

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20170813001

http://www.yykyjz.cn/

刘峰, 吕小康, 刘阳阳, 楼宝, 陈睿毅, 王立改, 詹炜. 饥饿对大黄鱼幼鱼肌肉中氨基酸和脂肪酸组成的影响. 渔业科学进展, 2018, 39(5): 58–65

Liu F, Lü XK, Liu YY, Lou B, Chen RY, Wang LG, Zhan W. Effect of starvation on amino acids and fatty acids of juvenile *Larimichthys crocea*. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(5): 58–65

饥饿对大黄鱼幼鱼肌肉中氨基酸和 脂肪酸组成的影响*

刘 峰¹ 吕小康¹ 刘阳阳^{1,2} 楼 宝^{1①}
陈睿毅¹ 王立改¹ 詹 炜¹

(1. 浙江省海洋水产研究所 浙江省海水增殖重点实验室 浙江海洋大学海洋与
渔业研究所 舟山 316021; 2. 浙江海洋大学海洋科学与技术学院 舟山 316022)

摘要 为了研究饥饿对大黄鱼(*Larimichthys crocea*)幼鱼肌肉中氨基酸和脂肪酸含量的影响,取大黄鱼幼鱼 540 尾,体重均值为(40.80±3.40) g,分组进行为期 0 d (S0)、4 d (S4)、8 d (S8)、12 d (S12)、16 d (S16)、20 d (S20)的饥饿处理,测定背部肌肉的氨基酸和脂肪酸含量。结果显示,测定的大黄鱼背肌的 16 种氨基酸中,蛋氨酸含量在不同饥饿处理时间之间差异显著($P<0.05$),饥饿持续 8 d 其含量达到最小(0.48%±0.12%),16 d 时达到最高(1.62%±0.23%);其余 15 种氨基酸含量的差异均不显著($P>0.05$),但均表现出随着饥饿时间延长先上升后下降的趋势,在 16 d 时达到最高,20 d 时明显降低。非必需氨基酸、必需氨基酸、呈味氨基酸、鲜味氨基酸及氨基酸总量的变化趋势与上述 15 种氨基酸一致。在不同饥饿处理组的大黄鱼背肌中脂肪酸含量差异显著($P<0.05$)。其中,饱和脂肪酸(SFA)含量随着饥饿时间延长呈先升高后下降的趋势,在 S8 组达到最大,为 30.90%±0.28%;单不饱和脂肪酸(MUFA)含量在不同处理组之间差异不显著($P>0.05$),但所有处理组均稍大于对照组(S0);多不饱和脂肪酸(PUFA)含量则呈先下降后升高的趋势,在 S12 组时达到最低,其值为 31.87%±0.65%。由上可知,通过适当的饥饿处理,可以改变肌肉中氨基酸和脂肪酸含量,从而较好地改善大黄鱼的肉质风味。

关键词 大黄鱼; 饥饿; 氨基酸; 脂肪酸; 肉质

中图分类号 S968.1 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)05-0058-08

大黄鱼(*Larimichthys crocea*)分布于我国黄海南部、东海、台湾海峡以及南海北部(Feng *et al*, 1979), 与小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、带鱼(*Trichiurus japonicas*)、墨鱼(*Sepiella maindron*)并称为我国“四大

* 浙江省重点研发计划项目(2016C02055-7)、浙江省科技计划项目(2016F50043)、舟山市科技计划项目(2016C31054)和浙江海洋大学博士启动基金项目(22135010715)共同资助 [This work was supported by the Special Fund for the Key Research and Development Project of Zhejiang Province(2016C02055-7), the Project of Science and Technology Research of Zhejiang Province (2016F50043), the Project of Science and Technology Research of Zhoushan City (2016C31054), and the Startup Foundation for Doctors of Zhejiang Ocean University (22135010715)]. 刘 峰, E-mail: lengfeng0210@126.com

① 通讯作者: 楼 宝, 研究员, E-mail: loubao6577@163.com

收稿日期: 2017-08-13, 收修改稿日期: 2017-09-04

海产”(刘峰等, 2016a), 其肉质细嫩, 味道鲜美, 富含蛋白质, 广受消费者喜爱。20 世纪 90 年代后期, 大黄鱼养殖在福建和浙江等省推广后, 迅速成为主要经济鱼类(Ao *et al*, 2015)。但是, 随着大黄鱼养殖业的迅速发展, 经过连续多代盲目的人工繁育和高密度不科学饲养, 现今大黄鱼品质明显下降, 表现为肉质松软、口感差, 脂肪含量过高(颜孙安等, 2015), 以及肌肉的鲜味、口感、嫩度及可接受性等方面低于野生大黄鱼(缪伏荣等, 2007), 导致其市场价格和销量急剧下降, 严重影响了大黄鱼养殖业的健康持续发展。因此, 采取有效措施实现养殖大黄鱼的品质改良, 成为大黄鱼养殖业持续发展的关键问题之一(林利民等, 2006)。为此, 相关学者分别从养殖模式的改变、饲料营养调控、功能性饲料添加剂添加、良种选育等方面探索大黄鱼品质改良的有效方法, 取得了一定的成果(郑斌等, 2003; 李祥云等, 2009; 曹娟娟等, 2015; 沈伟良等, 2017)。此外, 在养殖过程中, 改变投喂策略也是一种改善调控肉质的有力手段, 在生产实践中得到积极而广泛的应用(Andersen *et al*, 2005)。研究指出, 上市前对养殖鱼进行禁食处理, 可获得更新鲜度的鱼产品(Ginés *et al*, 2002), 但仅通过对达到上市规格的成鱼进行短期禁食, 品质改良效果较小, 而如果进行长时间的禁食, 可能导致鱼类由于饥饿出现严重的自残和死亡, 影响经济收益, 因此, 如果在幼鱼养殖过程中, 进行肉质改善, 再配合上市前的短期禁食, 将很大程度上避免出现上述情况, 从而获得更大的经济收益。对于大黄鱼而言, 禁食对其成鱼体成分、肌肉脂肪酸组成和血清生化指标均有较大影响(张振宇等, 2016), 关于养殖过程中幼鱼肌肉营养成分受到饥饿的影响研究尚未见报道。为此, 本次研究以大黄鱼幼鱼为研究对象, 分析饥饿条件下背肌中氨基酸和脂肪酸含量的变化, 旨在阐明饥饿对大黄鱼幼鱼肌肉品质的影响, 为大黄鱼的肉质改良, 最终获得品质优良的商品规格大黄鱼积累基础性资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于 2016 年 10 月中旬在浙江省海洋水产研究所西轩渔业科技岛进行, 实验鱼取自实验基地人工繁殖的大黄鱼群体, 选取规格相近、体表无伤、体格健壮的大黄鱼共计 540 尾, 体重为(40.80±3.40) g, 随机平均分为 6 组, 每组设 3 个平行, 每个平行 30 尾, 暂养于 0.5 m³ 的底部圆锥形的圆筒形玻璃钢桶中, 养殖用水为经黑暗沉淀和砂滤后的自然海水, 盐度为

