

## 浙江南部近海小黄鱼肌肉脂肪酸组成及食源指示分析

王腾, 高春霞, 王少琴, 韩东燕, 叶深

### Characteristics of fatty acid composition and dietary indication of small yellow croaker in the offshore waters of southern Zhejiang

WANG Teng, GAO Chunxia, WANG Shaoqin, HAN Dongyan, YE Shen

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20200603085>

#### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 浙江南部近海小黄鱼生长、死亡和单位补充量渔获量

Growth, mortality and yield per recruitment of small yellow croaker in offshore waters of southern Zhejiang

中国水产科学. 2019, 26(5): 925 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1118.2019.19004>

#### 吕泗渔场小黄鱼和棘头梅童鱼秋季脂肪酸组成及食性研究

Research on fatty acid composition and feeding habits of *Larimichthys polyactis* and *Collichthys lucidus* from Lyusi fishing ground during autumn

中国水产科学. 2020, 27(8): 943 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1118.2020.20102>

#### 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼生长、肌肉脂肪酸组成和体色的影响

Effects of dietary fish oil replaced with rapeseed oil on the growth, fatty acid composition and skin color of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)

水产学报. 2013, 37(5): 751 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1231.2013.38430>

#### 基于稳定同位素技术的浙江南部近海主要渔业生物营养级

Trophic structure of major fishery organisms in the offshore waters of southern Zhejiang: insights from stable isotope analysis

中国水产科学. 2020, 27(4): 438 <https://doi.org/10.3724/SP.J.1118.2020.19257>

#### 禁食对养殖大黄鱼体成分、肌肉脂肪酸组成和血清生化指标的影响

Effect of fasting on body composition, muscle fatty acid profiles and serum biochemical parameters of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)

水产学报. 2016, 40(9): 1440 <https://doi.org/10.11964/jfc.20151210216>

#### 亚麻籽油和豆油替代鱼油对大黄鱼肝脏和肌肉脂肪酸组成及 $\Delta 6$ Fad 基因表达的影响

THE EFFECTS OF LINSEED OIL AND SOYBEAN OIL ON FATTY ACID COMPOSITION AND  $\Delta 6$ FAD GENE EXPRESSION IN LIVER AND MUSCLE OF LARGE YELLOW CROAKER (*LARIMICHTHYS CROCEA*)

水生生物学报. 2018, 42(2): 232 <https://doi.org/10.7541/2018.029>

文章编号: 1674-5566(2021)06-0992-10

DOI:10.12024/jsou.20200603085

## 浙江南部近海小黄鱼肌肉脂肪酸组成及食源指示分析

王 腾<sup>1</sup>, 高春霞<sup>1,2,3,4</sup>, 王少琴<sup>1,2,3,4</sup>, 韩东燕<sup>1,2</sup>, 叶 深<sup>5</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306; 5. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江温州 325005)

**摘 要:** 小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 是我国近海重要的经济和优势鱼种, 在食物网结构中起承上启下的关键作用。利用气相色谱质谱联用仪测定了浙江南部近海小黄鱼的肌肉脂肪酸含量并分析其组成变化特点, 基于特征脂肪酸的食源指示功能开展小黄鱼的食性分析。结果表明: 小黄鱼肌肉中共检测出 30 种脂肪酸, 主要脂肪酸包括 C16:0、C17:0、C18:1n9c、C18:3n3、C16:1n7、C20:1、C20:4n6、C20:5n3 (EPA) 和 C22:6n3 (DHA) 等, 其中 C16:0 含量最高 (23.12%), 其次为 C18:1n9c (16.67%)、C16:1n7 (11.45%) 和 C22:6n3 (11.40%); 肌肉中不饱和脂肪酸 (UFA) 平均含量达到 60.20%, 显著高于饱和脂肪酸 (SFA) 的含量 (39.80%), DHA 和 EPA 在机体中含量占比达 15.54%, 体现出小黄鱼肌肉具有较高营养价值; 双因素方差分析显示饱和脂肪酸含量在体长组间存在显著差异, 含量随着体长的增大而减小, 而单不饱和脂肪酸 (MUFA) 含量存在显著的季节性差异; 绝大多数特征脂肪酸在各季节的体长组间无显著差异, 而 120~139 mm 体长组和 >180 mm 体长组的 C16:1n7、C20:1 和 C18:1n9c 在冬季的含量显著小于其他季节; 基于脂肪酸食源指示功能, 小黄鱼属于浮游、底栖与游泳动物混合食性的鱼类, 初始碳源包括浮游硅藻类、甲藻类和底栖生物等。本研究利用了特征脂肪酸稳定指示食物来源的特点, 进一步补充和验证文献资料中小黄鱼的胃含物分析结果, 为小黄鱼的摄食生态学研究提供重要参考。

**关键词:** 小黄鱼; 脂肪酸; 食源指示; 浙江南部近海  
**中图分类号:** S 963.1      **文献标志码:** A

脂肪酸是生物体内脂质的主要组成部分, 机体主要能量来源之一, 在生物整个生活史中起着重要的作用<sup>[1]</sup>。海洋中初级生产者浮游植物和大型藻类会产生不同程度的不饱和 14C~24C 脂肪酸<sup>[2]</sup>, 这些初级生产者中的一些特定脂肪酸能够通过摄食过程保守地传递到较高营养级生物中, 从而使得脂肪酸可用作生物标志物, 指示生物在一定时期内的摄食情况<sup>[3-5]</sup>, 如 C20:1 和 C22:1 是指示桡足类 (Copepods) 摄食浮游植物和高营养级摄食植食性桡足类的特征脂肪酸指标<sup>[6]</sup>。在海洋生物的食性分析中, 特征脂肪酸已被广泛应用于研究其摄食来源, HOWELL 等<sup>[7]</sup>采用胃含物分析结合脂肪酸标记技术来研究大西

洋 9 种海星的食性, 通过胃含物分析结果证实了利用 C22:2n6 和 C16:1n7 等特征脂肪酸确定食物来源模式的准确性; PETHYBRIDGE 等<sup>[8]</sup>把脂肪酸标志法作为胃含物分析的补充方法, 利用特征脂肪酸的多变量分析对澳大利亚塔斯马尼亚岛大陆坡的 16 种软骨鱼的食性进行研究; 金鑫等<sup>[5]</sup>基于脂肪酸标志法和碳氮稳定同位素比值法对东海水母常见种的食性进行分析, 发现不同水母在不同季节的摄食种类存在较大差异; 李莉等<sup>[9]</sup>对海州湾脊尾白虾 (*Exopalaemon carinicauda*) 脂肪酸组成特点及食性进行了探讨, 认为脊尾白虾为底栖杂食食性, 主要摄食硅藻、甲壳类和双壳类等。

