

三种养殖模式下日本鳗鲡(*Anguilla japonica*) 养成品体色和肌肉品质的差异*

王志铮¹ 付英杰¹ 杨磊¹ 朱卫东² 陈汉春³
申屠琰² 华建权³

(1. 浙江海洋学院水产学院 舟山 316004; 2. 余姚市水产技术推广中心 余姚 315400;
3. 慈溪市水产技术推广中心 慈溪 315300)

提要 随机选取池塘专养(M_1)、日本沼虾套养(M_2)以及水库放养(M_3)三种养殖模式养成的肛长(25.91±3.26)cm的日本鳗鲡作为研究材料,比较研究了三者间在表皮色差、背肌组织物理特性和肌肉营养成分组成及含量上的差异。结果表明:(1) M_1 表皮色差与 M_2 、 M_3 均具显著差异($P<0.05$),三者背、腹间的体色差异程度呈 $M_1>M_2>M_3$ ($P<0.05$);(2) 背肌物性指标中均具显著差异的为粘着性、弹性和回复性,前者测定值呈 $M_1>M_3>M_2$ ($P<0.05$),后两者均呈 $M_3>M_1>M_2$ ($P<0.05$), M_3 背肌最发达, M_1 纵肌肌束纤维排列较 M_2 紊乱;(3) 肌肉营养成分中仅水分和灰分含量均具显著差异,依次呈 $M_3>M_1>M_2$ ($P<0.05$)和 $M_3>M_2>M_1$ ($P<0.05$),蛋白质含量高于脂肪含量的仅为 M_3 ;(4) 三者间肌肉脂肪酸、氨基酸组成均完全相同,含量排序也均基本一致,但多种不饱和脂肪酸含量却均具显著差异($P<0.05$)。

关键词 日本鳗鲡; 养殖模式; 体色; 肌肉品质
中图分类号 S965

体色是影响鱼类商品价格的重要因素。体色变化是鱼类对它所处栖息环境情况调节本身外貌的手段(勃朗, 1963),如野生本地胡子鲶体色多呈金黄色、土黄色和褐黄色,人工养殖个体通常呈灰色,而半人工养殖模式个体体色则与野生个体相近(冷向军等, 2003),罗非鱼在黑色背景下体色暗淡,而在灰色和白色环境下体色发亮(van der Salmt *et al*, 2005),生活于海洋或很深的湖泊中的美洲红点鲑(*Salvelinus fontinalis*)体色呈银白色,而生活于小溪或河流中的却非常鲜艳(刘建平, 2005)。肌肉品质作为评价鱼类食用质量的重要依据,与鱼类的生存环境与福利状况有着极为密切的关系。研究发现,野生刀鲚(*Coilia nasus*)肌肉鲜样中粗蛋白质、灰分和绝大多数的氨基酸含量均显著低于养殖个体,而粗脂肪含量则显著高于养殖个体(唐雪等, 2011a),野生个体肌肉弹性、硬度、

咀嚼度、胶着性等质构指标与池养个体均无显著差异,但肌肉中SOD、CAT、T-AOC、GSH-PX、T-NOS、iNOS、GSH/GSSG等抗氧化指标则均显著高于池养个体(唐雪等, 2011b);红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)大连养殖模式、河北养殖模式、丹东养殖模式养成品间肌肉粗成分(水分、粗蛋白、粗脂肪)、氨基酸组成和含量均无显著差异,但肌肉硬度、鲜味氨基酸含量和脂肪酸组成却均存在较为显著的差异,其中养成质量以池塘养殖至幼鱼后移至海上网箱养殖的丹东养殖模式为最佳(高露姣等, 2011)。无疑,养殖模式会对目标养殖鱼类的体色和肌肉品质产生一定程度的影响,并由此成为导致不同养殖模式目标养殖鱼类养成品间市场销售价格差异的主因。因此,通过系统比较不同养殖模式下目标养殖鱼类养成品体色、肌肉品质间的差异,探析进而揭示由养殖模式引起其环

