

文章编号: 1000-0615(2018)01-0080-11

DOI: 10.11964/jfc.20170610868

冬夏两季五种经济鱼类组织脂肪酸含量及组成分析

乔芳, 李欢, 李东亮, 张美玲, 杜震宇*

(华东师范大学生命科学学院, 上海 200241)

摘要: 为了解不同季节不同鱼类不同组织中的不同脂肪酸含量, 科学地指导鱼类膳食消费, 本实验研究了冬夏两季, 采集自上海市场常见的5种经济鱼类: 大黄鱼(海洋肉食性), 银鲳(海洋杂食性), 日本鳗鲡(淡水肉食性), 莫桑比克罗非鱼(淡水杂食性), 草鱼(淡水草食性), 分别检测鱼背部肌肉、腹部肌肉、尾部肌肉、肝脏和腹腔脂肪组织的脂肪含量和脂肪酸绝对含量。结果显示, 5种鱼肌肉脂肪酸谱存在显著差异, 并与各自的生活环境及食性均有关系; 在鱼的腹腔脂肪或肝脏中, 饱和脂肪酸(SFAs)和单不饱和脂肪酸(MUFAs)含量较高, 且与组织脂肪含量密切相关; 而多不饱和脂肪酸(PUFAs)、n-3系多不饱和脂肪酸(n-3 PUFAs)和n-6系多不饱和脂肪酸(n-6 PUFAs)含量较低, 且与组织脂肪含量关系不大; 大黄鱼和银鲳各肌肉组织中的n-3 PUFAs、二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)含量以及n-3/n-6值高于莫桑比克罗非鱼和草鱼, 并与组织脂肪含量呈正相关; 冬季草鱼腹部肌肉、莫桑比克罗非鱼尾部肌肉以及日本鳗鲡和银鲳的肝脏中的n-3 PUFAs含量较夏季高。研究表明, 脂肪酸组成与物种、食性、水域环境以及季节温度和组织部位均有关系。从补充n-3 PUFAs摄入的角度分析, 日本鳗鲡、大黄鱼和银鲳营养价值高于莫桑比克罗非鱼和草鱼, 冬季鱼类的营养价值高于夏季。

关键词: 经济鱼类; 季节; 食用部位; 脂肪酸谱; n-3系多不饱和脂肪酸; 营养价值

中图分类号: S 963

文献标志码: A

鱼类因其体内富含必需氨基酸、n-3系多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFAs)以及多种维生素和矿物质元素, 已被食品营养学界公认为优质的动物性膳食来源。其中, 鱼类所富含的20碳以上的n-3 PUFAs已被证明对人类具有很高的疾病预防与保健效应, 所以鱼类脂肪酸的研究一直是鱼类营养生理学界普遍关注的热点问题^[1-2]。

脂肪酸种类包括饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFAs)、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFAs)以及多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFAs)。因为人体缺乏相应的去饱和酶, 所以不能自身合成n-3 PUFAs和n-6 PUFAs, 而需从外界摄取。n-3和n-6系PUFAs都是合成类二十烷酸化合物的前体, 它们在体内

的平衡对于稳定细胞膜功能、维持细胞因子和脂蛋白平衡、抗心血管病、促进生长发育等方面起着重要作用。由于很多情况下, 这两类PUFAs在功能上相互协调制约, 共同调节生物体的生命活动, 因此保持n-3和n-6系PUFAs的比例平衡十分重要^[3]。当前, 随着植物性油脂在餐饮业中的大量应用, 人们日常饮食往往摄入过量的n-6 PUFAs, 所以, 适量补充n-3 PUFAs尤为必要^[4]。在水产品中特有的20碳以上的n-3 PUFAs是二十二碳六烯酸(decosahexaenoic acid, DHA)和二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA), 已有众多研究表明这两种脂肪酸参与调节人体心血管系统、神经系统和免疫系统, 并且具有健脑明目、提高记忆力、增强免疫力、抗炎症抗癌和预防心血管疾病等功效^[5-7]。

收稿日期: 2017-06-13 修回日期: 2017-08-08

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2014CB138603); 国家自然科学基金(31472290/C190401)

通信作者: 杜震宇, E-mail: zydu@bio.ecnu.edu.cn

上海地处长江入海口,滨临东海,水产品资源十分丰富。作为世界上的超大城市之一,上海每年的水产品消耗量十分巨大,其中鱼类产品占据水产品消费中的绝大部分。据统计,在2013年上海市水产品消费中,鱼类高达86.88%^[8]。然而,鱼种类繁多,营养价值各异,即使同一条鱼的不同部位,其营养素含量也有所差别,再加之季节、生长环境等因素的改变,都会造成鱼体内营养成分的变化。然而,不同季节不同鱼类不同组织间的营养素含量差异与变化规律,至今尚未见报道。

本实验以冬夏2季上海市场上5种不同食性以及不同生活环境的鱼类为研究对象,对其3种可食用组织(背部肌肉、腹部肌肉和尾部肌肉),以及2种非食用组织(肝脏和腹腔脂肪组织)的脂肪酸成分进行了测定,以期找出不同鱼类不同组织间不同脂肪酸的含量差异及其与鱼类食性、生活环境和季节之间的关系,为更好地了解鱼类的脂肪酸沉积规律以及为人们更加有效地食用鱼类水产品提供科学指导。

1 材料与amp;方法

1.1 样品采集

本研究选择5种上海水产市场常见的食用鱼类:属于海洋肉食性和杂食性鱼类的大黄鱼(*Larimichthys crocea*)和银鲳(*Pampus argenteus*);分别属于淡水肉食性、杂食性和草食性鱼类的日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)、莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)和草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)。鱼样品分别采自上海闵行区、普陀区和黄浦区的3个水产市场,其中大黄鱼、日本鳗鲡、莫桑比克罗非鱼和草鱼均为人工养殖品种,银鲳为野生捕捞品种。采购时间分别为2014年冬季1—2月和夏季7月,当季气温分别为1~9℃和29~39℃,每种鱼类9~12个样本。全鱼样本采购后被立即送往华东师范大学水生动物营养与环境健康实验室去皮并解剖,然后分别采集各个样本的背部肌肉、腹部肌肉、尾部肌肉、肝脏(草鱼为胰脏)和腹腔脂肪;大黄鱼和银鲳样本腹内没有明显的腹腔脂肪组织),鲜样研磨后,-80℃保存待分析。每组鱼样本的体质量大小基本一致,其中大黄鱼冬季湿重范围为0.38~0.40 kg,体长为29.4~30.2 cm,夏季湿重

0.32~0.36 kg,体长29.1~30.5 cm;银鲳冬季湿重0.12~0.16 kg,体长20.4~21.4 cm,夏季湿重0.11 kg,体长16.7~18.7 cm;日本鳗鲡冬季湿重0.56~0.58 kg,体长66.4~69.6 cm,夏季湿重0.53~0.59 kg,体长62.2~65.0 cm;莫桑比克罗非鱼冬季湿重0.45~0.47 kg,体长26.8~27.8 cm,夏季湿重0.44~0.48 kg,体长27.5~28.3 cm;草鱼冬季湿重1.35~1.48 kg,体长46.2~48.0 cm,夏季湿重1.39~1.55 kg,体长49.5~50.7 cm。

