, settling particulate matter and sediments at a sheltered bivalve aquaculture site. *Marine Chemistry*, 2001, 76(4): 285-303
- CUI Y. Study on the carbon flow within the estuarine ecosystem in China based on stable isotopes and fatty acid composition. Doctoral Dissertation of East China Normal University, 2012 [崔莹. 基于稳定同位素和脂肪酸组成的中国近海生态系统物质流动研究. 华东师范大学博士研究生学位论文, 2012]
- DALSGAARD J, ST JOHN M, KATTNER G, *et al.* Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment. *Advances in Marine Biology*, 2003, 46(6): 225-340
- EVERY S L, PETHYBRIDGE H R, CROOK D A, *et al.* Comparison of fin and muscle tissues for analysis of signature fatty acids in tropical euryhaline sharks. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2016, 479: 46-53
- FOLCH J, LEES M, STANLEY G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *Journal of Biological Chemistry*, 1957, 226(1): 497-509
- GUO A, CHEN F, JIN H W, *et al.* Food composition and seasonal changes of *Coilia mystus* in the East China Sea and Yellow Sea. *Marine Fisheries*, 2014, 36(5): 402-408 [郭爱, 陈峰, 金海卫, 等. 东、黄海凤鲚的食物组成及其食性的季节变化. *海洋渔业*, 2014, 36(5): 402-408]
- HANG M Z. Study on feeding habits and nutrient level of shrimp species from Taiwan Strait and its adjacent sea areas. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2004(4): 481-488 [黄美珍. 台湾海峡及邻近海域 6 种对虾食性特征及其营养级研究. *台湾海峡*, 2004(4): 481-488]
- HUANG L. Carbon, nitrogen and phosphorus compositions and fatty acid compositions of the main organisms in the food web based on anchovy in the Yellow Sea. Master's Thesis of East China Normal University, 2004 [黄亮. 黄海以鳀鱼为基础食物网中主要生物的碳、氮和磷三元素组成及脂肪酸组成特征. 华东师范大学硕士研究生学位论文, 2004]
- HUYNH M D, KITTS D D. Evaluating nutritional quality of Pacific fish species from fatty acid signatures. *Food Chemistry*, 2009, 114(3): 912-918
- IVERSON S J, FIELD C, BOWEN W D, *et al.* Quantitative fatty acid signature analysis: A new method of estimating predator diets. *Ecological Monographs*, 2004, 74(2): 211-235
- JIN X. Plankton food web analysis of the East China Sea and Yellow Sea using analyses of fatty acids and stable isotopes. Master's Thesis of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanology), 2011 [金鑫. 黄东海浮游食物网的初步研究: 基于脂肪酸标记法和碳氮稳定同位素比值法. 中国科学院研究生院(海洋研究所)硕士研究生学位论文, 2011]