* 浙江省重大科技专项农业项目, 2008C12083号。王志铮, 研究员, E-mail: wzz_1225@163.com

收稿日期: 2012-08-25, 收修改稿日期: 2012-10-27

境适应对策和肌肉营养生理特征改变的本质, 无疑对于推进目标养殖鱼类的健康高质养成具重要现实意义。鉴于此, 本文作者在系统比较池塘专养、日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)池塘套养和水库放养等 3 种养殖模式日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)养成品形质、血清生化指标与脏器消化酶和抗氧化酶活力差异(王志铮等, 2012, 2013)的同时, 较系统开展了上述三种养殖模式日本鳗鲡养成品体色和肌肉品质的差异研究, 以期为本日本鳗鲡养成品品质鉴定系统的构建以及生态高值养成技术研究与开发提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验鳗

实验用池塘专养模式(记为 M_1)、日本沼虾池塘套养模式(记为 M_2)和水库放养模式(记为 M_3)日本鳗鲡养成品的来源、购置时间、实验个体选取要求及暂养停食处理均完全同王志铮等(2012), 并于实验前洗净、沥干后备用。

1.2 表皮色差的测定

以实验鳗鳃盖后缘至肛门区段为色差测定部位(测定位点按等间距设置, 背、腹均各测 5 个位点), 采用 DC-P3 型全自动测色色差仪(北京市兴光测色仪器公司制造)测定其背、腹表皮色泽的 Hunter L 、 A 、 B 值, 每一养殖模式各测实验鳗 5 尾。其中, L 值表示亮度, 由黑到白的取值范围为 0—100; A 值表示红绿程度, 由绿到红的取值范围为 -60—60; B 值表示黄蓝程度, 由蓝到黄的取值范围为 -60—60。

1.3 背肌物性指标的测定和组织切片的观察

采用 TA-XT Plus 型食品物性测试仪, 对从实验鳗背部中央区段割取的背肌组织块(1.5cm×1.5cm×1.0cm)进行硬度、粘着性、弹性、咀嚼性和回复性测定, 每一养殖模式各测实验鳗 5 尾。测试探头为 P/5, 测试前、后移动速度均为 5mm/s, 测试移动速度为 1mm/s, 测距为 3mm, 每尾实验鳗均设 3 个平行组。其中, 硬度指肌肉样达到一定变形所需要的外力, 表示肌肉的坚硬程度; 弹性指将肌肉样压缩至一定形变量后, 其所能恢复的程度; 粘着性指第一次压缩后探头回撤时负数峰值下的面积; 咀嚼性指吞咽状态所需的能量, 嫩度越高则该值越低; 回复性指可恢复功与压缩功之比, 其值介于 0—1 之间。

于实验鳗鱼体中央区段切取大小为 1cm×1cm×0.5cm 的背肌组织块, 放入组织托并将其置于 Leica CM1900 型冰冻切片冷冻台上进行速冻, 取冻结完

全的肌肉样置于冷冻夹中切片后, 将切片移至载玻片, 经固定(95%酒精 95mL 和冰醋酸 5mL 混合液中浸泡 60s 后, 用流水冲净)、H.E 染色(滴加苏木精染剂, 酒精灯火焰加热 30s, 流水除净染液, 1%盐酸分化 5s, 水洗返蓝后浸入伊红染色剂中 5s)处理, 95%酒精、无水酒精梯度脱水各 3s, 热风吹干后置于 Nikon 80i 型显微镜上观察并拍照。