26.0~28.0, 水温为 26.0~27.0℃, 自然光照, 流水培育(流速大约为 60 L/h), 从实验桶底部充气, 保持水体含氧量在 5.5 mg/ml 以上, 每天 07:00、16:00 两次饲喂配合饲料(鱼宝 5#, 颗粒直径 5 mm), 进行饱食投喂, 投喂后 30 min 左右清除桶底残饵和粪便。

1.2 实验方法

6 个处理组依次编为 S0、S4、S8、S12、S16 和 S20, 其中, S0 组正常投喂, 为对照组; S4、S8、S12、S16 和 S20 组分别进行为期 4、8、12、16 和 20 d 的饥饿处理。分别在各实验组饥饿处理结束时对其进行取样, 每组随机取 9 尾, 每个平行 3 尾, 首先进行体重测量, 然后进行取样。取样方法参照刘峰等(2016b), 用纯水冲洗鱼体后, 置于冰盘上冰冻处死, 迅速剪取背部肌肉, 盛放于 5 ml 离心管中, -80℃超低温保存, 用于氨基酸和脂肪酸的测定。氨基酸的测定采用酶水解法测定(Biochrom 30 氨基酸自动分析仪), 按照 GB/T 5009.124-2003 执行, 其中, 色氨酸在水解过程中被破坏, 因此, 未进行色氨酸含量的分析。脂肪酸的测定采用气相色谱分析法(Agilent 6890 气相色谱仪), 按照 GB/T 22223-2008 执行。

1.3 数据处理和统计分析

采用 SPSS 19.0 软件对实验数据进行单因子方差分析(One-way ANOVA), 多重比较用 Duncan's 进行差异显著性检验, 并用标记字母法表示结果, $P < 0.05$ 为差异显著, 结果用平均值±标准误(Mean±SE)表示。

2 结果与分析

2.1 实验鱼体重分析

对各组实验鱼初始和终末体重进行描述性统计, 并进行组间差异显著性检验。结果显示, 不同实验组之间实验鱼的初始体重差异不显著($P > 0.05$), 据此可以排除初始体重差异对实验结果的影响(表 1)。实验终末实验鱼体重在不同实验组中差异显著, 随着饥饿时间延长体重逐渐下降。

2.2 氨基酸组成和含量的分析

各组幼鱼背肌中的氨基酸组分及含量的分析结果见表 2。共检测获得了 16 种氨基酸, 其中, 各处理组间的大黄鱼幼鱼背肌中的蛋氨酸含量差异显著($P < 0.05$), 随着饥饿时间的延长, 其含量呈现出下降-上升-下降的变化趋势, 在饥饿 8 d 时达到最小值(0.48%±0.12%), 显著低于其他各组, 16 d 时达到最大值(1.62%±0.23%), 显著高于对照组, 继续饥饿,

表 1 实验鱼体重统计分析
Tab.1 Statistical analysis for body weight of the testing fish

组别 Group	数量 Number	初始 Initial (Mean±SE)	终末 Final (Mean±SE)
S0	90	42.80±0.71 ^a	46.96±1.11 ^a
S4	90	39.92±2.45 ^a	35.48±0.43 ^b
S8	90	36.96±3.35 ^a	34.66±1.16 ^b
S12	90	41.83±0.75 ^a	32.34±1.44 ^{bc}
S16	90	40.97±1.35 ^a	30.14±0.93 ^{cd}
S20	90	42.33±1.13 ^a	28.13±1.26 ^d

注：同行数据上标字母不同表示差异显著，下同

Note: The values with different small letter superscripts are significantly different ($P<0.05$). The same as below

表 2 饥饿对大黄鱼幼鱼氨基酸含量的影响
Tab.2 The effect of starvation on amino acid composition of juvenile *L. crocea*