1.2 脂质提取和脂肪酸分析

各组织中的总脂以甲醇氯仿法(1:2, V/V)提取^[9]。脂质样品中的脂肪酸经含10%氢氧化钾的甲醇溶液在室温下处理1 h后甲基化,得到的脂肪酸甲酯用装备交联5%苯甲基硅酮胶柱的气相色谱仪(Hewlett-Packard HP-5890)进行分析量化(L=25 m, ID=0.32 mm, DF=0.25 μmol/L, HP-UItra2,以氮气为载气)。以50 g/L的十九烷酸为内标,用量为脂肪酸总量的10%。用氢火焰离子化检测器进行检测,喷嘴和检测器的温度分别为280和300℃。柱温度设定从190℃上升到260℃(2℃/min),维持5 min。为方便广大民众及相关科研、管理人员计算实际脂肪酸摄入量,本研究一律采用绝对定量法(mg/100 g样品湿重)进行数据分析与表示。

1.3 数据分析

使用SPSS 19(SPSS Inc., Chicago, IL)进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)。所有样品设3个重复(n=3),结果以mean±SE表示。鱼种类之间以及各组织间的差异用邓肯多重分析(Duncan's multiple test)进行评估,冬夏季间的样品值差异使用t检验,显著性差异设为P<0.05。

用MATLAB R2014a软件对3种肌肉组织的脂肪酸主成分进行分析并绘图,样品点的离散程度根据样品中脂肪酸种类和含量的相近度进行排布,组分相近的样品聚类在一起,组分差异较大的样品相互分离,根据聚集程度可以直观地区分样品间的相似程度。

2 结果

2.1 对PCA图的分析

对5种鱼类肌肉组织中脂肪酸主成分分析结果显示,不同鱼类拥有不同的脂肪酸谱,均能

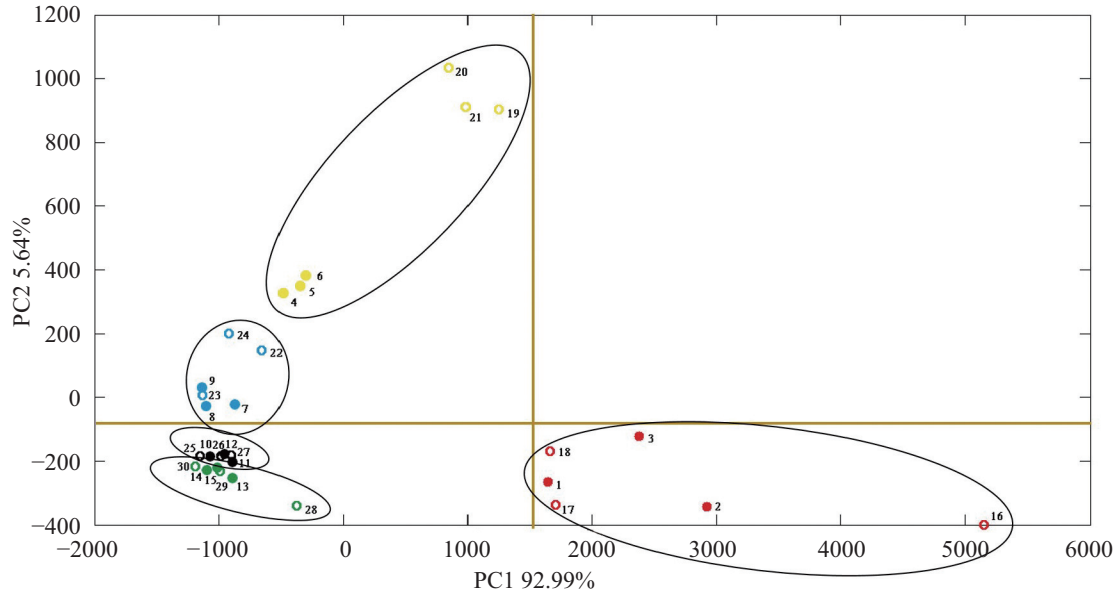


图1 五种经济鱼类在冬夏两季肌肉组织中脂肪酸组成的主成分分析

红色代表日本鳗鲡, 黄色代表大黄鱼, 蓝色代表银鲳, 黑色代表莫桑比克罗非鱼, 绿色代表草鱼; 实心圆代表冬季, 空心圆代表夏季

Fig. 1 Principal component analysis of fatty acids in muscles of five fish species in winter and summer

Red represents *A. japonica*, yellow represents *L. crocea*, blue represents *P. argenteus*, black represents *O. mossambicus*, green represents *C. idella*; filled circles represent winter, empty circles represent summer

各自独立成组。就鱼种之间的差异度而言, 除了莫桑比克罗非鱼和草鱼的脂肪酸谱较为相似之外, 其余3种鱼类(日本鳗鲡、大黄鱼和银鲳)的脂肪酸谱均存在较大差异, 分离度较大, 其中日本鳗鲡与其他4种鱼类差别最大(图1)。同时, 鱼类脂肪酸谱也体现出不同生活环境、不同食性的特异性。按四象限区分, 属于纯海洋鱼类的大黄鱼和银鲳在第二左上象限(左上); 属于纯淡水鱼类的莫桑比克罗非鱼和草鱼在第三象限(左下); 而幼年期在海洋生活、成年期在淡水生活的日本鳗鲡的脂肪酸谱则单独居于第四象限(右下)。从季节差异来看, 2种海洋性鱼类大黄鱼和银鲳冬夏2季肌肉中脂肪酸组成存在差异性, 尤其在大黄鱼脂肪酸谱中存在明显季节差异; 但莫桑比克罗非鱼、草鱼和日本鳗鲡的脂肪酸谱并未呈现明显的季节差异。

2.2 SFAs含量

对于同一种鱼, 背部、腹部和尾部肌肉这3种可食用组织中的SFAs含量大体相等, 没有表现出差异性(表1)。而对于同一种肌肉组织的不同种鱼来说, 日本鳗鲡和大黄鱼3种肌肉组织中SFAs的含量显著高于其余3种鱼类($P < 0.05$)。从冬夏2季的比较分析, 除了夏季时大黄鱼背部肌

肉组织SFAs的含量显著高于冬季($P < 0.05$)外, 夏季银鲳背部肌肉、莫桑比克罗非鱼腹部肌肉和尾部肌肉均显著低于冬季($P < 0.05$), 其中莫桑比克罗非鱼腹部肌肉SFAs含量极显著低于冬季水平($P < 0.01$)。

非食用组织(肝脏和腹腔脂肪)中SFAs含量高于可食用组织(背部肌肉、腹部肌肉和尾部肌肉), 特别是在夏季(除日本鳗鲡), 非食用组织中SFAs含量显著高于可食用组织($P < 0.05$)。对于同一组织不同鱼类而言, 大黄鱼和银鲳肝脏中SFAs含量显著高于其余3种鱼类, 特别是大黄鱼肝脏中SFAs含量显著高于日本鳗鲡、莫桑比克罗非鱼和草鱼($P < 0.05$)。从冬夏2季相比较分析, 非食用组织部分除了夏季日本鳗鲡腹腔脂肪显著高于冬季之外($P < 0.05$), 其他无显著差异。