收稿日期: 2020-06-18      修回日期: 2020-09-13

基金项目: 国家自然科学基金 (31902372, 41906074); 上海海洋大学青年教师科研启动基金 (210021); 温台渔业资源专项调查项目 (158053)

作者简介: 王 腾 (1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为摄食生态学。E-mail: 425997644@qq.com

通信作者: 高春霞, E-mail: cxgao@shou.edu.cn

小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*), 隶属石首鱼科 (Sciaenidae) 黄鱼属 (*Larimichthys*), 暖温性近底层鱼类, 广泛分布于中国东海、黄海和渤海<sup>[10]</sup>。小黄鱼是中国近海重要的渔业经济种类, 也是中国近海海洋食物网中的优势种类, 在食物网结构中起着承上启下的作用, 其资源变动对近海食物网结构稳定至关重要。当前由于渔业捕捞和环境污染的影响, 小黄鱼的资源量较 20 世纪 60 年代出现大幅下降<sup>[11-12]</sup>。林龙山等<sup>[13-14]</sup>、严利平等<sup>[15]</sup>发现东海及南、黄海小黄鱼种群结构均出现低龄化、小型化和性成熟提前等资源衰退迹象。考虑到个体发育与摄食习性息息相关, 小黄鱼的小型化特征势必影响其摄食习性, 随之表现出不同体型鱼体可能存在不同的食物来源。为此, 本研究通过浙江南部近海 2017 年 5 月 (春季)、8 月 (夏季)、11 月 (秋季) 和 2018 年 2 月 (冬季) 等 4 个季节底拖网调查采集到的小黄鱼样本, 对不同体长和季节小黄鱼肌肉中的脂肪酸含量进行测定, 分析脂肪酸的组成变化特征和探究特征脂肪酸在

发育过程中的变动规律, 揭示特征脂肪酸对小黄鱼食源种类的指示功能, 为我国近海小黄鱼摄食生态及能量流动研究提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本来源

样本来源于 2017 年 5 月、8 月、11 月和 2018 年 2 月浙江南部近海海域 (27°00'N ~ 29°00'N 和 120°30'E ~ 123°00'E) 的海洋渔业资源调查项目。调查船为大型单船网板底拖网作业船, 根据《海洋调查规范》开展定点拖网调查 (图 1)。所捕渔获以冷冻方式保存并带回实验室进行分析。在实验室对渔获物进行种类鉴定<sup>[16]</sup>和生物学测定, 每个站点随机选择 30 尾小黄鱼样本进行测定, 不足 30 尾的全部测定, 测定小黄鱼的体长、体质量等生物学数据, 体长精确至 0.1 cm。选择 58 尾不同体长组小黄鱼样本开展脂肪酸测定及含量分析, 并按照 20 mm 的组距对样本进行分组 (表 1)。

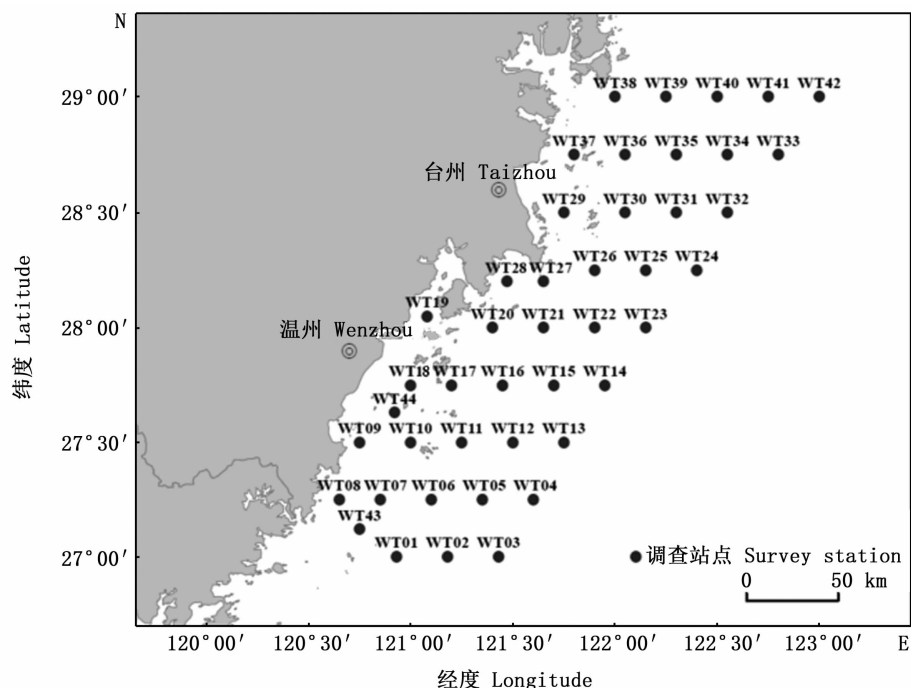


图 1 浙江南部近海调查站位

Fig. 1 Survey stations in the offshore waters of southern Zhejiang

表 1 样品采集季节、数量及体长范围  
Tab.1 Sampling season, number and body length range of samples

季节 Season	数量 Number/尾						体长范围 Body length range/mm	总计 Total/尾
	<100 mm	100 ~ 119 mm	120 ~ 139 mm	140 ~ 159 mm	160 ~ 180 mm	>180 mm		
春季 Spring	0	0	7	4	1	0	125 ~ 165	12
夏季 Summer	1	3	3	4	2	2	97 ~ 211	15
秋季 Autumn	1	6	2	1	6	2	89 ~ 190	18
冬季 Winter	0	2	2	4	3	2	116 ~ 183	13
总计 Total	2	11	14	13	12	6	89 ~ 211	58

