西南大西洋春夏季阿根廷无须鳕脂肪酸组分的时空特性

王少琴[1,3] 杨清源[1] 朱国平[1,2,3*] 宋 旗[1]

([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 210306; [3]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极地海洋生态系统研究室, 上海 201306)

摘 要 阿根廷无须鳕(*Merluccius hubbsi*)是西南大西洋较为重要的鱼种,具较高的商业价值,为底拖网渔业的主要捕捞对象。本研究利用气相色谱质谱联用仪测定了阿根廷无须鳕肌肉组织脂肪酸组成,探究各脂肪酸含量,包括饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)随体长、月份和纬度的变化。结果表明:各类脂肪酸含量高低次序依次为∑PUFA>∑SFA>∑MUFA;主要脂肪酸包括 C22:6n3(DHA)、C16:0、C18:1n9c、C20:5n3(EPA)和 C18:0,其中 DHA 的含量最高,占总脂肪酸含量的 35.27%;高 PUFA/SFA表明阿根廷无须鳕肌肉可作为 PUFA 的补充原料;∑SFA 和∑PUFA 在小体长组个体中(20.1~30.0 cm)的含量较高,特别是 DHA 和 EPA,使得 n-3/n-6 增加,说明相对较大个体而言,小个体阿根廷无须鳕的营养价值更高;除 n-3/n-6 外,其余脂肪酸含量均无显著的月份差异;1 月最高的 n-3/n-6 说明肌肉组织在该月份具有较高的营养价值。鱼体各脂肪酸含量随纬度和表温变化不明显。

关键词 阿根廷无须鳕; 脂肪酸; 西南大西洋; 营养

Spatial and temporal variation of fatty acid composition in Argentine hake (*Merluccius hubbsi*) in the Southwestern Atlantic Ocean during austral spring and summer.

WANG Shao-qin[1,3], YANG Qing-yuan[1], ZHU Guo-ping[1,2,3*], SONG Qi[1] ([1]*College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai* 201306, *China*; [2]*National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai* 201306, *China*; [3]*Polar Marine Ecosystem Group, The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai* 201306, *China*).

Abstract: Argentine hake (*Merluccius hubbsi*), one of the important fish species with highly commercial value, is the target species for bottom trawl fishery in southeastern Atlantic Ocean. In this study, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to measure the fatty acid composition of Argentine hake. We examined the potential difference of each fatty acid composition, including saturated fatty acids (SFA), mono-unsaturated fatty acid (MUFA) and poly-unsaturated fatty acid (PUFA) across different standard lengths, months and latitudes. The results showed that the contents of different types of fatty acids was in order of ∑PUFA>∑SFA>∑MUFA. Specific fatty acids with higher levels included C22:6n3 (docosahexaenoic acid, DHA), C16:0, C18:1n9c, C20:5n3 (eicosapentaenoic acid, EPA) and C18:0. Among them, DHA had the highest content, accounting for 35.27% of total amount of fatty acids. The high ratio of PUFA/SFA suggested that Argentine hake can be considered as the supplementary material for PUFA. Across different standard length classes, higher contents of ∑SFA and ∑PUFA were found in small standard length class (20.1-30.0 cm), where DHA and EPA in ∑PUFA were

国家自然科学基金项目(41776185)、国家科技支撑计划项目(2013BAD13B03)、教育部留学回国人员科研启动基金项目和公益性行业(农业)科研专项(201203018)资助。

收稿日期: 2017-11-03 接受日期: 2018-03-26

*通讯作者 E-mail: gpzhu@shou.edu.cn

relatively higher, making n-3/n-6 enlarged, indicating that smaller individuals were more nutritious than larger ones. Except for n-3/n-6, there was no significant difference of the content of fatty acids across months. The highest n-3/n-6 ratio was found in January, indicating that muscle tissue of Argentine hake had higher nutrition in this month. There was no significant difference in contents of each fatty acid across different latitudes and sea surface temperatures.

Key words: Argentine hake; fatty acids; Southwestern Atlantic Ocean; nutrition.

阿根廷无须鳕(*Merluccius hubbsi* Marini 1933)是阿根廷海域渔获量较大的鱼种,通常栖息在34°S—55°S且栖息水深为50~500 m(Cousseau *et al.*, 1998)。2009—2013年,阿根廷海域年产量约7.5×10^8 kg,鳕鱼占46%,其中阿根廷无须鳕贡献较大(约占鳕鱼产量的80%),且年产量较为稳定(Zattara,2011)。其鱼油中通常含有丰富的n-3和n-6系列脂肪酸,除了C18:2和C18:3等必需脂肪酸(essential fatty acids, EFA)外,还包含C22:6n3(docosahexaenoic acid, DHA)、C20:5n3(eicosapentaenoic acid,EPA)和C20:4n6(arachidonic acid,AA)等维持人体正常生长发育和健康所必须的脂肪酸,这些脂肪酸在防止人类心血管疾病和保护大脑健康发育中具有重要作用(Bourre, 2007; Simopoulos, 2011a,b)。目前商业上主要将阿根廷无须鳕鱼肉切成圆形进行销售,抛弃剩余的鱼肉和内脏组织,该制作方法造成约40%的浪费,同时造成环境污染,间接有害人类健康(Yorio *et al.*, 2004)。考虑到阿根廷无须鳕肌肉等组织含有一些有利于人类生长发育的必需脂肪酸,可以收集剩余的阿根廷无须鳕肌肉等组织,将其制作成鱼油,既能减少阿根廷无须鳕的资源浪费,又能有效的防止污染环境。