2.3 MUFAs含量

同一种鱼不同肌肉组织中的MUFAs无差异, 与SFAs一致(表2)。对于同一肌肉组织不同鱼类而言, 除大黄鱼尾部肌肉外, 日本鳗鲡和大黄鱼肌肉组织中MUFAs显著高于其余3种鱼类($P < 0.05$)。从冬夏2季相比较分析, 仅有冬季莫桑比克罗非鱼腹部肌肉MUFAs含量显著高于夏季($P < 0.05$), 与SFAs趋势一致, 其余无显著性差异。

表 1 冬夏两季5种经济鱼类各组织中饱和脂肪酸(SFAs)含量

Tab. 1 SFAs content of five fish species in winter and summer

(mg/100 g湿重)

		背部肌肉 dorsal muscle	腹部肌肉 abdominal muscle	尾部肌肉 tail muscle	肝脏 liver	腹腔脂肪 abdominal fat
冬季 winter	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	2705.22±293.10 ^{aC}	3109.31±1264.67 ^{aB}	3113.86±333.15 ^{aC}	2465.54±384.50 ^{aA}	12 031.12±1378.30 ^{bA}
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	1770.63±173.78 ^{aB}	3170.28±505.05 ^{aB}	1434.27±179.87 ^{aB}	7377.30±860.10 ^{bB}	/
	银鲳 <i>P. argenteus</i>	783.14±65.52 ^{aA}	1424.50±467.64 ^{aA}	741.14±53.13 ^{aA}	4879.44±2026.46 ^{bA/B}	/
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	553.52±52.13 ^{aA}	1289.03±114.55 ^{aA}	710.74±86.08 ^{aA}	2575.62±663.46 ^{aA}	26 073.38±2044.18 ^{bC}
	草鱼 <i>C. idella</i>	433.64±59.59 ^{aA}	908.08±171.39 ^{aA}	485.04±30.00 ^{aA}	1422.42±1032.60 ^{aA}	18 105.33±687.90 ^{bB}
夏季 summer	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	2546.43±519.30 ^{aB}	2564.22±606.34 ^{aC}	2699.44±670.53 ^{aB}	2776.66±427.76 ^{aA}	17 249.88±1007.67 ^{bA*}
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	2500.32±55.67 ^{aB*}	3657.03±254.30 ^{aD}	1812.69±256.47 ^{aB}	8817.43±1254.68 ^{bB}	/
	银鲳 <i>P. argenteus</i>	465.64±84.64 ^{aA*}	1535.46±325.56 ^{aB/C}	660.04±100.36 ^{aA}	5454.50±2329.18 ^{bA/B}	/
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	422.30±47.67 ^{aA}	515.87±66.15 ^{aA/B*}	348.87±84.43 ^{aA*}	4050.02±891.75 ^{bA}	25 224.85±1720.28 ^{bB}
	草鱼 <i>C. idella</i>	448.29±188.35 ^{aA}	390.22±108.78 ^{aA}	485.50±107.06 ^{aA}	3713.33±1041.32 ^{bA}	18 315.55±1802.68 ^{aA}

注: 不同小写字母表示同一种鱼不同组织之间差异显著($P<0.05$); 不同大写字母表示同一季节不同鱼之间差异显著($P<0.05$); “*”表示同种鱼同一组织不同季节之间差异显著($P<0.05$), “***”表示同种鱼同一组织不同季节之间差异极显著($P<0.01$); “/”表示无腹腔脂肪组织, 下同。

总饱和脂肪酸(SFAs)包括: C6:0, C8:0, C10:0, C11:0, C12:0, C13:0, C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0, C21:0, C22:0, C23:0, C24:0

Notes: In the same row, the values with different lowercase letters within the same fish species are significantly different ($P<0.05$); in the same column, the values with different uppercase letters within the same season are significantly different ($P<0.05$); The values with “*” mean the significant difference compared to the corresponding fish tissue in winter ($P<0.05$); “***” mean the highly significant difference ($P<0.01$); “/” means no abdominal fat, the same below.

SFAs include: C6:0, C8:0, C10:0, C11:0, C12:0, C13:0, C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0, C21:0, C22:0, C23:0, C24:0

表 2 冬夏两季5种经济鱼类各组织中单不饱和脂肪酸(MUFAs)含量

Tab. 2 MUFAs content of five fish species in winter and summer

(mg/100 g湿重)

		背部肌肉 dorsal muscle	腹部肌肉 abdominal muscle	尾部肌肉 tail muscle	肝脏 liver	腹腔脂肪 abdominal fat
冬季 winter	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	5779.84±569.79 ^{aC}	6554.98±2776.50 ^{aC}	6637.92±700.34 ^{aB}	5256.57±1025.83 ^{aA}	27 748.34±1739.31 ^b
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	1806.70±199.08 ^{aB}	3301.02±517.13 ^{aB}	1450.94±208.93 ^{aA}	11 721.49±1683.92 ^{bB}	/
	银鲳 <i>P. argenteus</i>	601.41±152.68 ^{aA}	1029.90±78.35 ^{aA}	601.09±140.97 ^{aA}	3882.94±857.47 ^{bA}	/
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	655.17±75.41 ^{aA}	1613.80±195.91 ^{aA}	864.59±136.54 ^{aA}	3342.24±1071.90 ^{aA}	33 410.24±2620.95 ^b
	草鱼 <i>C. idella</i>	752.14±134.51 ^{aA}	1788.28±388.22 ^{aA}	850.31±65.60 ^{aA}	2807.62±2231.44 ^{aA}	32 016.33±1499.58 ^b
夏季 summer	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	4512.50±1143.09 ^{aC}	4996.99±1345.76 ^{aB}	4607.42±1538.08 ^{aB}	4350.05±628.09 ^{aA}	31 459.15±2393.07 ^b
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	2255.89±66.01 ^{aB}	3379.08±426.22 ^{aB}	1681.95±243.13 ^{aA}	9276.15±1121.90 ^{bB}	/
	银鲳 <i>P. argenteus</i>	252.11±67.64 ^{aA}	874.39±258.55 ^{aA}	371.25±48.64 ^{aA}	2825.98±516.46 ^{bA}	/
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	455.49±57.90 ^{aA}	640.61±96.55 ^{aA*}	394.05±105.10 ^{aA}	4135.03±818.21 ^{bA}	35 389.43±1778.88 ^c
	草鱼 <i>C. idella</i>	663.03±378.55 ^{aA/B}	578.19±221.83 ^{aA}	740.84±191.04 ^{aA}	5044.31±1163.98 ^{aA}	32 126.06±4190.96 ^b

注: 单不饱和脂肪酸(MUFAs)包括: C14:1, C15:1, C16:1, C17:1, C18:1n9t, C18:1n9c, C20:1n9, C22:1n9, C24:1n9

Notes: MUFAs include: C14:1, C15:1, C16:1, C17:1, C18:1n9t, C18:1n9c, C20:1n9, C22:1n9, C24:1n9