## 1.2 样本处理方法

取小黄鱼背部肌肉组织,用超纯水冲洗,置于冷冻干燥机(Christ 1-4 $\alpha$ )冷冻干燥 24 h,干燥样品用混合型球磨机(Retsch-MM440)粉碎研磨,过 100 目筛,以备粗脂提取。粗脂提取方法参考 FORLCH 等<sup>[17]</sup>方法进行,取 0.2 g 粉末置于离心管,加入 15 mL 体积比为 2:1 的三氯甲烷-甲醇溶液,浸泡 24 h,离心后取上层清液,再加入 10 mL 三氯甲烷-甲醇溶液润洗,离心取上层清液,合并 2 次所得的上层清液于离心管中,加入 4 mL 0.9% 的氯化钠溶液,静置 2 h,取下层溶液于圆底烧瓶中进行水浴蒸发得到总脂质;参照国家动植物油脂、脂肪酸甲酯制备的标准方法(GB T/17376—2008)进行脂肪酸甲酯化:在圆底烧瓶中加入 4 mL 0.5 mol/L 的氢氧化钠-甲醇溶液,混合后连接水浴回流装置,水浴加热 8 min,加入 4 mL 三氯化硼-甲醇溶液煮沸 25 min,最后加入 4 mL 正己烷回流萃取 2 min;冷却后加入 10 mL 饱和氯化钠溶液,摇晃均匀后倒入试管静置分层 1 h。用注射器吸取一定量的上层正己烷层待测。以 37 种脂肪酸甲酯混标的保留时间作为对照进行定性,以十九烷酸甲酯标准品作为内标进行定量。脂肪酸含量使用以下内标法公式得出其质量分数,单位为 mg/g。

$$X_i = F_i \times (A_i/A_{19}) \times (m_{19}/m) \times 100 \quad (1)$$

式中: $X_i$  为待测样品中组分  $i$  的含量,%; $A_i$  为组分  $i$  的峰面积; $m$  为样品的质量,mg; $m_{19}$  为内标物十九烷酸甲酯的质量,mg; $A_{19}$  为待测样品中加入内标物的峰面积; $F_i$  为组分  $i$  与内标物的校正因子之比,称为相对校正因子。

测试仪器为气相色谱-质谱联用仪(GC-MS 7890B,美国 Agilent),在上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室分析测试平台完成脂肪酸含量测定。

## 1.3 数据处理

脂肪酸含量结果以平均值  $\pm$  标准误差的形式表示。利用 Pearson 相关分析研究脂肪酸与体长之间的相关性;在开展脂肪酸的体长和季节变化分析时考虑到这 2 种变量可能在脂肪酸含量的组间差异分析中存在一定的交互影响,因此采用随机区组设计方差分析判断两因素间是否存在交互作用,若无交互作用,则分析两因素各自的主效应,反之采用双因素的简单效应检验;采用非参数检验特征脂肪酸含量在不同季节和不同体长组间的差异性,统计分析的显著性水平为  $P < 0.05$ 。开展方差检验之前,利用了 K-S 检验样本数据的正态性分布,并使用 Levene 检验方差齐性。以上统计分析在 SPSS 23.0 软件中开展。

## 2 结果

### 2.1 脂肪酸组成

从浙江南部近海 58 尾小黄鱼的肌肉组织中共检测出 30 种脂肪酸(表 2),其中:饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)有 10 种,占总脂肪酸含量的 39.80%;不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acids, UFA)包含 9 种单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)和 11 种多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA),分别占总脂肪酸含量的 33.80% 和 26.40%,饱和脂肪酸含量是饱和脂肪酸含量的 1.5 倍。饱和脂肪酸 C16:0 的平均含量最高,占总脂肪酸含量的 23.12%,含量较高的单种脂肪酸还有 C16:1n7(11.45%)、C18:0(8.07%)、C18:1n9c(16.67%)和 C22:6n3(11.40%)。n-3 和 n-6 系列多不饱和脂肪酸的含量分别为  $(10.80 \pm 3.56)$  mg/g 和  $(3.89 \pm 1.60)$  mg/g,占总脂肪酸含量的 18.47% 和 6.66%,其中具有高营养价值的 DHA 和 EPA 分别占 11.40% 和 4.14%。

## 2.2 SFA、MUFA、PUFA 和 DHA/EPA 随体长和季节的变化

SFA、MUFA、PUFA 和 DHA/EPA 是小黄鱼肌肉脂肪酸组成特征的重要指标。经随机分组设计方差分析,小黄鱼的 SFA、MUFA、PUFA 和 DHA/EPA 的双因素交互作用均不显著 ( $P > 0.05$ ),因此只需考虑体长和季节的主效应。根据主效应检验结果(表 3)显示,SFA 含量在各体长组间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ),在体长  $< 100$

mm 时,SFA 的含量最高为  $(39.35 \pm 2.8)$  mg/g,随着体长的增加 SFA 含量呈显著降低趋势,经 Pearson 相关分析显示,SFA 含量与体长呈极显著的线性负相关性 ( $P = 0.002 < 0.01$ );其他如 MUFA 和 PUFA 等在体长组间均无显著差异 ( $P > 0.05$ ),但通过比对数据发现,PUFA 在  $\geq 160$  mm 的体长组含量明显低于  $< 160$  mm 的体长组,经独立样本非参数检验两体长组间 PUFA 含量的确存在显著差异 ( $P = 0.036 < 0.05$ )。

表 2 浙江南部近海小黄鱼肌肉的脂肪酸组成

Tab. 2 The fatty acid composition in the muscle of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) from the offshore waters of southern Zhejiang

脂肪酸 Fatty acid	平均含量 Average content/(mg/g)	百分含量 Percentage/%	食物源 Food sources	参考文献 References
C14:0	1.53 ± 1.12	2.62	硅藻纲	[4]
C15:0	0.47 ± 0.17	0.80	浮游细菌	[18]
C16:0	13.52 ± 6.39	23.12	硅藻纲	[4]
C17:0	0.69 ± 0.27	1.18	浮游细菌	[18]
C18:0	4.72 ± 2.23	8.07		
C20:0	0.09 ± 0.16	0.15		
C21:0	0.34 ± 0.17	0.58		
C22:0	0.48 ± 0.22	0.83		
C23:0	0.67 ± 0.35	1.15		
C24:0	0.76 ± 0.37	1.30		
SFA	23.27 ± 8.99	39.80		
C14:1n5	0.32 ± 0.14	0.54		
C15:1n5	0.37 ± 0.19	0.63		
C16:1n7	6.70 ± 5.50	11.45	硅藻纲	[19]
C17:1n7	0.13 ± 0.35	0.22		
C18:1n9t	0.58 ± 0.29	0.99	褐藻/浮游动物	[20]
C18:1n9c	9.75 ± 7.83	16.67	褐藻/浮游动物	[20]
C20:1	0.96 ± 0.38	1.64	植食性桡足类	[21]
C22:1n9	0.55 ± 0.39	0.94		
C24:1n9	0.42 ± 0.21	0.72		
MUFA	19.77 ± 13.00	33.80		
C18:2n6t	0.29 ± 0.35	0.50	海草/陆地植物	[22]
C18:2n6c	0.90 ± 0.33	1.53		
C18:3n6	0.57 ± 0.30	0.98		
C18:3n3	0.68 ± 0.29	1.16	海草/陆地植物	[22]
C20:2	0.75 ± 0.36	1.28		
C20:3n6	0.67 ± 0.35	1.15		
C20:3n3	1.03 ± 0.42	1.76		
C20:4n6(ARA)	1.17 ± 0.43	2.00	底栖生物	[21]
C22:2n6	0.29 ± 0.40	0.50		
C20:5n3(EPA)	2.42 ± 1.12	4.14	硅藻纲	[4]
C22:6n3(DHA)	6.67 ± 2.38	11.40	甲藻纲	[4]
PUFA	15.44 ± 4.69	26.40		
DHA/EPA <sup>#</sup>	2.96 ± 0.87	-	生物营养级	[5]
PUFA/SFA <sup>#</sup>	0.73 ± 0.30	-		
n-3	10.80 ± 3.56	18.47		
n-6	3.89 ± 1.60	6.66		
n-3/n-6 <sup>#</sup>	2.96 ± 0.85	-		