- JOHNS R B, NICHOLS P D, PERRY G J. Fatty acid composition of ten marine algae from Australian waters. *Phytochemistry*, 1979, 18(5): 799–802
- KATTNER G, HAGEN W, GRAEVE M, *et al.* Exceptional lipids and fatty acids in the pteropod *Clione limacina* (Gastropoda) from both polar oceans. *Marine Chemistry*, 1998, 61(3/4): 219–228
- LI X H, LIU Z S. Biomass distribution and seasonal variation of zooplankton in the Changjiang estuary and its adjacent waters. *Journal of Marine Sciences*, 2017, 35(4): 94–101 [李晓慧, 刘镇盛. 长江口及邻近海域浮游动物生物量分布及季节变化. *海洋学研究*, 2017, 35(4): 94–101]
- LIU H Y, SUN T T, ZENG X Q, *et al.* Feeding ecology of *Conger myriaster* and structure of the food webs in artificial reef zone, Laoshan Bay, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(4): 1339–1351 [刘鸿雁, 孙彤彤, 曾晓起, 等. 崂山湾人工鱼礁区星康吉鳗摄食生态及食物网结构. *应用生态学报*, 2018, 29(4): 1339–1351]
- LIU L Y, LIU P T, CHEN Y S, *et al.* Integrated assessment of eco-environmental quality of Lüsi fishing ground. *Progress in Fishery Sciences*, 2009, 30(5): 83–87 [刘绿叶, 刘培廷, 陈玉生, 等. 应用综合评价法研究江苏吕四渔场生态环境质量. *渔业科学进展*, 2009, 30(5): 83–87]
- LUKOSCHEK V, MCCORMICK M I. Ontogeny of diet changes in a tropical benthic carnivorous fish, *Parupeneus barberinus* (Mullidae): Relationship between foraging behaviour, habitat use, jaw size, and prey selection. *Marine Biology* (Berlin), 2001, 138(6): 1099–1113
- OSPINA-E JC, SIERRA-C A, OCHOA O, *et al.* Substitution of saturated fat in processed meat products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2012, 52(2): 113–122
- RAJENDRAN N, SUWA Y, URUSHIGAWA Y. Distribution of phospholipid ester-linked fatty acid biomarkers for bacteria in the sediment of Ise Bay, Japan. *Marine Chemistry*, 1993, 42(1): 39–56
- REN X M, XU B D, ZHANG C L, *et al.* The composition of and variations in the trophic guilds of fish assemblages in Haizhou Bay and adjacent waters. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(1): 141–150 [任晓明, 徐宾铎, 张崇良, 等. 海州湾及邻近海域鱼类群落的营养功能群及其动态变化. *中国水产科学*, 2019, 26(1): 141–150]
- RICHOUX N B. Seasonal and developmental variation in the fatty acid composition of *Mysis mixta* (Mysidacea) and *Acanthostepheia malmgreni* (Amphipoda) from the hyperbenthos of a cold-ocean environment (Conception Bay, Newfoundland). *Journal of Plankton Research*, 2005, 27(8): 719–733
- SHEN Y N, ZHANG B, JIANG S, *et al.* Feeding differentiation of pearl oysters (*Pinctada fucata*) in different habitats based on fatty acid biomarkers. *South China Fisheries Science*, 2015, 11(6): 27–33 [沈亚男, 张博, 姜松, 等. 基于脂肪酸标志法的不同海区合浦珠母贝的摄食差异研究. *南方水产科学*, 2015, 11(6): 27–33]
- SONG J J, WANG Q X, ZHOU J, *et al.* Analysis of aquatic aquaculture and fisheries capture changes of the Yellow Sea. *Ocean Development and Management*, 2017, 34(S2): 148–153 [宋静静, 王其翔, 周健, 等. 黄海区域海水养殖与海洋捕捞变化特征分析(1990–2015年). *海洋开发与管理*, 2017, 34(S2): 148–153]
- STOWASSER G, POND D W, COLLINS M A. Using fatty acid analysis to elucidate the feeding habits of Southern Ocean mesopelagic fish. *Marine Biology*, 2009, 156(11): 2289–2302
- TIAN F G, XU Z L. Ecological characters of zooplankton in middle area of Subei Shoal in spring and summer. *Marine Environmental Science*, 2011, 30(3): 316–320 [田丰歌, 徐兆礼. 春夏季苏北浅滩大丰水域浮游动物生态特征. *海洋环境科学*, 2011, 30(3): 316–320]
- WANG C L, XUE L Y, LIU F Y, *et al.* A preliminary study on the experimental ecology and feeding habits of Japanese stone crab. *Shandong Fisheries*, 1998(3): 18–20 [王春琳, 薛良义, 刘凤燕, 等. 日本蟳实验生态及摄食习性的初步研究. *齐鲁渔业*, 1998(3): 18–20]
- WANG K, ZHANG S Y, WANG Z H, *et al.* Feeding habits of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) off Ma'an archipelago. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36(6): 1188–1192 [王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛海域小黄鱼的食性. *水生生物学报*, 2012, 36(6): 1188–1192]
- WEI X J, ZHANG B, SHAN X J, *et al.* Trophic levels and feeding habits of silver pomfret *Pampus argenteus* in the Bohai Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(5): 904–913 [魏秀锦, 张波, 单秀娟, 等. 渤海银鲧的营养级及摄食习性. *中国水产科学*, 2019, 26(5): 904–913]
- XU J, CHEN J J, XU Z L. Relationship of shrimp distribution with environment in the coastal water of Lüsi fishing ground in spring and summer. *Periodical of Ocean University of China (Science Edition)*, 2016, 46(3): 41–49 [徐捷, 陈佳杰, 徐兆礼. 吕泗渔场沿岸海域的虾类数量分布及其与环境的关系. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2016, 46(3): 41–49]
- YANG Y, SUN X X. Seasonal variations of net phytoplankton in carbon biomass and community structure in the South Yellow Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(5): 954–962 [杨洋, 孙晓霞. 南黄海网采浮游植物碳含量及群落结构的季节变化. *海洋与湖沼*, 2016, 47(5): 954–962]
- YU W W, LIU P T, GAO Y S, *et al.* Distribution characteristics of zooplankton in national aquatic germplasm conservation area in Lüsi fishing ground of East China in spring and summer. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(10): 2744–2749 [于雯雯, 刘培廷, 高银生, 等. 春夏季吕泗渔场水产种质资源保护区浮游动物分布特征. *生态学杂志*, 2013, 32(10): 2744–2749]
- ZHANG B, YUAN W, DAI F Q. Study on feeding ecology of fish community in Laoshan Bay during summer using stable