对于肝脏和腹腔脂肪2种非食用组织来说, 与SFAs类似, 除日本鳗鲡外非食用组织中MUFAs含量均高于食用部分, 特别是腹腔脂肪组织

中MUFAs含量显著高于3种肌肉组织($P<0.05$)。对于肝脏来说, 大黄鱼肝脏中MUFAs含量显著高于其他鱼类($P<0.05$), 而腹腔脂肪组织之间无

差别,冬夏季之间也无差别。

2.4 PUFAs、n-3 PUFAs、n-6 PUFAs含量

对于同一种鱼的3种可食性的肌肉组织来说,大黄鱼腹部肌肉中的PUFAs、n-3 PUFAs含量显著高于其尾部肌肉($P<0.05$),而n-6 PUFAs在3种肌肉中无明显差别(表3~表5)。从同一肌肉组

织不同鱼类分析,日本鳗鲡和大黄鱼肌肉中PUFAs、n-3 PUFAs含量高于其余3种鱼类,而日本鳗鲡肌肉中n-6 PUFAs含量显著高于银鲳($P<0.05$)。从冬夏季差异来看,冬季莫桑比克罗非鱼尾部肌肉中PUFAs、n-3 PUFAs和n-6 PUFAs含量均显著高于夏季($P<0.05$),另外,莫桑比克罗非鱼腹部肌肉中PUFAs、草鱼腹部肌肉中n-3 PUFAs含量

表3 冬夏两季5种经济鱼类各组织中多不饱和脂肪酸(PUFAs)含量

Tab. 3 PUFAs content of five fish species in winter and summer

(mg/100 g湿重)

		背部肌肉 dorsal muscle	腹部肌肉 abdominal muscle	尾部肌肉 tail muscle	肝脏 liver	腹腔脂肪 abdominal fat	
冬季 winter	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	1392.16±528.75 ^{aC}	1588.87±1115.13 ^{aB}	1617.21±436.56 ^{aB}	863.02±77.90 ^a	9204.33±557.61 ^b	
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	1177.64±96.36 ^{abBC}	1807.71±195.93 ^{bB}	781.95±97.38 ^{a/A}	1440.87±368.48 ^{ab}	/	
	银鲳 <i>P. argenteus</i>	297.13±24.06 ^{a/A}	476.33±73.16 ^{ab/A}	324.28±44.41 ^{a/A}	740.50±150.27 ^b	/	
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	331.28±45.57 ^{a/A}	747.56±108.43 ^{a/A}	474.26±47.71 ^{a/A}	1039.85±156.11 ^a	12 855.76±973.35 ^b	
	草鱼 <i>C. idella</i>	466.69±64.53 ^{a/AB}	886.30±171.49 ^{a/A}	490.72±20.95 ^{a/A}	1388.74±1023.14 ^a	12 314.00±2006.61 ^b	
	夏季 summer	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	1272.93±172.73 ^{aB}	922.93±141.24 ^{aB}	1348.48±322.52 ^{aC}	265.57±42.68 ^{a/A**}	6727.21±903.76 ^{b/A}
		大黄鱼 <i>L. crocea</i>	1174.29±262.03 ^{bB}	1773.55±154.53 ^{cC}	843.54±67.76 ^{bB}	294.08±84.00 ^{a/A*}	/
银鲳 <i>P. argenteus</i>		196.60±38.76 ^{a/A}	534.79±158.26 ^{aB}	213.38±7.21 ^{a/A}	367.97±118.95 ^{a/A}	/	
莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>		244.86±32.36 ^{a/A}	330.58±34.81 ^{a/A*}	226.85±57.15 ^{a/A*}	978.39±52.12 ^{aB}	18 201.29±2891.67 ^{bB}	
草鱼 <i>C. idella</i>		444.24±137.78 ^{a/A}	402.54±89.50 ^{a/A}	501.97±69.54 ^{a/AB}	1561.60±260.74 ^{a/C}	16 175.17±2091.86 ^{bB}	

注:多不饱和脂肪酸(PUFAs)包括: C18:2n6t, C18:2n6c, C18:3n6, C18:3n3, C20:2, C20:3n6, C20:3n3, C20:4n6, C20:5n3, C22:2, C22:6n3, DPA

Notes: PUFAs include: C18:2n6t, C18:2n6c, C18:3n6, C18:3n3, C20:2, C20:3n6, C20:3n3, C20:4n6, C20:5n3, C22:2, C22:6n3, DPA

表4 冬夏两季5种经济鱼类各组织中n-3系多不饱和脂肪酸(n-3 PUFAs)含量

Tab. 4 Total n-3 PUFAs content of five fish species in winter and summer

(mg/100 g湿重)

		背部肌肉 dorsal muscle	腹部肌肉 abdominal muscle	尾部肌肉 tail muscle	肝脏 liver	腹腔脂肪 abdominal fat	
冬季 winter	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	762.29±309.80 ^{aB}	960.67±553.90 ^{aB}	905.61±142.79 ^{aB}	693.21±53.08 ^{a/AB}	5608.44±1055.19 ^{bB}	
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	1024.15±79.79 ^{abB}	1563.14±174.55 ^{bC}	679.96±79.77 ^{aB}	1064.70±383.00 ^{abB}	/	
	银鲳 <i>P. argenteus</i>	260.48±19.06 ^{a/A}	421.13±46.00 ^{ab/A}	281.70±54.49 ^{a/A}	557.31±88.00 ^{b/AB}	/	
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	72.77±15.37 ^{a/A}	213.67±64.85 ^{a/A}	108.42±5.13 ^{a/A}	247.42±21.33 ^{a/A}	631.56±364.63 ^{b/A}	
	草鱼 <i>C. idella</i>	144.40±9.28 ^{a/A}	173.72±16.84 ^{a/A}	140.61±3.17 ^{a/A}	268.73±120.97 ^{a/A}	956.33±225.75 ^{cB/A}	
	夏季 summer	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	548.82±253.07 ^{ab/AB}	637.57±116.50 ^{abB}	757.29±136.25 ^{bB}	147.31±70.57 ^{a/A**}	4246.65±127.49 ^{cB}
		大黄鱼 <i>L. crocea</i>	1003.90±209.58 ^{bB}	1528.44±152.56 ^{cC}	710.39±16.87 ^{bB}	76.96±23.43 ^{a/A}	/
银鲳 <i>P. argenteus</i>		178.97±31.78 ^{ab/A}	431.03±154.73 ^{b/AB}	167.77±14.21 ^{ab/A}	124.80±33.15 ^{a/A**}	/	
莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>		62.41±16.76 ^{a/A}	68.01±7.76 ^{a/A}	61.19±13.00 ^{a/A*}	256.86±44.63 ^{a/A}	2100.10±586.81 ^{b/A}	
草鱼 <i>C. idella</i>		127.98±9.41 ^{a/A}	114.59±6.01 ^{a/A*}	132.93±6.07 ^{a/A}	517.38±145.80 ^{aB}	1888.67±369.92 ^{b/A}	

注: n-3系多不饱和脂肪酸(n-3 PUFAs)包括: C18:3n3, C20:3n3, C20:5n3, C22:6n3, DPA

Notes: n-3 PUFAs include: C18:3n3, C20:3n3, C20:5n3, C22:6n3, DPA

表 5 冬夏两季5种经济鱼类各组织中n-6系多不饱和脂肪酸(n-6 PUFAs)含量

Tab. 5 Total n-6 PUFAs content of five fish species in winter and summer

(mg/100 g湿重)