组分 Composition	氨基酸含量 Contents of amino acids (dry weight) (%)					
	S0	S4	S8	S12	S16	S20
天冬氨酸 Asp ^{#△}	6.72±0.14	6.60±0.34	6.93±0.35	7.14±0.31	7.16±0.21	6.52±0.20
丝氨酸 Ser	2.78±0.06	2.75±0.14	2.86±0.15	2.93±0.14	2.97±0.09	2.68±0.09
谷氨酸 Glu ^{#△}	10.58±0.24	10.36±0.56	10.92±0.54	11.21±0.55	11.34±0.38	10.37±0.33
甘氨酸 Gly [#]	3.02±0.10	2.99±0.14	3.12±0.17	3.12±0.19	3.17±0.10	3.13±0.17
丙氨酸 Ala [#]	3.99±0.09	3.95±0.22	4.12±0.21	4.24±0.21	4.25±0.13	3.93±0.13
酪氨酸 Tyr	2.36±0.05	2.33±0.14	2.43±0.11	2.52±0.13	2.52±0.09	2.29±0.07
脯氨酸 Pro	2.20±0.07	2.09±0.10	2.15±0.08	2.24±0.15	2.43±0.01	2.30±0.10
苏氨酸 Thr [*]	2.98±0.06	2.92±0.15	3.06±0.16	3.17±0.16	3.17±0.09	2.91±0.10
缬氨酸 Val [*]	3.26±0.07	3.22±0.17	3.38±0.16	3.45±0.15	3.43±0.11	3.16±0.09
蛋氨酸 Met [*]	0.94±0.17 ^b	0.91±0.20 ^b	0.48±0.12 ^a	1.04±0.22 ^{bc}	1.62±0.23 ^c	1.28±0.20 ^{bc}
异亮氨酸 Ile [*]	3.00±0.09	3.03±0.18	3.19±0.16	3.14±0.14	3.12±0.10	2.88±0.07
亮氨酸 Leu [*]	5.44±0.13	5.39±0.29	5.65±0.28	5.71±0.23	5.78±0.17	5.29±0.15
苯丙氨酸 Phe [*]	2.80±0.06	2.81±0.16	2.89±0.14	2.99±0.14	2.98±0.10	2.71±0.08
组氨酸 His	1.39±0.03	1.38±0.07	1.43±0.06	1.51±0.05	1.50±0.07	1.39±0.05
赖氨酸 Lys [*]	6.36±0.13	6.22±0.33	6.60±0.29	6.75±0.31	6.62±0.17	6.09±0.15
精氨酸 Arg	4.09±0.10	4.03±0.22	4.25±0.21	4.34±0.24	4.35±0.14	4.03±0.14
非必需氨基酸 NEAA	31.63±0.71	31.07±1.59	32.53±1.59	33.41±1.68	33.83±1.01	31.22±1.02
必需氨基酸 EAA	30.27±0.69	29.91±1.46	30.93±1.60	32.11±1.21	32.57±1.19	29.74±0.98
呈味氨基酸 FAA	28.38±0.63	27.94±1.46	29.34±1.48	30.05±1.49	30.27±0.96	27.98±0.91
鲜味氨基酸 DAA	17.29±0.38	16.97±0.90	17.85±0.89	18.36±0.86	18.50±0.59	16.89±0.53
氨基酸总量 TAA	61.90±1.39	60.98±3.05	63.46±3.19	65.52±2.89	66.40±2.20	60.96±1.97

*: 必需氨基酸; #: 呈味氨基酸; △: 鲜味氨基酸

*: Essential amino acid; #: Delicious amino acid; △: Flavor amino acid

其含量有较大幅度的降低。其余 15 种氨基酸含量在不同实验组中差异不显著($P>0.05$), 饥饿 4 d 时, 大多数氨基酸含量出现轻微下降, 从饥饿 4 d 时开始, 随着饥饿时间的延长均表现为先上升后下降的趋势。分析非必需氨基酸、必需氨基酸、呈味氨基酸、鲜味氨基酸及氨基酸总量发现, 在不同实验组中各含量的变化趋势与前述 15 种氨基酸一致, 均在饥饿 16 d 时达到最大, 依次为 33.83%±1.01%、32.57%±1.19%、30.27%±0.96%、18.50%±0.59%和 66.40%±2.20%, 在

饥饿 20 d 的实验组中, 其含量均有较大幅度降低。饥饿 8~16 d, 鲜味氨基酸、呈味氨基酸及氨基酸总量均稍大于对照组, 饥饿 20 d 时, 三者均小于对照组。说明适当的饥饿胁迫可以增加鲜味氨基酸和呈味氨基酸含量(表 2)。

2.3 饥饿对脂肪酸组成及含量的影响

不同饥饿强度处理的各实验组共检测到脂肪酸 21 种, 起始碳链长度在 14~24 碳之间, 包括 7 种饱

和脂肪酸(SFA), 占脂肪酸总量的 28.50%~30.90%, 其中, C16:0 含量最高(19.48%~21.80%); 6 种单不饱和脂肪酸(MUFA), 占脂肪酸总量的 36.02%~37.60%, 其中, C18:1n-9c 含量最高(26.95%~28.70%); 8 种多不饱和脂肪酸(PUFA), 均在 18 碳以上, 占脂肪酸总量的 31.87%~34.28%, C18:2n-6c 含量最高(18.22%~20.04%)。不同实验组脂肪酸含量比较分析结果列于表 3。结果显示, 不同饥饿处理组之间脂肪酸含量差异显著($P<0.05$), 表明饥饿对大黄鱼幼鱼肌肉中脂肪酸含量有显著影响。

SFA 含量在不同处理组之间差异显著($P<0.05$), 呈先升高后下降的变化趋势, 在 S8 组达到最大

(30.90%±0.28%)。SFA 中的 7 种脂肪酸组分含量在不同实验组中均存在显著差异($P<0.05$)。MUFA 含量在不同处理组之间差异不显著($P>0.05$), 但其变化趋势与 SFA 相同, 呈先上升后下降的趋势, 在 S16 组时达到最大(37.60%±0.47%)。另外, 所有饥饿处理组 MUFA 含量均大于 S0 组, 说明饥饿处理使大黄鱼幼鱼肌肉中 MUFA 含量有一定程度的升高。PUFA 含量在处理组之间同样表现出显著差异($P<0.05$), 呈先下降后升高的趋势, 在 S12 组时达到最低(31.87±0.65%), S20 时最高(34.18±0.59%)。8 种 PUFA 种包括了 3 种必需脂肪酸[亚油酸(C18:2n-6c)、亚麻酸(C18:3n-3)和花生四烯酸(C20:4n-6)], 其含量在不同实验组中均表