1.4 肌肉营养成分的检测

实验鳗肌肉水分、灰分和蛋白质含量的样品处理及检测方法依次按 GB 5009.3-2010(直接干燥法)、GB 5009.4-2010和 GB 5009.5-2010; 脂肪含量(湿样)的样品处理与检测方法为: 实验鳗鱼解剖、洗净、去骨、组织捣碎后取 10g 肉样放入 30mL 甲醇、60mL 氯仿的混合液中, 保鲜膜封口, 冰箱沉降 4h 后, 转移至分液漏斗, 加 10mL 蒸馏水和 1mL NaCl 饱和溶液, 常温静置 24h, 无水 Na_2SO_4 过滤并用氯仿定容至 70mL, 取 10mL 倒入平底烧瓶, 于 RE-52C 型旋转蒸发器水浴槽旋转蒸发, DHG-9070AS 型热恒温鼓风干燥箱干燥后称重; 脂肪酸含量的样品处理与检测方法为: 取肉样 10g, 用有机溶剂(甲醇: 氯仿=1: 2)提取法获得脂肪后, 于 30% BF_3 -甲醇溶液进行甲酯化并经正己烷萃取后存放于安捷伦 7890A 型气相色谱仪气相用小瓶中备用, 待测样品气相色谱经与脂肪酸甲酯标准品 GC 图谱比较后, 采用外标法计算其脂肪酸含量, 具体检测参数为: 色谱柱(DM-Wax 柱)为 30m×0.25mm×0.25 μm , 进样口温度 250℃, 分流比为 1: 50, 进样量为 1 μL , 检测器为 FID 型氢火焰离子化检测器, 检测器温度为 280℃; 氨基酸组成和含量委托国家轻工业食品质量监督检测杭州站按 GB/T 5009.124-2003(酸碱水解法)进行检测。

1.5 数据处理

实验所得各项数据均借助 SPSS 17.0 进行统计分析, 各养殖模式日本鳗鲡养成品组间差异显著性检验均采用 LSD 多重比较法($\alpha=0.05$)。

2 结果

2.1 体色

观察发现, M_1 体色呈背部青黑、腹部暗白, M_2 与 M_3 两者较接近, 均呈背部淡青黑色, 腹部白色并略显黄绿。经测定, 三者表皮色差值上均具一定程度的差异(表 1), 即: (1) 背、腹表皮色差 L 值依次表露为 $M_1 < M_2 < M_3$ ($P < 0.05$)和 $M_2 > M_1 > M_3$ ($P < 0.05$), 表明 M_2 背、腹体色均较 M_1 更显亮白, M_3 背、腹间 L 值的

差值显著小于 M_1 和 M_2 ; (2) 背、腹表皮色差 A 值均表露为 $M_1 > M_2 \approx M_3$, 表明 M_2 、 M_3 体色中的绿色成分均显著高于 M_1 ; (3) 背、腹表皮色差 B 值依次表露为 $M_1 < M_3 < M_2$ ($P < 0.05$) 和 $M_1 < M_2 \approx M_3$, 表明 M_2 、 M_3 体色中的黄色成分均显著高于 M_1 , 而 M_1 背、腹间 B 值的差值则显著大于 M_1 和 M_2 ; (4) M_2 - M_3 的色差指标相似性为 50%, 而 M_1 - M_2 和 M_1 - M_3 的色差指标相似性则均为 0。综上可知, M_2 体色明显倾向于 M_3 , 三者背、

腹间的体色差异程度呈 $M_1 > M_2 > M_3$ ($P < 0.05$)。

2.2 背肌物性与组织切片

由表 2 可见, 三种养殖模式日本鳊鲮养成品背肌硬度呈 $M_3 > M_1 \approx M_2$, 粘着性呈 $M_1 > M_3 > M_2$ ($P < 0.05$), 咀嚼性呈 $M_1 \approx M_3 > M_2$, 弹性和回复性均呈 $M_3 > M_1 > M_2$ ($P < 0.05$), 即 M_1 - M_2 、 M_1 - M_3 、 M_2 - M_3 的背肌物性指标相似性依次为 20%、20%和 0, 表明三者背肌物性指标值上均出现明显偏离, 具较好的区分度。

表 1 三种养殖模式日本鳊鲮养成品表皮色泽的 Hunter L 、 A 、 B 值
Tab.1 The epidermal chromatism index values of *A. japonica* in three populations

检测部位	检测指标	养殖模式($n=5$)		
		M_1	M_2	M_3
背部	L 值	29.16±0.45 ^a	32.92±0.27 ^b	34.98±0.62 ^c
	A 值	1.03±0.06 ^a	-11.98±0.16 ^b	-9.76±0.22 ^b
	B 值	-0.15±0.03 ^a	5.48±0.04 ^b	4.76±0.07 ^c
腹部	L 值	78.03±0.32 ^a	80.75±0.76 ^b	75.48±0.47 ^c
	A 值	-17.86±0.39 ^a	-23.17±0.26 ^b	-23.09±0.18 ^b
	B 值	7.67±0.52 ^a	9.66±0.29 ^b	9.58±0.17 ^b