		背部肌肉 dorsal muscle	腹部肌肉 abdominal muscle	尾部肌肉 tail muscle	肝脏 liver	腹腔脂肪 abdominal fat
冬季 winter	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	629.87±275.70 ^{aB}	628.19±563.02 ^{aB}	711.60±300.91 ^{aB}	169.81±29.92 ^{aA}	3595.89±1426.96 ^{bA}
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	153.49±16.65 ^{aA}	244.57±22.03 ^{abAB}	101.99±18.86 ^{aA}	376.17±78.36 ^{bAB}	/
	银鲱 <i>P. argenteus</i>	36.65±5.13 ^{aA}	55.20±30.03 ^{aA}	42.58±10.11 ^{aA}	183.19±62.59 ^{bA}	/
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	258.51±30.22 ^{aAB}	533.90±163.60 ^{aAB}	365.84±42.59 ^{aAB}	792.42±177.12 ^{aBC}	1105.03±637.99 ^{bB}
	草鱼 <i>C. idella</i>	322.29±55.49 ^{aAB}	712.58±155.02 ^{aB}	350.11±18.49 ^{aAB}	1120.01±902.23 ^{aC}	11 357.67±1788.40 ^{bB}
夏季 summer	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	724.1±354.97 ^{aB}	285.36±42.68 ^{aB}	591.19±247.47 ^{aB}	118.26±27.92 ^{aA}	2480.56±776.72 ^{bA}
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	170.40±65.39 ^{aB}	245.11±35.50 ^{aB}	133.15±50.96 ^A	217.12±79.33 ^A	/
	银鲱 <i>P. argenteus</i>	17.63±7.28 ^{aA}	103.76±8.42 ^{abA}	45.61±18.23 ^{aA}	243.17±98.11 ^{bA}	/
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	182.45±15.90 ^{aAB}	262.57±27.55 ^{aB}	165.66±44.36 ^{aA*}	721.53±96.18 ^{aB}	16 101.19±2546.82 ^{bB}
	草鱼 <i>C. idella</i>	316.27±143.12 ^{aAB}	287.95±87.64 ^{aB}	369.03±64.30 ^{aAB}	1044.22±127.54 ^{aC}	14 286.50±1906.85 ^{bB}

注: n-6系多不饱和脂肪酸(n-6 PUFAs)包括: C18:2n6t, C18:2n6c, C18:3n6, C20:2, C20:3n6, C20:4n6, C22:2

Notes: n-6 PUFAs include: C18:2n6t, C18:2n6c, C18:3n6, C20:2, C20:3n6, C20:4n6, C22:2

也均显著高于夏季($P<0.05$)。

对于非食用组织肝脏和腹腔脂肪来说, 腹腔脂肪组织中PUFAs、n-3 PUFAs和n-6 PUFAs含量均显著高于3种肌肉组织($P<0.05$)。在同一组织不同鱼之间比较分析, 夏季差异较明显, 即夏季莫桑比克罗非鱼和草鱼的肝脏中PUFAs和n-6 PUFAs含量显著高于其余3种鱼类($P<0.05$), 夏季草鱼肝脏中n-3 PUFAs含量显著高于其他4种鱼类($P<0.05$)。从季节差异分析, 日本鳗鲡肝脏中的

PUFAs和n-3 PUFAs、大黄鱼的肝脏中PUFAs含量以及银鲱肝脏中n-3 PUFAs的含量均是冬季显著高于夏季($P<0.05$), 其中冬季日本鳗鲡肝脏中PUFAs含量极显著高于夏季($P<0.01$)。

2.5 n3/n6值

对于同一种鱼的3种可食性部位来说, 除了草鱼腹部肌肉中n-3/n-6值显著低于背部和尾部肌肉、银鲱背部肌肉n-3/n-6值显著高于腹部和尾部

表 6 冬夏两季5种经济鱼类各组织中n-3/n-6值

Tab. 6 n-3/n-6 ratio of five fish species in winter and summer

		背部肌肉 dorsal muscle	腹部肌肉 abdominal muscle	尾部肌肉 tail muscle	肝脏 liver	腹腔脂肪 abdominal fat
冬季 winter	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	1.40±0.34 ^{abB}	1.95±0.62 ^{abA}	1.87±0.74 ^{aA}	4.28±0.56 ^{bB}	2.43±1.24 ^{ab}
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	6.71±0.21 ^{bC}	6.37±0.20 ^{bB}	6.85±0.63 ^{bBC}	3.12±1.25 ^{aB}	/
	银鲱 <i>P. argenteus</i>	7.25±0.51 ^C	12.33±5.06 ^B	8.66±4.31 ^C	3.64±0.90 ^B	/
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	0.27±0.03 ^A	0.67±0.45 ^A	0.30±0.02 ^A	0.37±0.14 ^A	0.13±0.02
	草鱼 <i>C. idella</i>	0.47±0.06 ^{cA}	0.26±0.04 ^{bA}	0.40±0.02 ^{cA}	0.26±0.04 ^{bA}	0.08±0.01 ^a
夏季 summer	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	1.42±0.75 ^A	2.29±0.37 ^{AB}	1.62±0.53 ^{AB}	1.87±1.32	2.02±0.51 ^B
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	7.23±1.76 ^{bB}	6.50±1.04 ^{bC}	7.02±2.36 ^{bC}	0.44±0.14 ^{a*}	/
	银鲱 <i>P. argenteus</i>	12.59±3.53 ^{bB}	4.10±1.37 ^{aBC}	5.38±2.25 ^{aBC}	0.65±0.29 ^{a*}	/
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	0.33±0.06 ^{bA}	0.26±0.01 ^{abA}	0.38±0.03 ^{bA}	0.39±0.11 ^b	0.13±0.03 ^{aA}
	草鱼 <i>C. idella</i>	0.61±0.26 ^A	0.53±0.22 ^A	0.38±0.05 ^A	0.48±0.10	0.13±0.02 ^A

肌肉之外($P<0.05$), 其余均无明显差别(表6)。从同一种鱼不同肌肉组织来看, 大黄鱼和银鲳的3种肌肉组织中n-3/n-6值大部分均显著高于其余3种鱼类($P<0.05$)。而冬夏季的变化, 各肌肉组织中n-3/n-6值也不会发生明显改变。

对于肝脏和腹腔脂肪这2种非食用组织来说, 与3种可食用肌肉组织相比较, n-3/n-6值在腹腔脂肪组织中不是最高的, 这与前面几种脂肪酸含量趋势有所不同。对于冬季的肝脏组织来说, 日本鳗鲡、大黄鱼和银鲳中n-3/n-6值显著高于莫桑比克罗非鱼和草鱼($P<0.05$)。夏季中日本鳗鲡的腹腔脂肪n-3/n-6值显著高于莫桑比克罗非鱼和草鱼($P<0.05$)。