目前国外已有学者对阿根廷无须鳕脂肪酸组成进行了研究,如Méndez等(1997)分析了阿根廷无须鳕的脂质和脂肪酸组成随季节的变化;Cretton等(2016)对巴塔哥尼亚水域阿根廷无须鳕的脂肪酸组成进行了研究。鱼类脂肪酸含量与多种因素有关,如Njinkoue等(2002)研究了3种鱼类的肌肉、肝脏和皮肤中的脂肪酸组成,发现肌肉和皮肤组织中含量最高的脂肪酸为C16:0,而肝脏组织中含量最高的为C18:0,肌肉组织中含有较高的n-3多不饱和脂肪酸,如DHA和EPA,说明鱼类脂肪酸含量在不同组织中各有不同。此外,鱼类脂肪酸含量还可能因不同捕捞季节、海域、海水表温和性别而有所差异(Guil Guerrero *et al.*,2011),因此推断阿根廷无须鳕脂肪酸含量可能因一些外界环境因素而有所变化。中国于2010年开始南极磷虾渔业探捕工作,大型中层拖网渔船在南极海域渔季开始前多在西南大西洋水域主捕阿根廷无须鳕,年产量逐渐增加,但国内关于该鱼种的相关研究较少,目前尚未见到有关其脂肪酸组成及其变化的报道。本文利用2014年12月至2015年4月在西南大西洋海域收集的阿根廷无须鳕样本,对其肌肉组织的脂肪酸组成进行了分析,并探究阿根廷无须鳕肌肉组织脂肪酸组成的月份、纬度和个体差异,从而为评估该水域的阿根廷无须鳕肌肉组织营养价值及其生态作用提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 样本采集

本研究的阿根廷无须鳕样本随机采集于在西南大西洋水域作业的大型中层拖网渔船。采样时间为2014年12月至2015年4月,采样海域为44.17°S—46.83°S,60.08°W—60.78°W(图1),共收集42尾阿根廷无须鳕样本。采样站点表面温度数据来自于美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)记录的环境数据,每1 ℃分为一组。所有海上随机采集的样本立

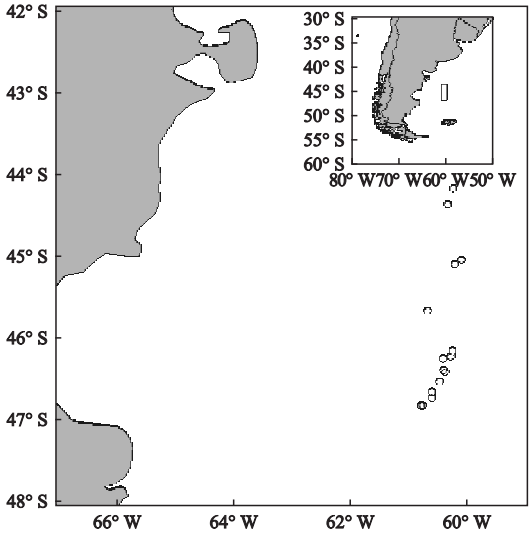


图1 调查区域及采样站点

Fig.1 The study area and sampling locations

即放入-20 ℃冷冻条件下保存,以便运回国内实验室分析。样本解冻后测定标准体长(cm)和体重(g)等生物学信息。其中体长测量使用精度为 1 mm 的钢尺,体重测定使用精度为 1 g 的电子秤。取样本背鳍附近肌肉保存于标记好的塑料瓶中,以便后续脂肪酸种类及含量测定处理。

1.2 样本处理

取阿根廷无须鳕肌肉组织,用去离子水冲洗,冷冻干燥 24 h 后研磨成粉末,以备脂肪酸提取。

脂质提取根据 Forlch(1957)方法,具体为取 0.2 g 粉末样品于离心管中,加 15 mL 三氯甲烷-甲醇溶液(体积比 2∶1),浸泡 20 h 以上,离心取上清液,再加入 10 mL 三氯甲烷-甲醇混合液润洗残渣,离心取上清液,合并两次的上清液于离心管中,加入 4 mL 0.9%的氯化钠溶液,静置约 2 h。取下层溶液于圆底烧瓶中进行蒸发得到总脂质。

脂肪酸甲酯化参照国家动植物油脂、脂肪酸甲酯制备的标准方法,具体为在圆底烧瓶中加入 4 mL 0.5 mol·L^{-1}的氢氧化钠-甲醇溶液,混合后连接水浴回流装置,水浴加热 5~10 min,加入 4 mL 三氟化硼甲醇溶液煮沸 20~25 min,最后加入 4 mL 正己烷回流萃取 2 min。冷却后加入 10 mL 氯化钠饱和溶液,摇晃后静置分层 1~2 h。用注射器吸取一定量的正己烷层,以 1∶1 的比例加入 50 mg·L^{-1}十九烷酸甲酯内标进入气相色谱质谱联用仪(GC-MS)进行测定。

测定脂肪酸所用色谱柱为 HP-88(60 m×0.25 nm×0.20 μm)。升温条件为初始 125 ℃,以 8 ℃·min^{-1}升到 145 ℃,保持 26 min,以 2 ℃·min^{-1}升到 220 ℃,保持 1 min,再以 1 ℃·min^{-1}升到 227 ℃,保持 1 min。分流比 10∶1,载气为高纯氦气。

1.3 数据处理

以 37 种脂肪酸甲酯混标的保留时间作为对照进行定性,以 19 烷酸甲酯(C19:0)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,本文使用单位 mg·g^{-1}。

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

式中,X_i是待测样品中组分 i 的含量;A_i是组分 i 的峰面积;m 是样品的质量;m_{19}是内标物十九烷酸甲酯的质量;A_{19}是待测样品中加入内标物的峰面积;F_i是组 i 与内标物的校正因子之比,成为相对校正因子。

脂肪酸的简写表达式为 CA:BnX,A 表示脂肪酸碳链的碳数,B 表示双键的数量,X 表示第一个双键离甲基端的碳数(Budge *et al.*,2006)。

利用 Pearson 相关性检验分析脂肪酸含量与体长之间是否显著相关性,利用单因素方差分析(ANOVA)检验不同体长组、不同月份、不同纬度及不同温度的脂肪酸含量是否有显著性差异(α = 0.05)。脂肪酸含量结果以平均数±标准偏差的形式表示。