表 3 饥饿对大黄鱼幼鱼脂肪酸含量的影响
Tab.3 The effect of starvation on fatty acid composition of juvenile *L. crocea*

组分 Composition	脂肪酸含量 Contents of fatty acids (dry weight) (%)					
	S0	S4	S8	S12	S16	S20
C14:0	2.02±0.08 ^b	1.89±0.03 ^{ab}	2.36±0.04 ^c	1.64±0.09 ^a	1.62±0.10 ^a	1.98±0.01 ^b
C15:0	0.23±0.02 ^b	0.23±0.01 ^b	—	0.16±0.01 ^a	0.18±0.02 ^{ab}	0.24±0.01 ^b
C16:0	20.68±0.22 ^{bc}	21.05±0.01 ^c	21.80±0.50 ^c	21.54±0.80 ^c	19.68±0.12 ^{ab}	19.48±0.02 ^a
C17:0	0.59±0.09 ^{ab}	0.68±0.01 ^{ab}	0.47±0.16 ^{ab}	0.63±0.01 ^{ab}	0.38±0.11 ^a	0.77±0.03 ^b
C18:0	5.84±0.16 ^a	5.98±0.17 ^{ab}	5.63±0.04 ^a	6.46±0.01 ^b	6.01±0.14 ^{ab}	5.77±0.14 ^a
C20:0	0.42±0.01 ^a	0.41±0.01 ^a	0.41±0.03 ^a	0.39±0.02 ^a	0.40±0.02 ^a	0.50±0.01 ^b
C22:0	0.23±0.01 ^{ab}	0.22±0.01 ^a	0.24±0.02 ^{ab}	0.24±0.01 ^{ab}	0.23±0.01 ^{ab}	0.27±0.01 ^b
C16:1	5.39±0.08 ^{ab}	5.61±0.05 ^b	5.28±0.26 ^{ab}	5.13±0.15 ^a	5.43±0.11 ^{ab}	5.08±0.09 ^a
C17:1	0.30±0.04 ^b	0.29±0.03 ^b	0.19±0.01 ^{ab}	0.26±0.01 ^{ab}	0.10±0.01 ^a	0.19±0.04 ^{ab}
C18:1n-9c	27.08±0.46	27.41±0.41	27.07±0.20	28.52±0.06	28.70±0.53	26.95±0.53
C20:1n-9	0.46±0.04	0.47±0.01	0.46±0.03	0.48±0.02	0.50±0.02	0.39±0.09
C22:1n-9	2.76±0.14 ^a	2.72±0.11 ^a	2.97±0.28 ^{ab}	2.56±0.12 ^a	2.55±0.13 ^a	3.40±0.10 ^b
C24:1n-9	0.37±0.01 ^a	0.34±0.01 ^a	0.38±0.04 ^a	0.35±0.01 ^a	0.32±0.02 ^a	0.45±0.02 ^b
C18:2n-6c*	18.68±0.49 ^{ab}	18.22±0.32 ^a	20.03±0.43 ^{ab}	19.40±0.08 ^{ab}	20.04±0.27 ^b	18.90±0.04 ^{ab}
C20:2	0.34±0.01	0.32±0.02	0.33±0.01	0.35±0.01	0.34±0.01	0.34±0.01
C22:2	0.37±0.02 ^{ab}	0.31±0.02 ^b	0.31±0.01 ^a	0.34±0.01 ^{ab}	0.34±0.01 ^{ab}	0.34±0.02 ^{ab}
C18:3n-3*	4.33±0.08 ^{ab}	4.16±0.10 ^a	4.57±0.12 ^{bc}	4.23±0.05 ^{ab}	4.21±0.11 ^{ab}	4.70±0.16 ^c
C20:4n-6*	0.71±0.02 ^{cd}	0.67±0.01 ^{bc}	0.59±0.06 ^{ab}	0.56±0.06 ^a	0.69±0.03 ^{bcd}	0.80±0.03 ^d
C20:5n-3/EPA	2.83±0.13 ^c	2.78±0.01 ^c	2.17±0.05 ^{ab}	2.10±0.14 ^a	2.58±0.05 ^{bc}	2.90±0.11 ^c
C22:5n-3/DPA	0.85±0.05 ^{ab}	0.83±0.03 ^{ab}	0.69±0.01 ^a	0.72±0.04 ^{ab}	0.71±0.03 ^{ab}	0.87±0.05 ^b
C22:6n-3/DHA	5.19±0.27 ^b	5.17±0.04 ^b	4.16±0.10 ^a	4.19±0.25 ^a	4.71±0.18 ^{ab}	5.34±0.26 ^b
EPA/DHA	0.55±0.01 ^{bc}	0.54±0.01 ^{bc}	0.52±0.01 ^{ab}	0.50±0.01 ^a	0.55±0.01 ^c	0.54±0.01 ^{bc}
EPA+DHA	8.02±0.40 ^b	7.95±0.01 ^b	6.33±0.15 ^a	6.29±0.40 ^a	7.29±0.22 ^{ab}	8.23±0.37 ^b
SFA	30.01±0.27 ^{bc}	30.46±0.11 ^c	30.90±0.28 ^c	30.86±0.74 ^c	28.50±0.23 ^a	29.00±0.06 ^{ab}
MUFA	36.02±0.58	36.90±0.36	36.25±0.17	37.16±0.02	37.60±0.47	36.46±0.55
PUFA	33.30±0.42 ^{ab}	32.35±0.47 ^{ab}	32.85±0.45 ^{ab}	31.87±0.65 ^a	33.63±0.67 ^{ab}	34.18±0.59 ^b
∑n-3PUFA	13.20±0.48 ^{bc}	12.94±0.13 ^{abc}	11.59±0.03 ^{ab}	11.24±0.49 ^a	12.21±0.36 ^{abc}	13.80±0.57 ^c
∑n-6PUFA	19.39±0.47 ^{ab}	18.70±0.31 ^a	20.62±0.49 ^b	19.95±0.14 ^{ab}	20.73±0.30 ^b	19.70±0.02 ^{ab}
∑n-3/∑n-6PUFA	0.69±0.04 ^{ab}	0.69±0.01 ^{ab}	0.56±0.02 ^a	0.56±0.02 ^a	0.59±0.01 ^{ab}	0.70±0.03 ^b