注: - 表示未检测到; # 表示无量纲单位。

Notes: - indicates undetected; # indicates non-dimensionalize.

表 3 小黄鱼肌肉组织 SFA、MUFA、PUFA 和 DHA/EPA 的体长组变化  
Tab. 3 The body length classes variations of fatty acid composition of SFA, MUFA, PUFA, DHA/EPA in the muscle tissue of *Larimichthys polyactis*

类别 Types	体长组 Body length classes/mm						P
	<100	100~119	120~139	140~159	160~180	>180	
SFA/(mg/g)	39.35 ± 3.95	27.46 ± 10.96	22.58 ± 6.46	22.30 ± 7.26	21.10 ± 8.46	17.48 ± 8.42	0.023 *
MUFA/(mg/g)	17.87 ± 0.07	21.86 ± 15.44	18.13 ± 9.48	22.68 ± 15.69	18.13 ± 13.42	17.46 ± 13.34	0.859
PUFA/(mg/g)	18.49 ± 3.35	16.16 ± 3.45	15.38 ± 4.05	17.32 ± 7.09	13.41 ± 3.65	13.41 ± 3.13	0.210
DHA/EPA#	1.86 ± 0.06	2.45 ± 0.66	3.15 ± 0.97	3.42 ± 1.04	2.98 ± 0.53	2.93 ± 0.69	0.241

注: \* 表示组间存在显著性差异; # 表示无量纲单位。

Notes: \* means significant difference; # indicates non-dimensionalized.

根据季节的主效应检验结果(表 4)显示: MUFA 含量在季节间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 春季、夏季与秋季的含量明显高于冬季; SFA、PUFA 未呈现出显著的季节差异 ( $P > 0.05$ ), 但冬季含量相对其他季节要偏低; DHA/EPA 在季节和体长组间均无显著性差异 ( $P >$

0.05), 但是检验  $< 119$  mm 体长组与  $> 120$  mm 体长组的 DHA/EPA 时发现该值在两组间存在显著差异 ( $P = 0.002 < 0.05$ ), Pearson 相关性检验显示体长组与含量间呈显著正相关系 ( $P = 0.003 < 0.05$ ), 表明小个体中的 DHA/EPA 相对更低。

表 4 小黄鱼肌肉组织 SFA、MUFA、PUFA 和 DHA/EPA 的季节变化  
Tab. 4 The seasonal variations of fatty acid composition of SFA, MUFA, PUFA, DHA/EPA in the muscle tissue of *Larimichthys polyactis*

类别 Types	季节 Season				P
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	
SFA/(mg/g)	25.90 ± 6.17	24.28 ± 9.38	24.51 ± 10.81	17.97 ± 6.29	0.102
MUFA/(mg/g)	23.79 ± 9.32	21.46 ± 11.55	23.59 ± 16.28	8.80 ± 4.50	0.006 *
PUFA/(mg/g)	15.35 ± 3.31	15.53 ± 3.65	16.19 ± 5.90	14.37 ± 5.23	0.558
DHA/EPA#	3.38 ± 0.38	3.07 ± 1.26	2.52 ± 0.74	3.05 ± 0.56	0.389

注: \* 表示组间存在显著性差异; # 表示无量纲单位。

Notes: \* means significant difference; # indicates non-dimensionalized.

### 2.3 特征脂肪酸的组成变化

浙江南部近海小黄鱼肌肉中发现有 13 种特征脂肪酸, 其中有几种主要特征脂肪酸 C18:1n9c、C16:1n7、C22:6n3、C20:5n3 和 C20:4n6 的平均含量相对占比较高 ( $> 2\%$ ), 基于特征脂肪酸指示小黄鱼的初始食源包括浮游硅藻、甲藻、褐藻和底栖生物等。

采用非参数检验主要特征脂肪酸在季节和体长间的组成变化差异(表 5): 从体长组差异来看, 除冬季的 C17:0 和夏季、冬季的 C18:3n3 外, 其他的特征脂肪酸在各季节的体长组间并无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 从季节差异来看, 部分主要特征脂肪酸含量具有显著的季节差异, 如 120~139 mm 体长组和  $> 180$  mm 体长组的 C14:0、C16:1n7、C20:1 和 C18:1n9c 存在显著的季节差异 ( $P < 0.05$ ), 冬季的含量要显著小于其他季节; 个别特征脂肪酸 C20:4n6、C20:5n3 和 C22:6n3 含量在各季节间和体长组间均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 小黄鱼的脂肪酸组成及营养价值

小黄鱼是我国近海重要的鱼类, 肉质鲜美, 营养价值高<sup>[23]</sup>。浙江南部近海小黄鱼的肌肉组织中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的比例分别为 39.80%、33.80% 和 26.40%, 不饱和脂肪酸含量显著高于饱和脂肪酸, 这与水生生物中脂肪酸主要为不饱和脂肪酸的结论<sup>[2]</sup>一致。衡量油脂营养价值高低的两个重要指标是不饱和脂肪酸和必需脂肪酸的含量<sup>[24]</sup>。研究中小黄鱼的不饱和脂肪酸含量达到 60.20% (单不饱和脂肪酸 MUFA 33.80% + 多不饱和脂肪酸 PUFA 26.40%), 高于舟山小黄鱼<sup>[25]</sup>的不饱和脂肪酸含量(41.13%), 其中 26.4% 的 PUFA 含量与刘慧慧等<sup>[26]</sup>检测舟山海域小黄鱼的 PUFA 含量相近, PUFA 是重要的风味前体物质, 体现出小黄鱼肌肉的鲜美多汁。必需脂肪酸是指机体无法自身合成, 只能从较低的营养级生物中摄食获