2 结果与分析

2.1 基础生物学信息

阿根廷无须鳕样本体长范围为 22.0~55.8 cm,平均体长为 34.51±9.09 cm,优势体长组出现在 25.1~30.0 cm,占总体样本的 30.77 %(图 2)。体重范围为 92.9~1560.3 g,平均体重为 413.4±328.3 g。无须鳕体长-体重关系为 $W = 0.010L^{2.934}$($R^2 = 0.96$,$n = 41$)(图 3)。

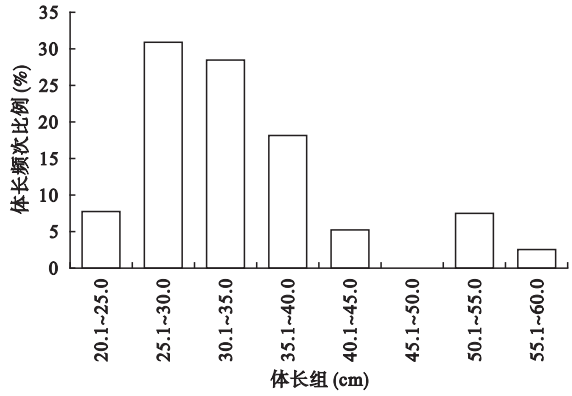


图 2 西南大西洋阿根廷无须鳕体长频次百分比体长出现频次

Fig.2 Standard length frequency percentage of *Merluccius hubbsi* in the Southwestern Atlantic Ocean

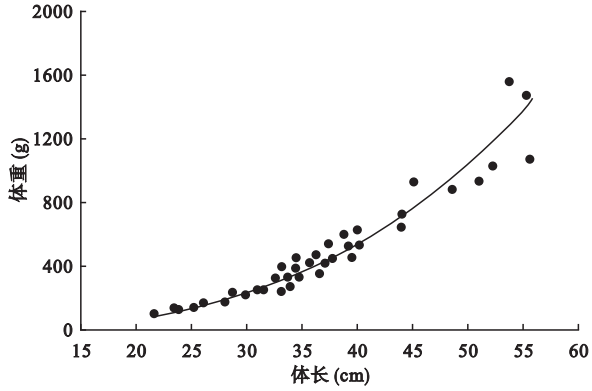


图 3 西南大西洋阿根廷无须鳕体长-体重关系

Fig.3 The relation of length-weight of *Merluccius hubbsi* in the Southwestern Atlantic Ocean

2.2 阿根廷无须鳕脂肪酸组成

如表1所示,阿根廷无须鳕肌肉组织共检测出15种脂肪酸,总脂肪酸含量平均为26.68±9.06 mg·g^{-1},其中包含6种饱和脂肪酸(saturated fatty acids,SFA)(C14:0、C15:0、C16:0、C17:0、C18:0和C23:0),占总脂肪酸含量的40.51%;4种单不饱和脂肪酸(mono-unsaturated fatty acid, MUFA)(C16:1n7、C18:1n9c、C20:1和C22:1n9),占总脂肪酸含量的12.65%;5种多不饱和脂肪酸(poly-unsaturated fatty acid, PUFA)(C18:2n6c、C18:3n3、C20:4n6、EPA和DHA),占总脂肪酸含量的46.84%。∑PUFA和∑SFA明显高于∑MUFA,PUFA/SFA范围为0.53~1.74,平均值为1.24±0.29。n-3脂肪酸含量为(6.12~24.52) mg·g^{-1},平均值为11.77±3.85 mg·g^{-1},明显高于n-6脂肪酸含量(平均0.63±0.23 mg·g^{-1}),n-3/ n-6平均为19.60±4.08。单个脂肪酸中含量最高的为DHA,占总脂肪酸含量的35.27%,其次含量较高的有C16:0、C18:1n9c、EPA和C18:0,分别占总脂肪酸含量的30.37%、9.09%、8.74%和7.79%。

表1 西南大西洋阿根廷无须鳕的脂肪酸组成

Table 1 Fatty acid composition of *Merluccius hubbsi* in the Southwestern Atlantic Ocean

脂肪酸种类	平均含量 (mg·g^{-1})	比例 (%)
C14:0	0.31 ±0.19	1.18
C15:0	0.11±0.05	0.42
C16:0	8.10±3.26	30.37
C17:0	0.14± 0.08	0.53
C18:0	2.08± 1.21	7.79
C23:0	0.06± 0.00	0.23
C16:1n7	0.57± 0.33	2.12
C18:1n9c	2.43± 0.99	9.09
C20:1	0.28± 0.18	1.04
C22:1n9	0.10	0.39
C18:2n6c	0.25± 0.10	0.95
C18:3n3	0.12 ±0.03	0.44
C20:4n6	0.39 ±0.18	1.44
C20:5n3	2.33 ±0.86	8.74
C22:6n3	9.41 ±3.20	35.27
SFA	10.81± 4.59	40.51
MUFA	3.38 ±1.42	12.65
PUFA	12.50± 4.04	46.84
PUFA/SFA	1.24 ±0.29	–
n-3	4.27 ±1.23	16.00
n-6	11.77± 3.85	44.08
n-3/n-6	19.60 ±4.08	–