*: 必需脂肪酸 Essential fatty acids

现为显著差异($P < 0.05$), 其中, 亚油酸(C18:2n-6c)和亚麻酸(C18:3n-3)随着饥饿时间的延长呈波动式变化, 而花生四烯酸(C20:4n-6)含量随着饥饿时间的延长呈先下降后上升的变化趋势。此外, DPA、DHA、EPA、EPA/DHA、EPA+DHA 以及 $\Sigma n-3$ PUFA 在不同处理组中, 呈先下降后上升的变化趋势, 其中, DPA 和 DHA 在饥饿 8 d 时达到最低值; EPA、EPA/DHA、EPA+DHA 及 $\Sigma n-3$ PUFA 在饥饿 12 d 时才达到最低。 $\Sigma n-6$ PUFA 在各实验组中呈锯齿状波动; $\Sigma n-3$ PUFA/ $\Sigma n-6$ PUFA 在不同实验组间同样存在显著差异。

分析发现, 在饥饿过程中, PUFA 含量首先降低, 说明机体首先分解利用 PUFA, 导致 SFA 和 MUFA 含量相对有所增加, 在饥饿 16 d 时, 由于 PUFA 的大量消耗, SFA 开始被分解利用, 其含量显著下降, MUFA 含量在整个饥饿过程中变化不大, 直至饥饿 20 d 时才有较大下降。由此, 可以判定 3 种脂肪酸利用的先后顺序为 PUFA、SFA 和 MUFA。

3 讨论

3.1 氨基酸组成及营养评价

鱼类受到饥饿胁迫时, 开始消耗蓄积于体内的三大营养物质(蛋白质、脂肪和糖类), 进行内源性营养代谢以维持生命活动(Sheridan *et al.*, 1991; Gillis *et al.*, 1996), 因此, 鱼类在经历一定时间的饥饿后, 肌肉中三大营养物质的含量会发生一定的变化。蛋白质中的氨基酸在代谢过程中起到重要作用, 可以转化成葡萄糖作为能量来源。本研究中, 大黄鱼幼鱼在经过不同强度的饥饿处理后, 背部肌肉中各氨基酸组分含量均发生了一定的变化, 在饥饿早期呈逐渐上升的趋势, 饥饿 16 d 时达到最大, 继续饥饿到 20 d 时, 则迅速下降, 可能原因如谭肖英等(2009)所述, 即在饥饿胁迫的早期, 氨基酸作为功能性物质保留下来, 导致其含量有所升高, 但由于高强度的饥饿胁迫, 保留下来的氨基酸最终也要被分解利用, 以保证机体的正常生存, 所以最终氨基酸含量有较大幅度降低。此外, 本研究中, 绝大多数氨基酸组分及氨基酸总量在饥饿早期稍微低于对照组, 随着饥饿时间的延长, 呈现先上升后下降的趋势, 此结果与遮目鱼(*Chanos chanos*) (Shiau *et al.*, 2001)的研究结果存在较大差异, 可能与饥饿处理方式的差异有关。

已有报道指出, 氨基酸的含量对鱼肉品质具有重要影响(Li *et al.*, 2009), 鱼类蛋白质的鲜美程度主要取决于呈鲜味的谷氨酸和天冬氨酸以及呈甘味的甘氨

酸和丙氨酸的组成与含量(区又君等, 2010; 曹栋正等, 2016)。本研究发现, 大黄鱼幼鱼饥饿 8~16 d 时, 其呈味氨基酸和鲜味氨基酸含量均逐渐增加并且大于对照组, 在饥饿 16 d 时达到最大值, 饥饿 20 d 时各氨基酸含量则迅速下降, 由此可知, 适当的饥饿处理有益于提高大黄鱼肌肉品质。

3.2 脂肪酸组成及营养评价

脂肪酸在动物代谢活动中起着十分重要的作用, 其中, 多不饱和脂肪酸(PUFA)是维持细胞膜结构和机能完整性的重要成分(彭士明等, 2010), 对于多种疾病具有较好的免疫调节作用(杭晓敏等, 2001)。此外, 脂肪酸经过一系列化学反应会产生肉类特有的香味, 是肌肉中产生香味的重要基础, 所以脂肪酸含量与肌肉品质密切相关。因此, 研究改变大黄鱼肌肉脂肪酸组成种类和含量, 对于提高大黄鱼品质至关重要。