2.6 EPA和DHA含量

对于同一种鱼类的3种肌肉组织而言, 夏季的大黄鱼腹部肌肉中EPA和DHA含量显著高于背部和尾部肌肉($P<0.05$)(表7, 表8)。对于同一肌肉组织的不同鱼类来说, 日本鳗鲡和大黄鱼3种肌肉组织中EPA和DHA含量高于其余3种鱼类, 特别是在冬季呈显著差异($P<0.05$)。从冬夏季差异分析, 冬季银鲳背部肌肉和罗非鱼尾部肌肉中DHA含量显著高于夏季($P<0.05$), 而EPA含量无明显差别。

对于肝脏和腹腔脂肪这2种非食用组织来说, 与3种可食用肌肉组织相比较, 日本鳗鲡的腹腔脂肪组织中EPA和DHA含量显著高于其他组

织部位($P<0.05$), 其他鱼类并无此趋势。从同一组织不同鱼类来看, 冬季的大黄鱼肝脏组织中EPA和DHA含量显著高于其他鱼类($P<0.05$), 冬季日本鳗鲡DHA含量显著高于其他鱼类($P<0.05$)。从季节差异来看, 冬季日本鳗鲡和银鲳的肝脏中EPA和DHA含量均极显著高于夏季($P<0.01$), 大黄鱼肝脏中DHA含量也显著高于夏季($P<0.05$)。冬季草鱼的肝脏和腹腔脂肪组织中DHA含量显著低于夏季($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 不同鱼类的脂肪酸谱图分析

从肌肉组织的脂肪酸主成分分析图谱可以看出, 肉食性鱼类(海洋性的大黄鱼和淡水性的日本鳗鲡)肌肉中脂肪酸组成与杂食性鱼类(海洋性的银鲳和淡水性的莫桑比克罗非鱼)有明显区别, 说明鱼类食性对肌肉脂肪酸组成有较大影响。同为肉食性的大黄鱼(海洋性)和日本鳗鲡(淡水性)分别位于第二和第四象限, 同为杂食性的银鲳(海洋性)和莫桑比克罗非鱼(淡水性)分别位于第二和第四象限, 说明水体盐度和生活环境也会对鱼类肌肉脂肪酸组成产生较大影响。

鱼类的遗传因素、生活环境以及食性等都会造成肌肉中各类脂肪酸比例和含量的变化^[10]。日本鳗鲡与其他4种鱼类差别较大, 推测可能与其生活史有关。日本鳗鲡属于洄游性鱼类, 秋季亲鳗在海水中繁殖产卵后即死亡, 春季在海

表7 冬夏两季5种经济鱼类各组织中EPA含量
Tab. 7 EPA content of five fish species in winter and summer (mg/100 g湿重)

		背部肌肉 dorsal muscle	腹部肌肉 abdominal muscle	尾部肌肉 tail muscle	肝脏 liver	腹腔脂肪 abdominal fat	
冬季 winter	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	180.86±75.64 ^{aB}	215.18±122.13 ^{aB}	208.58±41.23 ^{aB}	95.61±11.88 ^{aA}	1129.09±197.15 ^{bB}	
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	269.56±24.41 ^{abB}	423.16±40.92 ^{bC}	175.55±22.84 ^{aB}	246.76±80.91 ^{aB}	/	
	银鲳 <i>P. argenteus</i>	41.37±6.42 ^A	66.09±5.60 ^A	44.83±12.02 ^A	56.20±7.69 ^A	/	
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	2.16±1.09 ^A	20.9±16.96 ^A	3.14±0.17 ^A	0.00±0.00 ^A	36.52±21.08 ^A	
	草鱼 <i>C. idella</i>	5.76±0.40 ^{aA}	7.13±0.34 ^{aA}	5.33±0.39 ^{aA}	10.98±3.46 ^{aA}	60.67±15.50 ^{bA}	
	夏季 summer	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	128.10±75.28 ^{aB}	153.72±54.58 ^{aB}	116.10±66.98 ^{aBC}	14.61±7.39 ^{**}	862.12±92.33 ^{bB}
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	246.72±51.99 ^{bB}	374.63±33.61 ^{cC}	168.20±1.47 ^{bC}	20.98±15.18 ^a	/	
银鲳 <i>P. argenteus</i>	26.87±6.30 ^{abA}	76.21±29.22 ^{bAB}	28.43±1.94 ^{abAB}	5.89±2.94 ^{**}	/		
莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	2.77±2.18 ^A	0.79±0.79 ^A	0.79±0.79 ^A	0.00±0.00	0.00±0.00 ^A		
草鱼 <i>C. idella</i>	4.83±2.49 ^A	6.70±0.25 ^A	6.52±0.28 ^A	14.40±7.53	22.64±22.64 ^A		

表 8 冬夏两季5种经济鱼类各组织中DHA含量
 Tab. 8 DHA content of five fish species in winter and summer (mg/100 g湿重)

		背部肌肉 dorsal muscle	腹部肌肉 abdominal muscle	尾部肌肉 tail muscle	肝脏 liver	腹腔脂肪 abdominal fat
冬季 winter	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	393.57±160.02 ^{aB}	498.80±256.00 ^{aC}	458.14±43.33 ^{aC}	453.59±30.31 ^{aB}	3151.15±882.12 ^{bC}
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	572.56±38.72 ^{abB}	850.08±106.42 ^{bdD}	380.46±43.95 ^{aC}	560.60±223.15 ^{abB}	/
	银鲳 <i>P. argenteus</i>	160.33±9.89 ^A	247.02±38.63 ^B	170.69±26.43 ^B	287.81±58.20 ^{AB}	/
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	19.88±5.90 ^A	87.91±54.14 ^A	33.23±3.32 ^A	102.78±26.04 ^A	232.39±134.17 ^A
	草鱼 <i>C. idella</i>	35.97±0.72 ^A	30.54±1.94 ^A	32.31±1.18 ^A	46.76±12.32 ^A	27.67±14.88 ^A
夏季 summer	日本鳗鲡 <i>A. japonica</i>	287.56±139.74 ^{aA}	349.48±54.40 ^{aB}	398.74±66.27 ^{aB}	95.54±47.82 ^{aAB**}	2347.96±131.06 ^{bB}
	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	590.02±120.27 ^{bB}	896.07±106.57 ^{cC}	413.54±8.90 ^{bB}	40.45±21.43 ^{aAB*}	/
	银鲳 <i>P. argenteus</i>	99.85±17.37 ^{abA*}	233.78±85.31 ^{bAB}	93.45±11.68 ^{abA}	17.31±12.01 ^{aA**}	/
	莫桑比克罗非鱼 <i>O. mossambicus</i>	20.27±7.37 ^A	18.83±2.12 ^A	18.47±2.59 ^{A*}	88.61±30.28 ^{AB}	216.59±143.61 ^A
	草鱼 <i>C. idella</i>	35.26±8.43 ^{aA}	32.74±2.53 ^{aA}	34.33±1.26 ^{aA}	139.72±32.28 ^{bB*}	99.13±7.87 ^{bA*}

水中卵孵化出的鳗苗会游至江河湖泊中生长育肥, 等到秋季性成熟后入海繁殖^[11]。在日本鳗鲡的整个生活周期内水体盐度不断变化, 推测可能对其体内脂肪酸组成形成较大影响, 导致其脂肪酸谱既有淡水鱼的特征, 也保留了海洋鱼类的特征。