得,如 n-3、n-6 系列多不饱和脂肪酸<sup>[27]</sup>。本文中 n-3、n-6 系列多不饱和脂肪酸含量达到 25.13%,其中与人和动物生长发育相关的 C20:5n3 (EPA, 2.42 mg/g) 和 C22:6n3 (DHA, 6.67 mg/g)<sup>[28]</sup> 的

含量在 PUFA 总含量中占比较高,与王立改等<sup>[23]</sup> 检测的 4 个地域野生小黄鱼的含量基本一致, n-3、n-6 系列多不饱和脂肪酸含量更进一步证明了小黄鱼的营养价值较高。

表 5 小黄鱼主要特征脂肪酸含量的季节和体长组变化  
Tab. 5 Variations of signature fatty acid content with respect to different sampling seasons and body length classes for *Larimichthys polyactis*

种类 Types	分组 Groups	<100 mm	100 ~ 119 mm	120 ~ 139 mm	140 ~ 159 mm	160 ~ 180 mm	>180 mm	P
C14:0	春	-	-	2.07 ± 0.92	1.49 ± 0.77	1.52 ± 0.00	-	0.304
	夏	2.29 ± 0.00	1.80 ± 0.15	0.85 ± 0.50	1.31 ± 1.18	2.70 ± 0.12	2.40 ± 0.66	0.448
	秋	1.28 ± 0.00	1.90 ± 1.46	1.01 ± 0.00	5.82 ± 0.00	1.31 ± 1.06	0.99 ± 0.36	0.298
	冬	-	0.60 ± 0.23	1.07 ± 1.00	1.09 ± 0.91	0.59 ± 0.22	0.32 ± 0.01	0.348
	P	-	0.051	0.049*	0.243	0.056	0.017*	-
C16:1n7	春	-	-	8.33 ± 3.99	9.65 ± 5.07	8.45 ± 0.00	-	0.692
	夏	5.87 ± 0.00	5.43 ± 0.92	3.57 ± 2.65	7.83 ± 7.48	15.42 ± 0.45	13.68 ± 1.62	0.142
	秋	4.31 ± 0.00	8.53 ± 6.57	4.71 ± 0.00	20.64 ± 0.00	6.56 ± 5.95	4.06 ± 2.71	0.631
	冬	-	1.10 ± 0.26	2.80 ± 2.83	2.29 ± 1.25	1.44 ± 0.65	1.01 ± 0.22	0.574
	P	-	0.241	0.018*	0.030*	0.024*	0.017*	-
C17:0	春	-	-	0.68 ± 0.22	0.49 ± 0.13	0.51 ± 0.00	-	0.069
	夏	0.96 ± 0.00	0.93 ± 0.21	0.59 ± 0.17	0.64 ± 0.25	0.62 ± 0.05	0.73 ± 0.16	0.142
	秋	1.28 ± 0.00	0.71 ± 0.22	0.66 ± 0.00	1.43 ± 0.00	0.58 ± 0.26	0.73 ± 0.39	0.262
	冬	-	0.67 ± 0.01	0.85 ± 0.53	0.79 ± 0.38	0.56 ± 0.14	0.35 ± 0.00	0.029*
	P	-	0.138	0.946	0.096	0.602	0.112	-
C18:1n9c	春	-	-	11.73 ± 5.39	13.25 ± 5.59	9.94 ± 0.00	-	0.812
	夏	8.32 ± 0.00	8.87 ± 2.60	5.11 ± 3.22	11.51 ± 9.44	11.71 ± 10.24	16.40 ± 1.44	0.244
	秋	6.86 ± 0.00	16.00 ± 4.38	8.13 ± 0.00	27.99 ± 0.00	10.07 ± 9.54	6.54 ± 2.95	0.423
	冬	-	2.02 ± 0.83	4.50 ± 4.58	3.58 ± 2.11	2.76 ± 1.24	1.40 ± 0.29	0.416
	P	-	0.310	0.018*	0.030*	0.082	0.017*	-
C18:3n3	春	-	-	0.68 ± 0.24	0.49 ± 0.11	0.54 ± 0.00	-	0.133
	夏	1.07 ± 0.00	0.98 ± 0.22	0.58 ± 0.17	0.59 ± 0.17	0.56 ± 0.08	0.48 ± 0.07	0.030*
	秋	1.34 ± 0.00	0.64 ± 0.23	0.69 ± 0.00	0.89 ± 0.00	0.45 ± 0.09	0.78 ± 0.57	0.109
	冬	-	0.79 ± 0.00	1.04 ± 0.62	0.91 ± 0.44	0.65 ± 0.16	0.39 ± 0.02	0.021*
	P	-	0.241	0.541	0.096	0.602	0.427	-
C20:1	春	-	-	1.34 ± 0.45	0.84 ± 0.28	0.97 ± 0.00	-	0.097
	夏	0.99 ± 0.00	1.04 ± 0.28	0.70 ± 0.17	0.89 ± 0.29	1.17 ± 0.05	1.12 ± 0.35	0.511
	秋	1.57 ± 0.00	0.81 ± 0.30	0.83 ± 0.00	1.41 ± 0.00	0.65 ± 0.22	0.96 ± 0.57	0.336
	冬	-	0.91 ± 0.02	1.30 ± 0.67	1.05 ± 0.50	0.86 ± 0.07	0.47 ± 0.03	0.091
	P	-	0.482	0.309	0.317	0.602	0.047*	-
C20:4n6	春	-	-	0.89 ± 0.27	0.81 ± 0.13	0.87 ± 0.00	-	0.937
	夏	1.18 ± 0.00	1.17 ± 0.22	0.99 ± 0.13	1.16 ± 0.41	0.90 ± 0.26	1.34 ± 0.11	0.723
	秋	2.03 ± 0.00	1.26 ± 0.36	1.08 ± 0.00	2.59 ± 0.00	1.10 ± 0.37	1.33 ± 0.52	0.423
	冬	-	1.23 ± 0.10	1.40 ± 0.68	1.65 ± 0.78	1.07 ± 0.34	1.04 ± 0.27	0.574
	P	-	0.686	0.067	0.093	0.602	0.233	-
C20:5n3	春	-	-	2.35 ± 0.68	2.13 ± 0.54	2.51 ± 0.00	-	0.937
	夏	3.11 ± 0.00	2.62 ± 0.35	1.86 ± 0.55	2.34 ± 1.29	2.86 ± 1.63	2.41 ± 0.55	0.511
	秋	3.36 ± 0.00	3.28 ± 1.31	2.17 ± 0.00	7.43 ± 0.00	2.20 ± 1.08	2.18 ± 0.13	0.093
	冬	-	1.81 ± 0.36	2.11 ± 0.85	2.11 ± 0.68	1.48 ± 0.39	1.20 ± 0.17	0.070
	P	-	0.482	0.635	0.868	0.614	0.112	-
C22:6n3	春	-	-	7.76 ± 1.94	7.48 ± 1.87	7.79 ± 0.00	-	0.937
	夏	5.92 ± 0.00	5.97 ± 0.75	5.29 ± 1.37	8.96 ± 3.59	7.46 ± 3.50	6.89 ± 1.62	0.288
	秋	6.10 ± 0.00	6.93 ± 1.57	4.61 ± 0.00	15.85 ± 0.00	6.08 ± 1.74	5.19 ± 2.37	0.423
	冬	-	5.73 ± 2.15	5.90 ± 2.19	5.88 ± 2.29	4.39 ± 0.64	4.29 ± 0.75	0.288
	P	-	0.696	0.090	0.617	0.082	0.233	-