饥饿对于鱼类脂肪酸的影响研究已经有较多报道, 如斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)在饥饿胁迫过程中, 肌肉中 SFA、MUFA 和 $\Sigma n-6$ PUFA 的含量显著下降, 而 $\Sigma n-3$ PUFA 显著增加(谭肖英等, 2009); 虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)和锦鲤(*Cyprinus carpio*)随着饥饿时间的延长, 体内 SFA 和 MUFA 含量下降, PUFA 含量上升(Murata *et al.*, 1980; Kiessling *et al.*, 1989); 非洲鲶(*Clarias gariepinus*)中则是 SFA 含量下降, MUFA 和 PUFA 含量上升(Zamal *et al.*, 1995)。由此得知, 不同鱼种在饥饿胁迫条件下, 脂肪酸利用的先后顺序存在明显差异。本研究分析了不同饥饿强度对大黄鱼幼鱼肌肉中脂肪酸含量的影响, 共检测到 7 种 SFA, 其中主要是 C16:0 和 C18:0, 与徐继林等(2008)的结果一致; 不同饥饿强度组, 肌肉中 SFA 和 PUFA 含量变化显著, 随着饥饿时间的延长, SFA 含量呈先上升后下降的趋势, 此结果与大鳍鲮(*Mystus macropterus*)的研究结果正好相反(马珊等, 2010), 说明不同品种之间 SFA 利用先后顺序具有明显差异。PUFA 含量在饥饿早期呈下降趋势, 在饥饿 12 d 之后开始逐渐上升。SFA 含量在饥饿早期呈现轻微的上升趋势, 在饥饿 8 d 后开始逐渐下降, 由此可知, 大黄鱼幼鱼在饥饿早期首先消耗 PUFA, 饥饿一定时间之后才开始分解 SFA。张振宇等(2016)指出, 大黄鱼成鱼在禁食期间, 肌肉中 SFA 和 MUFA 变化不明显, PUFA 和 $\Sigma n-3$ HUFA 呈现下降趋势。说明不同生长时期的大黄鱼脂肪酸变化情况存在一定差异。此外, 本研究结果与太平洋鲑(*Oncorhynchus spp.*) (陈斌等, 2012)以及点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricu*) (陈波等, 2008)等鱼类的研究结果也存在较大差异, 出现这种差异可

能与鱼种、规格或禁食条件不同有关,具体原因需要进一步研究探讨。本研究中, Σn -6PUFA 随着饥饿强度的增加呈现锯齿状变化,说明在饥饿时对体内 Σn -6PUFA 的利用可能存在周期性的变化,这与真鲷 (*Pagrosomus major*) (张波等, 2000)的研究结果相似,出现这一现象的可能原因是,鱼类在饥饿状态下,通过动态调节自身代谢水平,减少能量消耗,同时保持一定的应激能力(陈斌等, 2012)。

PUFA 中的亚油酸、亚麻酸和花生四烯酸被称为必需脂肪酸(EFA)。花生四烯酸能够促进生物体内脂肪代谢,对心脑血管疾病的预防有重要作用(迟淑艳等, 2007)。本研究发现,所有饥饿处理组 EFA 含量均大于对照组,可能原因是饥饿过程中其他组分被分解消耗,导致 EFA 含量相对增加。其中,亚油酸和亚麻酸含量在饥饿过程中变化显著,亚油酸在饥饿 16 d 时含量最高;亚麻酸含量在饥饿 20 d 时最高。花生四烯酸含量随着饥饿时间的延长,呈先下降后上升的变化趋势,在饥饿 12 d 时达到最低。由此可知,适当的饥饿处理可以增加 EFA 的相对含量,使大黄鱼具有更高的营养价值。

4 结论

在不同饥饿处理条件下,大黄鱼幼鱼肌肉中各氨基酸、脂肪酸组分含量均出现了一定的变化,其中,蛋氨酸含量呈现出下降-上升-下降的变化趋势,在饥饿 8 d 时达到最小值,16 d 时达到最大值,继续饥饿,其含量有较大幅度的降低。鲜味氨基酸和呈味氨基酸在饥饿 8~16 d 时,其含量均稍大于对照组,饥饿 20 d 时,二者均小于对照组。PUFA 含量呈先下降后升高的趋势,在饥饿 12 d 时达到最低,饥饿 20 d 时最高。SFA 和 MUFA 含量表现为先上升后下降的变化趋势,前者在饥饿 8 d 时最高,后者在饥饿 16 d 时最高。上述结果表明,饥饿处理对氨基酸和脂肪酸具有一定的影响。通过本研究可以得知,通过适当的饥饿处理,可以改变背肌中氨基酸和脂肪酸的相对含量,从而一定程度上影响肉质风味。研究结果为大黄鱼肉质改良研究提供了基础性资料,进而推动大黄鱼的健康养殖。本次研究不足之处在于,饥饿处理后的恢复投喂对大黄鱼幼鱼肉质以及营养成分的影响未进行研究,下一步将开展后续研究。

参 考 文 献

Andersen HJ, Oksbjerg N, Young JF, *et al.* Feeding and meat quality - a future approach. *Meat Science*, 2005, 70(3):