3.2 鱼类脂肪酸组成的组织特异性

从表1~8看出, 对于有腹腔脂肪组织的日本鳗鲡、莫桑比克罗非鱼和草鱼来说, 储存脂肪的腹腔脂肪组织也是SFAs、MUFAs、PUFAs、n-3 PUFAs和n-6 PUFAs含量最高的部位; 而对于在本次采样中腹腔脂肪组织不明显的大黄鱼和银鲳来说, 根据我们之前的研究, 其肝脏脂肪含量远高于肌肉中的脂肪含量^[12], 而其肝脏中SFAs和MUFAs含量也较高。由此可见, 鱼类组织中SFAs和MUFAs的含量与组织脂肪含量密切相关, 脂肪含量多则其含量也高。而PUFAs、n-3 PUFAs和n-6 PUFAs以及EPA和DHA含量则与脂肪含量无显著关系。这可能是因为SFAs和MUFAs在脂肪酸各组分中所占比例较大, 因此造成其含量与脂肪含量密切相关, 而PUFAs、n-3 PUFAs、n-6 PUFAs以及EPA和DHA含量相对较少, 所以其受脂肪含量影响不大, 而受食性、水环境以及温度等影响较大^[13]。

3.3 鱼类食性与脂肪酸组成的关系

从本研究结果可以看出, 肉食性的日本鳗

鲡、大黄鱼和银鲳的肌肉组织中n-3 PUFAs, 包括EPA和DHA, 其含量高于杂食性的莫桑比克罗非鱼和草食性草鱼的相应肌肉组织; 特别是对于日本鳗鲡和大黄鱼, 其肌肉中n-3 PUFAs、EPA和DHA含量显著高于莫桑比克罗非鱼和草鱼。相类似地, 在对10个亚高山湖泊捕获的15种鱼的肌肉脂肪酸组成成分分析后也发现, 肉食性和杂食性鱼类中n-3 PUFA, EPA和DHA含量高于草食性鱼类^[14]。究其原因, 可能是由于海洋食物链的富集作用, 通过浮游藻类和浮游动物体内的n-3 PUFAs, 最终在肉食性鱼类体内富集大量n-3 PUFAs、EPA和DHA^[15]。

由于肉食性鱼类(特别是日本鳗鲡和大黄鱼)肌肉中含有较多的对人类有益的n-3 PUFAs, 特别是EPA和DHA, 从这个角度来说, 多食用肉食性鱼类, 有助于摄入较多的n-3 PUFAs, 从而有助于心血管及代谢性疾病的预防。

3.4 水域环境与鱼类脂肪酸组成的关系

鱼组织中的脂肪酸组成不仅与种类和食性密切相关, 还受其生活环境的影响^[16-17]。相比淡水鱼类, 海洋鱼类一般含有更高比例的n-3 PUFAs^[1]。这与本研究结果相似, 不论冬夏季, 海洋性的大黄鱼和银鲳3部分肌肉组织中n-3/n-6值均显著大于淡水性的莫桑比克罗非鱼和草鱼(表6); 日本鳗鲡中除夏季的腹部和尾部肌肉中n-3/n-6值与银鲳相比无明显差别外, 其他肌肉组织中均显

著小于2种海水鱼类。海洋性鱼类含有高比例的n-3 PUFAs, 可能是海洋中的生物食物链使海洋浮游藻类和浮游动物中的n-3 PUFAs富集在海洋性鱼类中, 最终导致鱼类呈现高比例n-3/n-6的脂肪酸组成特征^[14]。

还有研究表明, 即使是相同的鱼类, 随着外界盐度的增加, 鱼体内n-3 PUFAs也会发生变化。例如增加盐度会使*Capoeta damascina*肌肉和肝脏中的n-3 PUFAs、EPA、DHA以及n3/n6值显著升高^[18]。可见, 外界盐度对鱼体内脂肪酸组成也有较大影响。联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)和世界卫生组织(World Health Organization, WHO)专家推荐的n-3/n-6值, 在日常膳食中的最佳比例为5:1~10:1^[19]。参照此标准, 大黄鱼和银鲳肌肉中n-3/n-6值基本为5~10(表6), 因此大黄鱼和银鲳肌肉中的n-3/n-6值为最佳比例, 脂肪酸营养价值最高。

3.5 季节(温度)与脂肪酸组成的关系

除了食性和水域环境, 外界温度也是影响鱼肉脂肪酸组成的一个关键因素^[20-21]。然而, 不同季节捕捞对鱼肉中n-3 PUFAs含量的影响因物种的不同而不同。据报道, 沙丁鱼(*Sardina pilchardus*)和罗非鱼鱼肉中的n-3 PUFAs比例与水温呈负相关, 冬天起捕的罗非鱼比秋季的罗非鱼体内n-3/n-6值高, 而本研究中大黄鱼和银鲳肝脏中n-3/n-6值冬季显著高于夏季, 同样说明水温较低时n-3 PUFAs含量较高^[21-22]。

除此之外, n-3 PUFAs含量在草鱼腹腔肌肉、莫桑比克罗非鱼尾部肌肉以及日本鳗鲡和银鲳的肝脏中也表现出冬季高于夏季。这可能是由于在低温环境下, 鱼体内去饱和酶能够更高效地发挥作用, 并且冬季鱼类需要更多的不饱和脂肪酸来维持细胞膜的流动性^[14, 23]。因此, 从该方面分析, 冬季鱼类比夏季鱼类的营养价值更高。

研究表明, 鱼体内脂肪酸组成主要与物种、食性以及生活环境不同而有显著差异, 同时外界温度也会对鱼体内脂肪酸组成产生影响。从脂肪酸营养的角度来说, 上海地区5种经常食用的经济鱼类中日本鳗鲡、大黄鱼和银鲳肌肉中n-3/n-6值较高, 并且n-3 PUFAs, 包括EPA和DHA含量均较高。而草鱼、莫桑比克罗非

鱼等淡水鱼类, 虽然其食用部分n-3 PUFAs含量不如海洋鱼类, 但其脂肪含量低, 经常食用也能降低膳食中总脂肪的摄入, 仍然有助于对代谢性疾病的预防。就季节而言, 冬季鱼类的脂肪酸组成更为均衡, n-3 PUFAs含量更高, 其营养价值高于夏季鱼类。

参考文献:

- [1] Xu X H, Liu X. Nutritional composition of muscles from 8 species of economic fishes[J]. *Food Science*, 2013, 34(21): 75-82.
- [2] Williams C M, Burdge G. Long-chain n-3 PUFA: plant v. marine sources[J]. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2006, 65(1): 42-50.
- [3] 孙翔宇, 高贵田, 段爱莉, 等. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(7): 418-423.
Sun X Y, Gao G T, Duan A L, et al. Research progress in polyunsaturated fatty acids[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(7): 418-423(in Chinese).
- [4] 杨文平, 王爱民, 吕林兰, 等. 梭鱼脂肪及脂肪酸成分分析和评价[J]. *食品科学*, 2015, 36(20): 181-184.
Yang W P, Wang A M, Lü L L, et al. Analysis and evaluation of fat content and fatty acid composition of *Liza haematocheila*[J]. *Food Science*, 2015, 36(20): 181-184(in Chinese).
- [5] 杨贤庆, 吕军伟, 林婉玲, 等. DHA功能特性以及抗氧化性研究进展[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(2): 390-394.
Yang X Q, Lv J W, Lin W L, et al. Research progress in biological function and antioxidative activity of DHA (Docosahexaenoic acid)[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(2): 390-394(in Chinese).
- [6] Narayan B, Miyashita K, Hosakawa M. Physiological effects of eicosapentaenoic acid (EPA) and Docosahexaenoic Acid (DHA)-a review[J]. *Food Reviews International*, 2006, 22(3): 291-307.
- [7] Steffens W. Effects of variation in essential fatty acids in fish feeds on nutritive value of freshwater fish for humans[J]. *Aquaculture*, 1997, 151(1-4): 97-119.
- [8] 张太昌, 张迪. 上海市居民水产品消费结构调查分析[J]. *南方农业*, 2015, 9(9): 169-170.
Zhang T C, Zhang D. Research analysis of Shanghai residents' consumption structure of aquatic products[J]. *South China Agriculture*, 2015, 9(9): 169-170(in Chinese).

- [9] Bligh E G, Dyer W J. A Rapid Method of total lipid extraction and purification[J]. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 1959, 37(8): 911-917.
- [10] 范亚苇, 邓泽元, 张爱芳, 等. 鄱阳湖野生鱼类脂肪酸含量的比较研究[J]. *食品科学*, 2006, 27(12): 597-600.
Fan Y W, Deng Z Y, Zhang A F, *et al.* Comparison of fatty acids in wild freshwater fish of the Poyang Lake[J]. *Food Science*, 2006, 27(12): 597-600(in Chinese).
- [11] Lin S H, Chang C W, Iizuka Y, *et al.* Salinities, not diets, affect strontium/calcium ratios in otoliths of *Anguilla japonica*[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 341(2): 254-263.
- [12] Geng J J, Li H, Liu J P, *et al.* Nutrients and contaminants in tissues of five fish species obtained from Shanghai markets: risk-benefit evaluation from human health perspectives[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 536: 933-945.
- [13] 王际英, 苗淑彦, 张利民, 等. 野生与人工养殖牙鲆亲鱼不同组织脂肪酸的比较[J]. *水产学报*, 2012, 36(5): 748-755.
Wang J Y, Miao S Y, Zhang L M, *et al.* A comparative study on fatty acid composition in different tissues of the wild and cultured *Paralichthys olivaceus* broodstocks[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(5): 748-755(in Chinese).
- [14] Vasconi M, Caprino F, Bellagamba F, *et al.* Fatty acid composition of freshwater wild fish in Subalpine Lakes: a comparative study[J]. *Lipids*, 2015, 50(3): 283-302.
- [15] Robert A, Mfilinge P, Limbu S M, *et al.* Fatty acid composition and levels of selected polyunsaturated fatty acids in four commercial important freshwater fish species from Lake Victoria, Tanzania[J]. *Journal of Lipids*, 2014, 2014: 1-7.
- [16] Özogul Y, Özogul F, Alagoz S. Fatty acid profiles and fat contents of commercially important seawater and freshwater fish species of Turkey: a comparative study[J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(1): 217-223.
- [17] Li G P, Sinclair A J, Li D. Comparison of lipid content and fatty acid composition in the edible meat of wild and cultured freshwater and marine fish and shrimps from China[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(5): 1871-1881.
- [18] Fallah A A, Nematollahi A, Saei-Dehkordi S S. Proximate composition and fatty acid profile of edible tissues of *Capoeta damascina* (Valenciennes, 1842) reared in freshwater and brackish water[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2013, 32(2): 150-154.
- [19] World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fats and oils in human nutrition, report of a joint FAO/WHO expert consultation[R]. Geneva: World Health Organization, 1994: 57.
- [20] Sushchik N N, Gladyshev M I, Kalachova G S. Seasonal dynamics of fatty acid content of a common food fish from the Yenisei river, Siberian grayling, *Thymallus arcticus*[J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(4): 1353-1358.
- [21] Luzia L A, Sampaio G R, Castellucci C M N, *et al.* The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of Brazilian fish[J]. *Food Chemistry*, 2003, 83(1): 93-97.
- [22] Zlatanov S, Laskaridis K. Seasonal variation in the fatty acid composition of three Mediterranean fish-sardine (*Sardina pilchardus*), anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and picarel (*Spicara smaris*)[J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(3): 725-728.
- [23] Snyder R J, Hennessey T M. Cold tolerance and homeoviscous adaptation in freshwater alewives (*Alosa pseudoharengus*)[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2003, 29(2): 117-126.

Comparative analysis of fatty acid profiles in different tissues of five economic fish species in winter and summer

QIAO Fang, LI Huan, LI Dongliang, ZHANG Meiling, DU Zhenyu*

(Nutrition and Environmental Health, School of Life Sciences, East China Normal University,
Shanghai 200241, China)

Abstract: In order to better guide consumers in choosing fish, the fatty acids profiles in the muscles, liver and abdominal adipose of five economic fish species on the markets of Shanghai in winter and summer were examined. The five fish species studied included carnivorous marine fish (*Larimichthys crocea*), omnivorous marine fish (*Pampus argenteus*), carnivorous freshwater fish (*Anguilla japonica*), omnivorous freshwater fish (*Oreochromis mossambicus*), and herbivorous freshwater fish (*Ctenopharyngodon idella*). The results indicated that fatty acid profile was different among these five fish species, and it was related with the living environment and feeding habit. Saturated fatty acids (SFAs) and monounsaturated fatty acids (MUFAs) tended to accumulated in abdominal adipose and liver, where fat content was high. However, polyunsaturated fatty acids (PUFAs), n-3 PUFAs and n-6 PUFAs were not correlated with tissue fat content. The SFAs, MUFAs, PUFAs, EPA and DHA content, as well as n-3/n-6 ratio were higher in carnivorous fish (*A. japonica*, *L. crocea*, *P. argenteus*) than those in omnivorous fish (*O. mossambicus*) and herbivorous fish (*C. idella*). The n-3 PUFAs, EPA and DHA content in the muscle of marine fish (*L. crocea* and *P. argenteus*) were higher than that of freshwater fish (*O. mossambicus* and *C. idella*). In winter, the n-3 PUFAs content in abdominal muscle of *C. idella* and tail muscle of *O. mossambicus* were higher than that in summer, as well as that in the liver of *A. japonica* and *P. argenteus*. In summary, fatty acids profiles were correlated with the species, feeding habit, living environment, type of tissues and the season. The fillets of *L. crocea*, *P. argenteus* and *A. japonica* have high nutritional value because of its high n-3 PUFAs content. In general, fish in winter contained higher n-3 PUFAs than summer fish, thus the nutritional value of winter fish is higher than that of summer fish.

Key words: economic fish species; seasons; edible tissues; fatty acids profiles; n-3 PUFAs; nutritional value

Corresponding author: DU Zhenyu. E-mail: zydu@bio.ecnu.edu.cn

Funding projects: National Basic Research Program (973 Program)(2014CB138603); National Natural Science Foundation of China (31272676/C190401)