2.3 脂肪酸组成随体长的变化

由表2可知,较小体长组的阿根廷无须鳕脂肪酸种类较多,其中脂肪酸种类最多的体长组为30.1~35.0 cm(14种),其次分别为25.1~30.0 cm(13种)和35.1~40.0 cm(12种)叉长组。各体长组中,∑SFA和∑PUFA含量均高于∑MUFA,且∑SFA和∑PUFA在小体长组中的含量较高,∑MUFA则相反。各体长组中∑n-3高于∑n-6,n-3/n-6在小体长组中(20.1~30.0 cm)的含量(21.30±3.32)均高于大体长组(P<0.05)。各体长组中,DHA、C16:0、C18:1n9c、EPA和C18:0这几种脂肪酸含量均较高。其中DHA和EPA在小体长组(20.1~30.0 cm)的含量较高,分别为(10.12±3.87) mg·g^{-1}和(2.54±1.02) mg·g^{-1},两者在体长组25.1~45.0 cm之间逐渐减小,最小值分别为(7.44±0.53) mg·g^{-1}和(1.99±0.54) mg·g^{-1},在50.1~55.0 cm叉长组时增大。C16:0最高含量也出现在小体长组(20.1~25.0 cm),为(11.72±4.29) mg·g^{-1},在20.1~35.0 cm逐渐减小,最小值为(7.14±2.53) mg·g^{-1},在40.1~60.0 cm逐渐增加。大体长组(50.1~60.0 cm)与小体长组(20.1~30.0 cm)中C18:1n9c含量具有显著性差异(P<0.05),大体长组平均值为(3.15±1.16) mg·g^{-1},明显高于小体长组(2.06±0.65) mg·g^{-1}。

利用Pearson相关性检验各类脂肪酸与体长变化的相关性,结果显示,C16:1n7和C20:1分别与体长之间有显著的正相关(P<0.05),相关系数分别为0.31和0.41,其他各单个脂肪酸含量与体长之间均无显著性相关(P>0.05)(表2)。

2.4 脂肪酸组成的月份差异

由12月—翌年4月各月份的样本数依次为5尾、13尾、2尾、8尾和5尾。单因素方差分析显示,n-3/n-6在各月份之间存在显著性差异(P<0.05),其余脂肪酸组成在各月份间无显著性差异(P>0.05)(表3)。各月含量较高的几种脂肪酸为C22:6n3、C16:0、C18:1n9c、C20:5n3和C18:0。PUFA含量于1月出现最高值,为(13.83±5.25) mg·g^{-1},2月出现最低值,为(11.39±1.91) mg·g^{-1},2—4月逐渐上升,其中DHA和EPA含量与PUFA的变化趋势一致。SFA含量于1月出现最高(11.88±7.12 mg·g^{-1}),但于4月出现最低(9.05±4.44 mg·g^{-1}),其中的C16:0与SFA的变化趋势一致。n-3/n-6于1月出现最高值(21.12±3.82 mg·g^{-1}),并于3月出现最低值(16.70±3.47 mg·g^{-1})(表3)。

表 2 阿根廷无须鳕的脂肪酸组成和含量随体长变化

Table 2 The variations of fatty acid composition and contents of *Merluccius hubbsi* with length classes

组成	含量(mg·g^{-1})							*P*
	20.1~25.0 cm	25.1~30.0 cm	30.1~35.0 cm	35.1~40.0 cm	40.1~45.0 cm	50.1~55.0 cm	55.1~60.0 cm	
C14:0	0.39±0.16	0.26±0.51	0.31±0.17	0.39±0.29	0.27±0.14	0.37±0.26	0.25±0.12	0.74
C15:0	–	–	0.08	0.15	–	–	–	–
C16:0	11.72±4.29	7.68±2.77	7.14±2.53	8.23±3.12	7.47±0.13	8.48±3.90	10.41±2.30	0.53
C17:0	0.25±0.10	0.14±0.37	0.11±0.04	0.14±0.03	0.12±0.02	0.17±0.06	0.14±0.06	0.94
C18:0	3.71±1.17	1.98±1.41	1.77±0.67	1.86±0.81	2.05±0.17	1.98±1.15	2.85±0.57	0.63
C23:0	–	–	0.06	–	0.06	–	–	–
C16:1n7	0.51±0.34	0.41±0.64	0.56±0.53	0.71±0.41	0.48±0.16	0.93±0.54	0.66±0.19	0.05
C18:1n9c	2.35±1.09	2.00±1.41	2.52±1.25	2.63±1.06	2.27±0.34	3.32±1.55	2.92±0.66	0.06
C20:1	0.31±0.00	0.18±0.42	0.26±0.17	0.24±0.13	0.40±0.22	0.33±0.12	0.55±0.49	0.02
C22:1n9	–	0.10±0.32	–	–	–	–	–	–
C18:2n6c	0.30±0.18	0.25±0.50	0.25±0.09	0.27±0.11	0.16	0.35±0.14	0.16±0.06	0.72
C18:3n3	–	0.11±0.33	0.10±0.04	0.12±0.02	–	0.14±0.06	–	0.30
C20:4n6	0.35±0.20	0.34±0.59	0.43±0.26	0.33±0.09	0.35±0.06	0.47±0.07	0.56±0.11	0.11
C20:5n3	2.90±1.73	2.46±1.57	2.17±0.98	2.14±0.51	1.99±0.54	2.29±0.44	2.61±0.57	0.64
C22:6n3	9.75±3.21	10.21±3.19	9.55±3.51	8.56±2.19	7.44±0.53	9.60±1.00	7.59±1.21	0.42
∑SFA	17.54±5.62	10.23±6.26	9.63±3.35	10.61±4.26	9.93±0.13	10.94±5.39	13.66±3.04	0.55
∑MUFA	3.07±1.57	2.47±0.78	3.27±1.69	3.58±1.50	3.14±0.71	4.59±2.05	4.13±1.34	0.02
∑PUFA	13.30±5.30	13.27±5.03	12.43±4.55	11.39±2.61	9.87±0.07	12.68±1.58	10.92±1.94	0.51
PUFA/SFA	0.77±0.20	1.37± 0.21	1.31±0.25	1.17±0.32	0.99±0.01	1.30±0.45	0.80±0.04	0.18
∑n-3	12.65±4.92	12.68±4.85	11.75±4.27	10.78±2.52	9.43±0.01	11.98±1.43	10.20±1.77	0.90
∑n-6	0.65±0.38	0.59±0.20	0.67±0.31	0.60±0.18	0.43±0.06	0.70±0.19	0.72±0.17	0.85
n-3/n-6	21.01±4.06	21.58±3.02	18.53±4.72	18.71±4.32	21.93±2.91	17.63±3.65	14.25±0.86	0.15