- 543-554
- Ao J, Mu Y, Xiang LX, *et al.* Genome sequencing of the Perciform fish *Larimichthys crocea* provides insights into molecular and genetic mechanisms of stress adaptation. *PLoS Genetics*, 2015, 11(4): e1005118
- Cao DZ, Zhang XZ, Chen SQ, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in muscles of *Platichthys stellatus*, *Kareius bicoloratus* and their reciprocal hybrids. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(3): 34-41 [曹栋正, 张小忠, 陈四清, 等. 星突江鲈(*Platichthys stellatus*)、石鲈(*Kareius bicoloratus*)及其正反杂交种肌肉的营养成分分析及评价. *渔业科学进展*, 2016, 37(3): 34-41]
- Cao JJ, Zhang WB, Xu W, *et al.* Dietary selenium requirement of juvenile large yellow croaker *Larimichthys crocea*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(2): 241-249 [曹娟娟, 张文兵, 徐玮, 等. 大黄鱼幼鱼对饲料硒的需求量. *水生生物学报*, 2015, 39(2): 241-249]
- Chen B, Feng J, Wu B, *et al.* The effects of starvation on fat and fatty acids composition in Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.). *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, 43(6): 1247-1253 [陈斌, 冯健, 吴彬, 等. 饥饿对太平洋鲑 (*Oncorhynchus* spp.) 鱼体脂肪与脂肪酸的影响. *海洋与湖沼*, 2012, 43(6): 1247-1253]
- Chen B, Liu MH, Shi ZH, *et al.* The effects of starvation and re-feeding on fatty acid and amino acid composition in juvenile of *Epinephelus malabaricus* Bloch & Schneider. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2008, 17(6): 674-679 [陈波, 柳敏海, 施兆鸿, 等. 饥饿和再投喂对点带石斑鱼幼鱼脂肪酸和氨基酸组成的影响. *上海海洋大学学报*, 2008, 17(6): 674-679]
- Chi SY, Zhou QC, Zhou JB, *et al.* Comparative nutrition components in five cultured molluscs in coastal south China. *Fisheries Science*, 2007, 26(2): 79-83 [迟淑艳, 周歧存, 周健斌, 等. 华南沿海 5 种养殖贝类营养成分的比较分析. *水产科学*, 2007, 26(2): 79-83]
- Feng Z, Cao Q. *Ichthyology*. Beijing: Agricultural Press House, 1979, 217
- Gillis TE, Ballantyne JS. The effects of starvation on plasma free amino acid and glucose concentrations in lake sturgeon. *Journal of Fish Biology*, 1996, 49(6): 1306-1316
- Ginés R, Palicio M, Zamorano MJ, *et al.* Starvation before slaughtering as a tool to keep freshness attributes in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture International*, 2002, 10(5): 379-389
- Hang XM, Tang YL, Liu XL. Progress in the research on polyunsaturated fatty acids. *China Biotechnology*, 2001, 21(4): 18-21 [杭晓敏, 唐涌濂, 柳向龙. 多不饱和脂肪酸的研究进展. *中国生物工程杂志*, 2001, 21(4): 18-21]
- Kiessling A, Johansson L, Storebakken T. Effects of reduced feed ration levels on fat content and fatty acid composition in

- white and red muscle from rainbow trout. *Aquaculture*, 1989, 79(1-4): 169-175
- Li MY, Zheng YF, Guan DD, *et al.* The nutrition of fatty acid and amino acid analysis of four genealogies *Pseudosciaena crocea* (Richardson). *Journal of Fisheries of China*, 2009, 33(4): 632-638 [李明云, 郑岳夫, 管丹东, 等. 大黄鱼四家系肌肉营养成分差异及品质选育分析. *水产学报*, 2009, 33(4): 632-638]
- Li P, Mai K, Trushenski J, *et al.* New developments in fish amino acid nutrition: Towards functional and environmentally oriented aquafeeds. *Amino Acids*, 2009, 37(1): 43-53
- Lin LM, Wang QR, Wang ZY, *et al.* Comparison of biochemical compositions of muscle among three stocks and wild-caught large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(2): 286-291 [林利民, 王秋荣, 王志勇, 等. 不同家系大黄鱼肌肉营养成分的比较. *中国水产科学*, 2006, 13(2): 286-291]
- Liu F, Chen L, Lou B, *et al.* Correlation and path coefficient analysis on body weight and morphometric traits of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016a, 47(3): 655-662 [刘峰, 陈琳, 楼宝, 等. 小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)形态性状与体质量的相关性及通径分析. *海洋与湖沼*, 2016a, 47(3): 655-662]
- Liu F, Liu YY, Lou B, *et al.* Effect of water temperature on antioxidant and digestive enzymes activities in *Larimichthys polyactis*. *Haiyang Xuebao*, 2016b, 38(12): 76-85 [刘峰, 刘阳阳, 楼宝, 等. 温度对小黄鱼体内抗氧化酶及消化酶活性的影响. *海洋学报*, 2016b, 38(12): 76-85]
- Ma S, Jiang HB, Yao JJ. Biochemical composition, amino acid and fatty acid composition of *Mystus macropterus* under short-term starvation. *Journal of Hydroecology*, 2010, 3(2): 61-65 [马珊, 姜海波, 姚俊杰. 短期饥饿对大鳍鱧生化组成、氨基酸和脂肪酸组成的影响. *水生态学杂志*, 2010, 3(2): 61-65]
- Miao FR, Liu J, Wang DH, *et al.* Meat quality of *Pseudosciaena crocea* cultivated by different methods. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 22(4): 372-377 [缪伏荣, 刘景, 王淡华, 等. 不同养殖模式大黄鱼肉质性状的分析研究. *福建农业学报*, 2007, 22(4): 372-377]
- Murata H, Higashi T. Selective utilization of fatty acid as energy source in carp. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1980, 46(11): 1333-1338
- Peng SM, Shi ZH, Hou JL. Study on the lipid nutrition and artificial diet of marine fish. *Marine Fisheries*, 2010, 32(2): 218-224 [彭士明, 施兆鸿, 侯俊利. 海水鱼脂类营养与饲料的研究进展. *海洋渔业*, 2010, 32(2): 218-224]
- Ou YJ, Li J. Analysis and evaluation of the nutrient contents in the muscle of high finned grouper *Cromileptes altivelis*. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2010, 29(4): 503-509 [区又君, 李加儿. 驼背鲈肌肉营养成分的分析与评价. *台湾海峡*, 2010, 29(4): 503-509]
- Sheridan MA, Mommsen TP. Effects of nutritional state on in vivo lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *General and Comparative Endocrinology*, 1991, 81(3): 473-483
- Shen WL, Wu XF, Shentu JK, *et al.* The effects of different diets and culture environments on the morphological variations in the large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(6): 70-77 [沈伟良, 吴雄飞, 申屠基康, 等. 不同饵料及养殖环境对大黄鱼(*Larimichthys crocea*)形态差异的影响. *渔业科学进展*, 2017, 38(6): 70-77]
- Shiau CY, Pong YP, Chiou TK, *et al.* Effect of starvation on free histidine and amino acids in white muscle of milkfish *Chanos chanos*. *Comparative Biochemistry & Physiology Part B Biochemistry & Molecular Biology*, 2001, 128(3): 501-506
- Tan XY, Luo Z, Wang WM, *et al.* Effects of starvation on body weight and body composition of small-sized channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(1): 39-45 [谭肖英, 罗智, 王为民, 等. 饥饿对小规格斑点叉尾鲷体重及鱼体生化组成的影响. *水生生物学报*, 2009, 33(1): 39-45]
- Xu JL, Yan XJ, Luo YP, *et al.* Comparison of lipids and fatty acids composition in muscle between wild and farmed *Pseudosciaena Crocea* from Tai-chu Race. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2008, 8(1): 108-114 [徐继林, 严小军, 罗瑜萍, 等. 岱衢族野生大黄鱼与养殖大黄鱼肌肉脂类和脂肪酸组成的比较研究. *中国食品学报*, 2008, 8(1): 108-114]
- Yan SA, Yao QH, Lin XX, *et al.* Nutrient profile of large yellow croakers (*Pseudosciaena crocea* Richardson) grown under different aquacultural settings. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 30(8): 736-744 [颜孙安, 姚清华, 林香信, 等. 不同养殖模式大黄鱼肌肉营养成分比较. *福建农业学报*, 2015, 30(8): 736-744]
- Zamal H, Ollevier F. Effect of feeding and lack of food on the growth, gross biochemical and fatty acid composition of juvenile catfish. *Journal of Fish Biology*, 1995, 46(3): 404-414
- Zhang B, Sun Y, Tang QS. The effects of starvation on growth and biochemical composition in *Pagrosomus major*. *Journal of Fisheries of China*, 2000, 24(3): 206-210 [张波, 孙耀, 唐启升. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响. *水产学报*, 2000, 24(3): 206-210]
- Zhang ZY, Wang QR, Ye K, *et al.* Effect of fasting on body composition, muscle fatty acid profiles and serum biochemical parameters of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(9):