注: - 表示未检验。

Notes: - indicates untested.

### 3.2 小黄鱼脂肪酸组成的体长和季节变化

体长较大的鱼类游泳能力要强于体长小的鱼类,这反映在脂肪酸组成上便是供能脂肪酸在不同体型个体中的含量存在一定差异<sup>[29]</sup>。脂肪酸中的饱和脂肪酸 SFA 可以为机体提供能量,动物在游动过程中会优先消耗 SFA<sup>[30-31]</sup>,因此大体长组 SFA 的含量要低于小体长组。本研究发现大个体(>180 mm)的 SFA 含量仅为小个体(<100 mm)的 0.44 倍,也证实了这一结论。生物体主要靠自身合成和食物摄入来补充脂肪酸的含量,在脂肪酸的合成能力方面,低等生物比高等生物更胜一筹,对于鱼类这种在水体中等级较高的物种来说,多数多不饱和脂肪酸 PUFA 无法自身合成,只能通过摄食低营养层级的浮游动植物获得<sup>[2,32]</sup>。本研究中,<160 mm 体长组的 PUFA 明显比 >160 mm 体长组的含量高,究其原因,很可能是个体相对较小的小黄鱼个体摄取大量具有较强脂肪酸合成能力的初级生物,如浮游动物等。研究发现冬季 SFA、MUFA 和 PUFA 的含量相对其他季节要更低,尤其 MUFA 的冬季含量显著小于其他季节( $P < 0.05$ ),究其原因因为冬季海水温度下降,鱼体利用氨基酸作为能量代谢的能力大大下降,在代谢适应方面会转为以脂肪酸作为主要能量来源,同时冬季低温会影响初始碳源的生长及动物的摄食率,相应也会降低必需氨基酸的摄入量<sup>[33-34]</sup>。

### 3.3 特征脂肪酸的食源指示分析

JEFFRIES 等<sup>[35]</sup>研究表明,海洋生态系统中浮游植物会影响生物的脂肪酸组成,每一类浮游植物可以由某些特征脂肪酸指示。C16:0 在小黄鱼中虽含量较高,但它是机体中普遍存在且可通过自身合成的一类脂肪酸,无法采信其指示信息<sup>[9]</sup>;C16:1n7 在机体中无法自身合成,指示了浮游硅藻<sup>[19]</sup>在小黄鱼初始食源中的重要性,硅藻是世界上光能利用最成功、光能利用率最高的有机体,也是浮游动物、鱼虾类等水生生物喜爱摄食种类,文中 C16:1n7 的总含量达到 11.45%,考虑到小黄鱼并非初级消费者<sup>[36]</sup>,应是通过摄食浮游动物或鱼虾等方式间接摄入。在海洋生态系统中,C18:1n9 被认为是肉食性的食性表征,在底栖生态系统中则被认为是褐藻、浮游动物等的食物标志<sup>[20]</sup>,研究中小黄鱼的 C18:1n9 含量较高,表明底栖甲壳类或其他无脊椎动物幼体可能是

小黄鱼的摄食来源之一。同时,本研究中小黄鱼的 C20:1 含量占总脂肪酸含量的 1.64%,表现出一定的植食性桡足类食性<sup>[21]</sup>,说明小黄鱼捕食植食性桡足类,但其含量较低,无法判断是直接或间接摄食。C18:2n6 和 C18:3n3 是指示陆生植物的特征脂肪酸<sup>[22]</sup>,而本文中小黄鱼含有该种脂肪酸(1.53% 和 1.16%),显示小黄鱼的食物中可能有陆源成分,其来源有可能是温州瓯江和台州椒江等陆源河流带来的陆地植物碎屑,也可能是浮游动物对植物碎屑的摄入<sup>[37]</sup>。食物网中浮游细菌对应的特征脂肪酸为 C15:0 和 C17:0<sup>[18]</sup>,本研究中小黄鱼肌肉中检测出该种脂肪酸,说明浮游细菌对小黄鱼食物能量来源有一定的贡献,也可能来自细菌附着的悬浮颗粒或者碎屑物质,但在本研究中含量较低(分别占 0.80% 和 1.18%),因此浮游细菌对小黄鱼的饵料贡献相对较小。综上,小黄鱼是具有浮游、底栖与游泳动物混合食性的一类经济鱼种,其中摄食的浮游动物可能是桡足类。

研究中对小黄鱼的主要特征脂肪酸季节和体长差异进行分析,发现其中几种主要特征脂肪酸 C16:1n7、C20:1 和 C18:1n9c 在冬季的含量相对更低,主要原因为冬季的水温低导致外界环境中饵料生物生长的减缓<sup>[34]</sup>,小黄鱼为满足自身的生长需求,在摄食策略上发生一定改变。这种摄食策略还体现在个体发育过程中,一般来说,DHA/EPA 会随着营养级的升高而升高<sup>[5]</sup>,本文中中大个体的 DHA/EPA 相对小个体更大,说明随着小黄鱼的长大,其在食物网中的营养地位有所提高,间接地说明了小黄鱼食性的转变,可能由浮游动物食性转变到营养级更高的虾/鱼食性,尤其 <120 mm 体长组与 ≥120 mm 体长组存在显著差异,这与高春霞<sup>[38]</sup>利用稳定同位素研究不同体长组小黄鱼营养级变动结果一致,小个体组(8.00 ~ 11.57 mm, TL = 10.2)的小黄鱼营养级要显著低于中个体组(11.58 ~ 15.13 mm, TL = 11.03)。小黄鱼这种食性转换既能满足不同阶段生长发育的营养需求,又可以缓和它们对饵料资源的竞争。