表 3 阿根廷无须鳕脂肪酸组成和含量月变化

Table 3 Monthly variation of fatty acid composition and contents of *Merluccius hubbsi*

组成	含量(mg·g^{-1})					*P*
	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	
C14:0	0.44±0.20	0.28±0.17	0.22±0.14	0.39±0.25	0.26±0.23	0.43
C15:0	–	–	–	0.04±0.07	–	–
C16:0	8.75±3.41	8.92±4.32	7.39±1.44	8.51±2.67	6.99±3.34	0.91
C17:0	0.15±0.05	0.18±0.12	0.15	0.13±0.04	0.13±0.06	0.95
C18:0	2.15±0.95	2.53±1.84	1.92±0.63	2.01±0.75	1.71±0.85	0.95
C23:0	0.06	–	–	–	0.06	–
C16:1n7	0.89±0.47	0.42±0.25	0.33±0.14	0.69±0.35	0.62±0.46	0.16
C18:1n9c	3.15±1.42	2.15±0.67	1.89±0.22	2.69±0.84	2.57±1.56	0.37
C20:1	0.30±0.16	0.10±0.12	0.16±0.22	0.28±0.28	0.34±0.22	0.49
C22:1n9	–	0.01±0.03	–	–	–	–
C18:2n6c	0.28±0.11	0.27±0.10	0.25±0.04	0.28±0.08	0.15±0.18	0.98
C18:3n3	0.10±0.07	0.02±0.04	–	0.04±0.06	–	–
C20:4n6	0.37±0.06	0.36±0.15	0.29±0.09	0.43±0.16	0.44±0.17	0.74
C20:5n3	2.29±0.33	2.65±1.08	2.15±0.21	2.44±0.64	2.30 ±1.22	0.13
C22:6n3	8.97±2.27	10.53±4.14	8.70±1.58	8.89±1.90	9.51±4.16	0.15
∑SFA	11.47±4.62	11.88±7.12	9.60±2.31	11.05±3.62	9.05±4.44	0.25
∑MUFA	4.34±1.93	2.67±0.97	2.37±0.58	3.66±1.31	3.52±2.19	1.55
∑PUFA	12.01±2.65	13.83±5.25	11.39±1.91	12.08±2.24	12.39±5.63	0.11
PUFA/SFA	1.12±0.27	1.25±0.32	1.25±0.50	1.18±0.34	1.41±0.27	0.68
∑n-3	11.36±2.51	13.20±5.05	10.85±1.79	11.37±2.13	11.81±5.33	0.82
∑n-6	0.65±0.17	0.63±0.24	0.54±0.12	0.71±0.19	0.58±0.30	0.83
n-3/n-6	17.64±2.50	21.12±3.82	20.15±1.24	16.70±3.47	20.89±2.69	0.05

表4 阿根廷无须鳕脂肪酸组成和含量随纬度变化

Table 4 The variation of fatty acid composition and contents of *Merluccius hubbsi* by latitude

组成	含量(mg·g^{-1})			P
	44.00°S-44.99°S	45.00°S-45.99°S	46.00°S-46.99°S	
C14:0	0.28±0.26	0.38±0.16	0.33±0.21	0.21
C15:0	-	-	0.15	-
C16:0	6.90±3.84	9.23±3.61	8.43±3.43	0.35
C17:0	0.13±0.09	0.18±0.10	0.15±0.08	0.92
C18:0	1.59±0.94	2.51±1.33	2.18±1.36	0.48
C19:0	-	4.40	2.93	-
C23:0	0.06	-	0.06	-
C16:1n7	0.68±0.50	0.54±0.36	0.57±0.37	0.16
C18:1n9c	2.70±1.77	2.49±0.88	2.44±0.94	0.09
C20:1	0.49±0.05	0.24±0.07	0.29±0.21	1.91
C22:1n9	-	-	0.10	-
C18:2n6c	0.24±0.18	0.29±0.11	0.27±0.08	0.98
C18:3n3	-	0.14	0.12±0.04	-
C20:4n6	0.45±0.20	0.41±0.17	0.37±0.12	0.56
C20:5n3	2.48±1.34	2.83±1.12	2.34±0.70	0.55
C22:6n3	9.93±4.68	10.56±2.19	9.28±3.37	0.34
∑SFA	8.85±5.10	12.89±5.64	11.20±5.38	0.39
∑MUFA	3.74±2.46	3.17±1.33	3.22±1.40	0.22
∑PUFA	13.04±6.28	14.11±3.42	12.29±4.04	0.38
PUFA/SFA	1.52±0.17	1.22±0.38	1.18±0.29	2.27
∑n-3	12.41±5.96	13.41±3.18	11.67±4.01	0.61
∑n-6	0.63±0.32	0.70±0.27	0.61±0.18	0.71
n-3/n-6	20.11±2.37	20.31±4.17	19.02±3.82	0.69

2.5 脂肪酸组成的纬向变化

在纬度分布上,以每1°为一组,分为3组,由低至高各纬度组的样本数依次为4尾、7尾和22尾。单因素方差分析显示,各脂肪酸含量随纬度的增加无显著性变化($P>0.05$)(表4)。∑SFA和∑PUFA含量均在45.00°S-45.99°S出现最高值,分别为(12.89±5.64) mg·g^{-1}和(14.11±3.42) mg·g^{-1},其中与DHA和EPA含量在纬度上的变化一致,均在45.00°S-45.99°S上出现最高值。∑MUFA含量与∑SFA和∑PUFA含量有相反的变化趋势,在45.00°S-45.99°S最低。n-3和n-6脂肪酸均在45.00°S-45.99°S上出现最高值。C20:4n6随着纬度的增加而减小。