1440–1450 [张振宇, 王秋荣, 叶坤, 等. 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. 水产学报, 2016, 40(9): 1440–1450]

Zheng B, Xu JZ, Liu SZ. Study on biochemical composition in

muscle and blood of *Pseudosciaena crocea*. Journal of Jimei University (Natural Science), 2003, 8(4): 295–300 [郑斌, 徐君卓, 刘士忠. 大黄鱼肌肉和血液生化组分的分析. 集美大学学报(自然科学版), 2003, 8(4): 295–300]

(编辑 冯小花)

Effect of Starvation on Amino Acids and Fatty Acids of Juvenile *Larimichthys crocea*

LIU Feng¹, LÜ Xiaokang¹, LIU Yangyang^{1,2}, LOU Bao^{1①}, CHEN Ruiyi¹, WANG Ligai¹, ZHAN Wei¹

(1. Key Laboratory of Mariculture and Enhancement of Zhejiang Province, Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang, Marine and Fishery Institute of Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316021; 2. Marine Science and Technology College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022)

Abstract To investigate the effect of starvation on amino acids and fatty acids of muscle in juvenile large yellow croaker *Larimichthys crocea*, 540 healthy fish with similar body weight (40.80 ± 3.40 g) were selected for the experiment. The muscle was sampled from experimental fish after 0, 4, 8, 12, 16, and 20 days of starvation for chemical analysis, respectively. Results showed that starvation significantly affected methionine content ($P < 0.05$), which reached the lowest content ($0.48\% \pm 0.12\%$) after 8 days of starvation and obtained the highest content ($1.62\% \pm 0.23\%$) after 16 days of starvation. However, the other 15 kinds of amino acids showed no significant difference among the different groups ($P > 0.05$), with the same trends of increased at first and then decreased when starvation time was prolonged. Also, the non-essential amino acids, essential amino acids, flavored amino acids, essential amino acids and total amino acids showed the same changing trends as the 15 kinds of amino acids. As for fatty acid, starvation had significant effects on the fatty acid content in muscle of juvenile *L. crocea* ($P < 0.05$). Among them, the saturated fatty acids (SFA) increased first and then decreased with the prolongation of starvation, and reached the maximum content after 8 days of starvation ($30.90\% \pm 0.28\%$); monounsaturated fatty acid (MUFA) content among different treatment groups was not significantly different ($P > 0.05$), but all the treatment groups were slightly larger than that of the control group (starvation for 0 day); polyunsaturated fatty acid (PUFA) content showed an increasing trend after the first drop, and the lowest value was in the group of that was starved for 12 days ($31.87\% \pm 0.65\%$). From the above research results, we know that the amino acid and fatty acid contents in the muscle related to meat quality can be changed by proper starvation treatment, which can improve the meat flavor of *L. crocea*. These results have important theoretical and directive significance for improving meat quality of *L. crocea* through proper starvation treatment in the process of *L. crocea* culturing.

Key words *Larimichthys crocea*; Starvation; Amino acid; Fatty acid; Meat quality

① Corresponding author: LOU Bao, E-mail: loubao6577@163.com