### 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] 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.
- [3] DALSGAARD J, JOHN M S, KATTNER G, et al. Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment [J]. Advances in Marine Biology, 2003, 46: 225-340.
- [4] PARRISH C C, ABRAJANO T A, BUDGE S M, et al. Lipid and phenolic biomarkers in marine ecosystems: analysis and applications [M]//WANGERSKY P J. Marine Chemistry. Berlin, Heidelberg: Springer, 2000: 193-223.
- [5] 金鑫, 李超伦, 孙松, 等. 基于脂肪酸标记的长江口海区浮游动物常见种食性分析[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(6): 1083-1090.
- JIN X, LI C L, SUN S, et al. The diet of the common zooplankton species in Changjiang estuary adjacent sea revealed by fatty acid analysis[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(6): 1083-1090.
- [6] FALK-PETERSEN S, SARGENT J R, TANDE K S. Lipid composition of zooplankton in relation to the sub-Arctic food web[J]. Polar Biology, 1987, 8(2): 115-120.
- [7] HOWELL K L, BILLET D S M, TYLER P A, et al. Feeding ecology of deep-sea seastars (Echinodermata: Asteroidea): a pigment biomarker approach [J]. Marine Ecology Progress Series, 2004, 266: 103-110.
- [8] PETHYBRIDGE H, DALEY R K, NICHOLS P D. Diet of demersal sharks and chimaeras inferred by fatty acid profiles and stomach content analysis [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2011, 409(1/2): 290-299.
- [9] 李莉, 张硕, 吴立珍. 脊尾白虾脂肪酸组成特点及其食性分析[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(4): 552-557.
- LI L, ZHANG S, WU L Z. Fatty acid composition and feeding habits of ridgetail white prawn *Exopalaemon carinicauda* with different body length[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2019, 34(4): 552-557.
- [10] 戴黎斌, 田思泉, 彭欣, 等. 浙江南部近海小黄鱼资源分布及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2018, 29(4): 1352-1358.
- DAI L B, TIAN S Q, PENG X, et al. Distribution of *Larimichthys polyactis* and its relationship with environmental factors in offshore water of southern Zhejiang [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(4): 1352-1358.
- [11] 林龙山. 东海区小黄鱼现存资源量分析[J]. 海洋渔业, 2004, 26(1): 18-23.
- LIN L S. Analysis on extant abundance of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* in the East China Sea [J]. Marine Fisheries, 2004, 26(1): 18-23.
- [12] 李建生, 程家骅. 长江口渔场渔业生物资源动态分析[J]. 海洋渔业, 2005(1): 33-37.
- LI J S, CHENG J H. Analysis on the dynamic of fishery biological resources on the fishing grounds of the Changjiang estuary [J]. Marine Fisheries, 2005(1): 33-37.
- [13] 林龙山, 程家骅. 东海区小黄鱼渔业生物学现状的分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2004, 34(4): 565-570.
- LIN L S, CHENG J H. An Analysis of the current situation of fishery biology of small yellow croaker in the East China Sea [J]. Periodical of Ocean University of China (natural science), 2004, 34(4): 565-570.
- [14] 林龙山, 程家骅, 任一平, 等. 东海区小黄鱼种群生物学特性的分析[J]. 中国水产科学, 2004, 11(4): 333-338.
- LIN L S, CHENG J H, REN Y P, et al. Analysis of population biology of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* in the East China Sea region [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(4): 333-338.
- [15] 严利平, 李建生, 沈德刚, 等. 黄海南部、东海北部小黄鱼饵料组成和摄食强度的变化[J]. 海洋渔业, 2006, 28(2): 117-123.
- YAN L P, LI J S, SHEN D G, et al. Variations in diet composition and feeding intensity of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* Bleeker in the southern Yellow Sea and northern East China Sea [J]. Marine Fisheries, 2006, 28(2): 117-123.
- [16] 赵盛龙, 徐汉祥, 钟俊生, 等. 浙江海洋鱼类志[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2016.
- ZHAO S L, XU H X, ZHONG J S, et al. Marine fish flora of Zhejiang province [J]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2016.
- [17] FOLCH J, LEES M, STANLEY G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [18] RAJENDRAN N, SUWA Y, URUSHIGAWA Y. Distribution of phospholipid ester-linked fatty acid biomarkers for bacteria in the sediment of Ise Bay, Japan [J]. Marine Chemistry, 1993, 42(1): 39-56.
- [19] POND D W, BELL M V, HARRIS R P, et al. Microplanktonic polyunsaturated fatty acid markers: a mesocosm trial [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1998, 46(2): 61-67.
- [20] JOHNS R B, NICHOLS P D, PERRY G J. Fatty acid composition of ten marine algae from Australian waters [J]. Phytochemistry, 1979, 18(5): 799-802.
- [21] Parrish C C. Determination of total lipid, lipid classes, and fatty acids in aquatic samples [M]. New York: Springer, 1999, 5-20.
- [22] NAPOLITANO G E, POLLERO R J, GAYOSO A M, et al. Fatty acids as trophic markers of phytoplankton blooms in the Bahía Blanca estuary (Buenos Aires, Argentina) and in Trinity Bay (Newfoundland, Canada) [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 1997, 25(8): 739-755.
- [23] 王立改, CORNEL A, 楼宝, 等. 四个地域小黄鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. 营养学报, 2018, 40(2): 203-205.