2.6 表温对脂肪酸组成及含量的影响

以1°为间隔将样本分为4组,由低到高温度组的样本数依次为6尾、15尾、6尾和6尾。本文采样站点表温变化较小,表温范围为10.61~13.71 ℃,平均值为11.82±0.88 ℃。单因子方差分析显示,本次采样表温在不同月份($P>0.05$)和不同纬度之间均无显著性差异($P>0.05$),各脂肪酸含量随表温的增加均无显著性变化($P>0.05$)(表5)。

表5 阿根廷无须鳕脂肪酸组成和含量随表温变化

Table 5 The variation of fatty acid composition and contents of *Merluccius hubbsi* by sea surface temperature

组成	含量(mg·g^{-1})				P
	10.00~10.99 ℃	11.00~11.99 ℃	12.00~12.99 ℃	13.00~13.99 ℃	
C14:0	0.40±0.21	0.26±0.15	0.43±0.33	0.30±0.15	0.28
C15:0	-	-	0.02±0.06	-	-
C16:0	8.52±3.10	8.28±3.58	8.13±3.69	8.92±4.12	0.99
C17:0	0.15±0.04	0.14±0.10	0.13±0.06	0.20±0.12	0.97
C18:0	2.15±0.85	2.22±1.56	1.84±0.91	2.47±1.51	0.88
C19:0	-	2.93	-	4.40	-
C23:0	0.06	-	-	0.06	-
C16:1n7	0.80±0.47	0.45±0.20	0.82±0.49	0.44±0.32	0.06
C18:1n9c	2.96±1.35	2.24±0.65	2.84±1.53	2.23±0.77	0.37
C20:1	0.29±0.15	0.18±0.24	0.26±0.21	0.19±0.20	0.63
C22:1n9	-	0.01±0.03	-	-	-
C18:2n6c	0.23±0.15	0.26±0.06	0.25±0.18	0.27±0.13	-
C18:3n3	0.08±0.07	0.02±0.05	0.02±0.06	-	-
C20:4n6	0.38±0.06	0.39±0.15	0.43±0.20	0.36±0.14	0.86
C20:5n3	2.18±0.41	2.40±0.81	2.62±1.13	2.75±1.17	0.69
C22:6n3	8.77±2.09	9.98±3.70	9.19±4.17	10.05±2.58	0.86
∑SFA	11.20±4.19	10.88±5.22	10.54±5.00	11.84±5.74	0.97
∑MUFA	4.05±1.86	2.89±1.02	3.91±2.14	2.83±1.18	0.24
∑PUFA	11.65±2.53	13.05±4.51	12.51±5.41	13.43±3.87	0.89
PUFA/SFA	1.10±0.25	1.27±0.28	1.28±0.37	1.25±0.37	0.70
∑n-3	11.04±2.38	12.40±4.37	11.83±5.16	12.80±3.62	0.88
∑n-6	0.61±0.19	0.64±0.19	0.68±0.31	0.63±0.26	0.95
n-3/n-6	18.70±3.42	19.39±3.64	18.34±4.44	21.34±3.57	0.52

3 讨 论

3.1 脂肪酸组成

本研究中,阿根廷无须鳕含 15 种脂肪酸种类(其中有 6 种 SAT,4 种 MUFA,5 种 PUFA),比 Méndez 等(1997)研究的阿根廷无须鳕肝脏的脂肪酸种类(共 12 种,3 种 SAT,4 种 MUFA,5 种 PUFA)多了 3 种奇数类的 SAT(C15:0、C17:0 和 C23:0),其余种类相同,但多出的 3 种奇数类 SAT 含量均较低(均小于 0.2 mg·g^{-1}),说明阿根廷无须鳕肌肉和肝脏组织所含脂肪酸种类相似。本研究中,各类脂肪酸含量大小依次为∑PUFA>∑SFA>∑MUFA,但阿根廷无须鳕肝脏的各类脂肪酸含量大小为∑MUFA>∑PUFA>∑SFA(Méndez *et al.*, 1997),主要体现在∑MUFA的 C20:1 和 C22:1 含量上。在主要脂肪酸种类上,Méndez 等(1997)研究了阿根廷无须鳕肝脏的脂肪酸组成,所得几种主要脂肪酸为 C16:0、C18:1、C20:1、C22:1、C20:5 和 C22:6,且在全年中 C20:5<C22:6,这符合长生命周期鱼类的特征(Ackman,1980)。本研究含有较少的 C20:1 和 C22:1,其余脂肪酸含量与其相似。C20:1 和 C22:1 是无须鳕区别鲱鱼鱼油的重要指示(Ackman *et al.*,1988),本研究的肌肉组织中这两种脂肪酸含量较少,而 Méndez 等(1997)研究发现阿根廷无须鳕肝脏组织的这两种脂肪酸含量较高,说明相对肌肉组织来说,肝脏组织在阿根廷无须鳕与鲱鱼两种鱼类的区分方面具有更好的效果。C22:6 在判别鱼油和鱼油胶囊的优劣中具有重要作用(Méndez,1997),本研究中 C22:6 含量最高(占全部脂肪酸含量的 35.27%),说明阿根廷无须鳕肌肉组织可作为优质鱼油和鱼油胶囊的较好原料。综合阿根廷无须鳕肌肉组织脂肪酸组成特征,在实际工业应用中可将剩余肌肉组织加工制作成鱼肝油胶囊,作为鱼肉产业的副产品。