carbon and nitrogen isotopes. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(4): 585–594 [张波, 袁伟, 戴芳群. 应用稳定同位素技术研究崂山湾夏季鱼类群落的摄食生态. *水产学报*, 2016, 40(4): 585–594]

ZHANG T T, XU J, WANG Y M, *et al.* Health benefits of dietary marine DHA/EPA-enriched glycerophospholipids. *Progress*

in *Lipid Research*, 2019, 75: 100997

ZLATANOS S, LASKARIDIS K. Seasonal variation in the fatty acid composition of three Mediterranean fish-sardine (*Sardina pilchardus*), anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and picarel (*Spicara smaris*). *Food Chemistry*, 2007, 103(3): 725–728

(编辑 冯小花)

## Fatty Acid Composition and Feeding Habits Analysis of the Main Catches from Lüsi Fishing Ground during Spring, Summer and Autumn

CHEN Shixuan<sup>1#</sup>, YU Wenwen<sup>2#</sup>, ZHANG Hu<sup>2</sup>, ZHANG Shuo<sup>1,3①</sup>

(1. *College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;*

2. *Jiangsu Research Institute of Marine Fisheries, Nantong, Jiangsu 226007, China;*

3. *Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai 201306, China)*

**Abstract** In order to explore the nutritional value, feeding habits and seasonal changes in the main catches from Lüsi fishing ground, we measured fatty acid composition of the main catches collected through a fishery resources survey in May 2018, August 2018, and October 2018. We analyzed feeding habits based on fatty acid biomarkers. The results of the eight main catches showed that the value for PUFA/SFA was 0.88~1.79 and that for n-3/n-6 was 2.56~3.18. C16:1n7,  $\Sigma 15+\Sigma 17$  increased significantly in summer ( $P<0.05$ ). The EPA+DHA, PUFA/SFA, n-3/n-6, C20:4n6, C22:6n3, and  $\Sigma 22+\Sigma 24$  increased and C20:1+C22:1 decreased significantly in autumn ( $P<0.05$ ). Previous studies have shown that the nutritional value of each catch is high and was significantly higher in autumn than in spring and summer. The nutritional value of *Collichthys lucidus* and *Larimichthys polyactis* was the highest. DHA/EPA and cluster analysis divided the catches into three groups: *Parapenaeopsis hardwickii*, *Metapenaeus joyneri* and *Charybdis japonica*; *Coilia mystus*, *Johnius belangerii*, *C. lucidus* and *L. polyactis*; *Pampus argenteus*. *P. hardwickii*, *M. joyneri* and *C. japonica* preferred phytoplankton and benthos. *L. polyactis* and *C. mystus* preferred zooplankton. *P. argenteus* preferred phytoplankton and zooplankton. *C. lucidus* and *J. belangerii* had no obvious preferences. In general, food source on diatoms and bacteria increased significantly in summer. In autumn, food source significantly increased on benthos, dinoflagellates, and terrestrial plants and it decreased on zooplankton.

**Key words** Fatty acid; Nutritional value; Feeding habits; Season; Catches; Lüsi fishing ground

① Corresponding author: ZHANG Shuo, E-mail: s-zhang@shou.edu.cn