- WANG L G, CORNEL A, LOU B, et al. Nutritional analysis and evaluation of muscle in Small Yellow Croaker *Larimichthys polyactis* from four different localities[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2018, 40(2): 203-205.
- [24] 母昌考, 王春琳. 鱼类必需脂肪酸营养研究现状[J]. 饲料工业, 2003, 24(6): 44-46.
- MU C K, WANG C L. Nutrition research situation of necessary fatty acid of fish[J]. Feed Industry, 2003, 24(6): 44-46.
- [25] 朱羽庄, 梅光明, 严忠雍, 等. 舟山小黄鱼的营养成分测定与分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(5): 1184-1190.
- ZHU Y Z, MEI G M, YAN Z Y, et al. Determination and analysis of the nutritional components of Zhoushan *Larimichthys polyactis*[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(5): 1184-1190.
- [26] 刘慧慧, 迟长风, 李海峰. 舟山海域小黄鱼主要营养成分分析[J]. 营养学报, 2013, 35(6): 604-606.
- LIU H H, CHI C F, LI H F. Analysis of the nutritional composition of *Pseudosciaena polyactis* in Zhoushan[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2013, 35(6): 604-606.
- [27] INNIS S M. The role of dietary n-6 and n-3 fatty acids in the developing brain[J]. Developmental Neuroscience, 2000, 22(5/6): 474-480.
- [28] SIMOPOULOS A P. Evolutionary aspects of diet: the Omega-6/Omega-3 ratio and the brain[J]. Molecular Neurobiology, 2011, 44(2): 203-215.
- [29] 杨清源, 朱国平. 阿根廷巴塔哥尼亚陆架拉氏南美南极鱼(*Patagonotothen ramsayi*)不同组织中脂肪酸分布及食物来源指示[J]. 海洋学报, 2020, 42(4): 20-28.
- YANG Q Y, ZHU G P. The distribution of fatty acids in tissues of rock cod (*Patagonotothen ramsayi*) in the Argentina Patagonian Shelf and their implications to feeding habit[J]. Haiyang Xuebao, 2020, 42(4): 20-28.
- [30] 陈银基, 鞠兴荣, 周光宏. 饱和脂肪酸分类与生理功能[J]. 中国油脂, 2008, 33(3): 35-39.
- CHEN Y J, JU X R, ZHOU G H. Classification and physiological function of saturated fatty acids[J]. China Oils and Fats, 2008, 33(3): 35-39.
- [31] 王艳, 胡先成, 韩强. 不同盐度条件下饥饿及恢复摄食鲈稚鱼脂肪酸的组成[J]. 水产科学, 2008, 27(7): 334-339.
- WANG Y, HU X C, HAN Q. Composition of fatty acids in starved and refeeding juvenile Sea Perch *Lateolabrax japonicus* under different salinities[J]. Fisheries Science, 2008, 27(7): 334-339.
- [32] 刘梦坛. 脂肪酸标记在黄海生态系统营养关系研究中的指示作用[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2010.
- LIU M T. Study on the trophic relationships in the Yellow Sea ecosystem using fatty acid markers[D]. Qingdao: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [33] 叶元土. 淡水鱼类营养与饲料配制技术发展趋势与存在问题分析(上)[J]. 饲料广角, 2005(9): 32-34.
- YE Y T. Analysis of development trend and problems of freshwater fish nutrition and feed preparation technology (Part one)[J]. Feed China, 2005(9): 32-34.
- [34] 金琼贝, 盛连喜, 张然. 温度对浮游动物群落的影响[J]. 东北师大学报(自然科学版), 1991(4): 103-111.
- JIN Q B, SHENG L X, ZHANG R. Effect of temperature on zooplankton community[J]. Journal of Northeast Normal University, 1991(4): 103-111.
- [35] JEFFRIES H P. Seasonal composition of temperate plankton communities; fatty acids[J]. Limnology and Oceanography, 1970, 15(3): 419-426.
- [36] 纪炜炜, 姜亚洲, 阮雯, 等. 基于稳定同位素方法分析东海中北部及黄海南部春季主要鱼类的食性特征[J]. 海洋渔业, 2013, 35(4): 415-422.
- JI W W, JIANG Y Z, RUAN W, et al. Stable isotope analysis on the feeding character of representative fishes during spring in central and northern East China Sea and south Yellow Sea[J]. Marine Fisheries, 2013, 35(4): 415-422.
- [37] 陈雷, 徐兆礼, 姚炜民, 等. 瓯江口春季营养盐、浮游植物和浮游动物的分布[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1571-1577.
- CHEN L, XU Z L, YAO W M, et al. The distribution of nutrients, phytoplankton and zooplankton in spring of the Oujiang River estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1571-1577.
- [38] 高春霞. 基于稳定同位素技术的浙江中南部近海渔业生物群落营养结构研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- GAO C X. Stable isotope-based community trophic structure of fishery organisms in the offshore waters of central and southern Zhejiang[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.

## Characteristics of fatty acid composition and dietary indication of small yellow croaker in the offshore waters of southern Zhejiang

WANG Teng<sup>1</sup>, GAO Chunxia<sup>1,2,3,4</sup>, WANG Shaoqin<sup>1,2,3,4</sup>, HAN Dongyan<sup>1,2</sup>, YE Shen<sup>5</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 5. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005, Zhejiang, China)

**Abstract:** Small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) is an important economic species and the dominant species in China's coastal waters, playing a key role in the structure of food web. The contents of muscle fatty acids from 58 small yellow croakers were determined by gas chromatography-mass spectrometer and the characteristics of their changes in composition were analyzed. The feeding habits of yellow croaker were investigated based on the role of fatty acids as dietary tracers. The results showed that 30 kinds of fatty acids were detected in the muscle of small yellow croaker, with prevalent fatty acids C16:0, C17:0, C18:1n9c, C18:3n3, C16:1n7, C20:1, C20:4n6, C20:5n3 (EPA), C22:6n3 (DHA), among which the C16:0 accounted for 23.12%, C18:1n9c for 16.67%, C16:1n7 for 11.45% and C22:6n3 for 11.40%. The average content of unsaturated fatty acid (UFA) in muscle reached 60.20%, which was significantly higher than that of saturated fatty acid (SFA, 39.80%), and the proportion of DHA and EPA in muscle accounted for 15.54%, indicating that the fish had higher nutritional value. Two-way ANOVA showed that there was a significant difference in saturated fatty acid SFA among body length groups, and the content decreased with the increase of body length ( $P < 0.05$ ), while the content of monounsaturated fatty acid MUFA had significant seasonal differences ( $P < 0.05$ ). Most of the characteristic fatty acids had no significant difference among body length groups in each season ( $P > 0.05$ ), while the contents of C16:1n7, C20:1 and C18:1n9c in 120–139 mm body length group and  $> 180$  mm body length group in winter were significantly lower than those in other seasons. The fatty acid signatures, known as trophic markers, revealed that small yellow croaker was a kind of fish that feeds on plankton, benthic and swimming animals, particularly on diatoms, dinoflagellates, zooplankton and benthic organisms. This highlights the fatty acid markers to indicate the food source of small yellow croaker, supporting and verifying the results of contents of stomach analysis in the literature, and also provides an important reference for the study of feeding ecology of small yellow croaker.

**Key words:** small yellow croaker; fatty acid; dietary indicator; offshore waters of southern Zhejiang