3.2 脂肪酸随体长的变化

本研究结果显示,∑SFA 和∑PUFA 在小体长组中的含量较高,其中最为明显的为 DHA 和 EPA,表现相同趋势的还有 n-3/n-6。高含量的 n-3/n-6 说明该鱼种对人类有益(Simopoulos,2002),且是比较鱼油相对营养价值的指标(Huynh *et al.*, 2009)。本研究中,小个体阿根廷无须鳕肌肉组织的 n-3/n-6 含量较高,说明相对较大阿根廷无须鳕而言,小个体阿根廷无须鳕的营养价值更高。可能原因是:一方面,这与其生长过程中的脂肪酸来源有关。生物体内脂肪酸有两种来源:自身体内生物合成和摄食,低等生物的脂肪酸合成能力强于高等生物,鱼类的 PUFA 多数均无法自身合成,只能通过摄食获得。幼体或小个体阿根廷无须鳕通常摄取大量的具有较强生物合成能力的低等生物,如端足类和磷虾等浮游性甲壳类(Temperoni *et al.*,2013)。研究显示,阿根廷无须鳕在成熟前会选择脂类含量较高甲壳类作为主要摄食对象(Nelson *et al.*,2001;Gigliotti *et al.*, 2010),可以提供足够的能量以维持组织合成和生长发育,这些自身具有合成 DHA 和 EPA 能力的低等生物为阿根廷无须鳕提供较高的 PUFA,使得小个体阿根廷无须鳕生物体内表现出较高的 n-3 类脂肪酸含量。C20:4n6 表示基于碎屑食物的贡献大(Stowasser *et al.*,2009),本研究中 C20:4n6 含量随着体长的增加逐渐增强,反映了无须鳕在生长过程中食物组成由浮游性至底栖性的变化。另一方面,阿根廷无须鳕是一种季节性洄游的鱼类,夏季会洄游到低纬度近岸水域产卵场进行产卵,冬季又洄游到高纬度深海区的索饵场(Pitcher *et al.*,1995)。这些活动导致其能量储存状态随着季节的变化呈现出差异性,继而体现在肌肉(Yorio *et al.*, 2004)和性腺(Njinkoue *et al.*,2002)等组织的脂肪酸含量差异。本研究采样时间为 12 月—翌年 4 月,大个体阿根廷无须鳕在此阶段多处于产卵期(Podesta,1990),通常需要消耗大量的能量,导致脂肪酸含量较低,而小个体则保持原有的能量且继续摄取较多的食物,使得这段时间小个体无须鳕脂肪酸含量高于大型个体。

3.3 脂肪酸的时空变化

Cretton 等(2016)研究显示,巴塔哥尼亚海域阿根廷无须鳕各月 n-3 类脂肪酸(26%~30%)百分含量明显高于 n-6 类脂肪酸(2%~3%),结果与本研究相似。由于 n-3/n-6 是鱼油相对营养价值的重要指标,本研究所有月份内 n-3/ n-6 均较高(19.60±4.08),高于圣乔治海湾(10.1~16.0)(Cretton *et al.*, 2016)、地中海(4.3)和欧洲鳕鱼(9.4)(Guil Guerrero *et al.*,2010),说明本研究海域的阿根廷无须鳕肌肉鱼油具有较高的营养价值。PUFA/SFA 是判断该种类鱼油是否适于 PUFA 补充原料的指标,本文所得阿根廷无须鳕肌肉中 PUFA/SFA 为 1.22±0.30,高于阿根廷无须鳕肝脏的值(0.9%~1.1%),表明该鱼种肌肉比肝脏更适于指示 PUFA。

Méndez 等(1997)分析了阿根廷无须鳕肝脏的脂肪酸组成的季节性变化。通过与本研究月份相同

(2月、4月和12月)的阿根廷无须鳕肝脏的脂肪酸可知,本研究的∑PUFA于2月达最低,4月最高,尤其是DHA和EPA,使其积累了大量的n-3类脂肪酸;阿根廷无须鳕肝脏的DHA也于4月出现最高值,同样能积累大量的n-3类脂肪酸,说明4月阿根廷无须鳕肝脏和肌肉组织具有最大的营养价值,且鱼油的相对营养价值最大,这可能与阿根廷无须鳕的洄游活动和产卵活动有关。12月至翌年3月为南半球春夏季,阿根廷无须鳕处于产卵期,经历一系列由受精卵至幼虫的漂浮阶段(Pájaro *et al.*,2005),此阶段的阿根廷无须鳕主要摄食海洋表层的磷虾等浮游甲壳类(Sánchez *et al.*,1999;Sánchez,2009);4月开始进入秋季,阿根廷无须鳕开始由大陆架向南迁移逐渐到高纬度的深海处,以寻找食物来源补充能量(Sabatini,2004;Álvarez-Colombo *et al.*,2011),此阶段的阿根廷无须鳕主要摄食底栖食物来源。在这类特征脂肪酸的指示物中,C20:4n6和C20:1分别是海洋底栖生物和浮游动物的指标(Stowasser *et al.*,2009;Kattner *et al.*,2008),本研究中阿根廷无须鳕肌肉中C20:4n6随月份推移而增加,并于4月达到最高值,C20:1随着纬度南移而降低,均说明阿根廷无须鳕在12月—翌年4月期间的食物组成由浮游性向底栖性转变,同时也佐证了阿根廷无须鳕季节性水平和垂直洄游的特性。

致谢 本研究得到中国水产总公司所属渔船"龙腾号"船长及全体船员协助收集并提供相关样品,上海海洋大学海洋科学学院刘子俊、魏联、陈吕凤和任泽乾等同学帮忙处理鱼类样品并进行实验室内样品测量工作。

参考文献

Ackman RG, Ratnayake WMN, Olsson B. 1988. The "basic" fatty acid composition of Atlantic fish oils: Potential similarities useful for enrichment of polyunsaturated fatty acids by urea complexation. *Journal of the American Oil Chemists Society*, **65**: 136-138.

Ackman RG. 1980. Fish lipids// Connel JJ, eds. Advances in Fish Science and Technology. Surrey: Fishing News Book Ltd: 86-103.

Álvarez-Colombo GL, Dato C, Macchi GJ, *et al*. 2011. Distribución y comportamiento de las larvas de la merluza Argentina: Evidencias de un mecanismo biofísico de autorreclutamiento en aguas de la plataforma continental norte de la Patagonia. *Ciencias Marinas*, **37**: 633-657.

Bourre JM. 2007. Dietary omega-3 fatty acids for women. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, **61**: 105-112.

Budge SM, Sara JI, Heather NK. 2006. Studying trophic ecology in marine ecosystems using fatty acids: A primer on analysis and interpretation. *Marine Mammal Science*, **22**: 759-801.

Cousseau MB, Perrotta RG. 1998. Peces marinos de Argentina: biología, distribución, pesca. Mar del Plata: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero.

Cretton M, Rost E, Mazzuca ST, *et al*. 2016. Variation in the proximate composition and fatty acid profile recovered from Argentine hake (*Merluccius hubbsi*) waste from Patagonia. *Grasas Y Aceites*, **67**: 1-12.

Folch J, Lees MB, Stanley GH, *et al*. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, **226**: 497-509.

Gigliotti JC, Davenport MP, Beamer SK, *et al*. 2010. Extraction and characterization of lipids from Antarctic krill (*Euphausia superba*). *Food Chemistry*, **125**: 1028-1036.

Guil Guerrero JL, Venegas Venegas E, Rincon Cervera MA, *et al*. 2011. Fatty acid profiles of livers from selected marine fish species. *Journal of Food Composition and Analysis*, **24**: 217-222.

Huynh MD, Kitts DD. 2009. Evaluating nutritional quality of pacific fish species from fatty acid signatures. *Food Chemistry*, **114**: 912-918.

Kattner G, Hagen W. 2008. Lipids in Marine Copepods: Latitudinal Characteristics and Perspective to Global Warming// Arts MT, Brett MT, Kainz MJ, eds. Lipids in Aquatic Ecosystems. New York: Springer: 257-280.

Méndez E, González RM. 1997. Seasonal changes in the chemical and lipid composition of fillets of the Southwest Atlantic hake (*Merluccius hubbsi*). *Food Chemistry*, **59**: 213-217.

Méndez E. 1997. Seasonal changes in the lipid classes and fatty acid compositions of hake (*Merluccius hubbsi*) liver oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. **74**: 1173-1175.

Nelson MM, Mooney BD, Nichols PD, *et al*. 2001. Lipids of Antarctic Ocean amphipods: Food chain interactions and the occurrence of novel biomarkers. *Marine Chemistry*, **73**: 53-64.

Njinkoue J, Barnathan G, Miralles J, *et al*. 2002. Lipids and fatty acids in muscle, liver and skin of three edible fish from the Senegalese coast: *Sardinella maderensis*, *Sardinella aurita* and *Cephalopholis taeniops*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, **131**: 395-402.

Pájaro M, Macchi G, Martos P. 2005. Reproductive pattern of the Patagonian stock of Argentine hake (*Merluccius hubbsi*). *Fisheries Research*, **72**: 97-108.

Pitcher TJ, Alheit J. 1995. What makes a hake? A review of the critical biological features that sustain global hake fisheries// Alheit J, Pitcherr TJ, eds. Hake: Fisheries, Ecology and Markets. Netherlands: Springer: 1-14.

Podesta GP. 1990. Migratory Pattern of Argentine Hake *Merluccius hubbsi* and Oceanic Processes in the Southwestern Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin*, **88**: 167-177.

Sabatini M. 2004. Características ambientales, reproducción y alimentación de la merluza (*Merluccius hubbsi*) y la anchoita (*Engraulis anchoita*) en su hábitat reproductive patagónico. Síntesis y perspectivas. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero*, **16**: 5-25.

Sánchez F, García De La Rosa SB. 1999. Alimentación de *Merluccius hubbsi* e impacto del canibalismo en la región comprendida entre 34°50′S-47°S del Atlántico Sudoccidental. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero*, **12**: 77-93.

Sánchez F. 2009. Alimentación de la merluza (*Merluccius hubbsi*) en el Golfo San Jorge y aguas adyacentes. *Informe Técnico Interno DNI-INIDEP*, **75**: 1-21.

Simopoulos AP. 2002. Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases. *Journal of American College Nutrition*, **21**: 495-505.

Simopoulos AP. 2011. Evolutionary aspects of diet: The omega-6/omega-3 ratio and the brain. *Molecular Neurobiology*, **44**: 203-215.

Simopoulos AP. 2011. Importance of the omega-6/omega-3 balance in health and disease: Evolutionary aspects of diet// Simopoulos AP, eds. Healthy agriculture, healthy nutrition, healthy people. *Karger Publishers*, **102**: 10-21.

Stowasser G, Pond DW, Collins MA, *et al*. 2009. Using fatty acid analysis to elucidate the feeding habits of Southern Ocean mesopelagic fish. *Marine Biology*, **156**: 2289-2302.

Temperoni B, Vinas MD, Buratti CC, *et al*. 2013. Feeding strategy of juvenile (age 0+ year) Argentine hake *Merluccius hubbsi* in the Patagonian nursery ground. *Journal of Fish Biology*, **83**: 1354-1370.

Yorio P, Caille G. 2004. Fish waste as an alternative resource for gulls along the Patagonian coast: Availability, use, and potential consequences. *Marine pollution bulletin*, **48**: 778-783.

Zattara DN. 2011. Catálogo artístico del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

作者简介 王少琴,女,1990 年生,农学硕士,助理实验员,主要从事鱼类生态学研究。E-mail: sqwang@ shou.edu.cn

责任编辑 李凤芹