注: 同一行上标不同字母表示具显著差异($P < 0.05$), 字母相同表示无差异。下同

表 2 三种养殖模式日本鳊鲮养成品的背肌物性特征
Tab.2 Physical characteristics of dorsal muscle of *A. japonica* in three different models

检测指标	养殖模式($n=5$)		
	M_1	M_2	M_3
硬度	73.610±3.363 ^a	73.419±2.544 ^a	94.374±2.352 ^b
粘着性	4.171±0.244 ^a	2.229±0.100 ^b	3.393±0.392 ^c
弹性	0.728±0.027 ^a	0.624±0.015 ^b	0.769±0.0250 ^c
咀嚼性	36.719±3.339 ^a	13.815±0.734 ^b	39.036±0.347 ^a
回复性	0.209±0.006 ^a	0.191±0.004 ^b	0.338±0.019 ^c

从背肌组织纵切面来看, 肌束纤维的致密程度呈 $M_3 > M_2 \approx M_1$, M_1 肌束纤维排列不如 M_2 整齐(图 1); 从背肌组织横切面来看, M_3 肌束纤维结块现象极为明显, 而 M_1 与 M_2 则均略显疏松(图 2), 表明三者中 M_3 背肌最为发达, M_2 与 M_1 背肌间的主要差异为纵肌肌束纤维排列的紊乱程度。

2.3 一般营养成分

由表 3 可见, 本研究所涉三种养殖模式日本鳊鲮养成品在肌肉一般营养成分组成上均存在一定程度的差异, 主要表现为: (1) 三者间水分和灰分含量均具显著差异, 依次呈 $M_3 > M_1 > M_2$ ($P < 0.05$) 和 $M_3 > M_2 > M_1$ ($P < 0.05$), 均以 M_3 为最高; (2) 脂肪和蛋白质含量依次呈 $M_1 \approx M_2 > M_3$ 和 $M_1 \approx M_3 > M_2$, 三者中蛋白质含

量高于脂肪含量的仅为 M_3 。

2.4 脂肪酸组成

由表 4 可见, 本研究所涉三种不同养殖模式日本鳊鲮养成品肌肉均被检测到 5 种饱和脂肪酸, 4 种单不饱和脂肪酸和 9 种多不饱和脂肪酸。三者间尽管脂肪酸种类组成完全相同、含量排序基本一致, 脂肪酸总量、 Σ UFA 含量、DHA/EPA 值也均无显著差异 ($P > 0.05$), 但仍均存在一定程度的差异, 主要表现为: (1) 从饱和脂肪酸组成来看, 三者间肉豆蔻酸甲酯(C14:0)、十五碳酸甲酯(C15:0)含量均呈 $M_1 \approx M_3 > M_2$, 硬脂酸甲酯(C18:0)呈 $M_2 \approx M_3 > M_1$, 而棕榈酸甲酯(C16:0)和二十四碳酸甲酯(C24:0)含量均无显著差异 ($P > 0.05$), 即 M_1 - M_2 、 M_1 - M_3 、 M_2 - M_3 饱和脂肪酸组成含量的相似性依次为 60%、80%和 60%, 经统计, 三者间 Σ SFA 含量均无显著差异 ($P > 0.05$); (2) 从单不饱和脂肪酸组成来看, 三者间十七碳烯酸甲酯(C17:1)、二十碳一烯酸(C20:1)含量均呈 $M_1 \approx M_3 > M_2$, 棕榈油酸甲酯(C16:1)含量呈 $M_1 > M_2 \approx M_3$, 仅油酸(C18:1)含量均无差异, 即 M_1 - M_2 、 M_1 - M_3 、 M_2 - M_3 单不饱和脂肪酸含量组成的相似性依次为 25%、75%和 50%, 经统计, M_1 - M_3 、 M_2 - M_3 的 Σ MUFA 含量均无显著差异 ($P > 0.05$), 而 M_1 的 Σ MUFA 含量却显著高于 M_2 ($P < 0.05$); (3) 从多不饱和脂肪酸组成来看, DHA 与

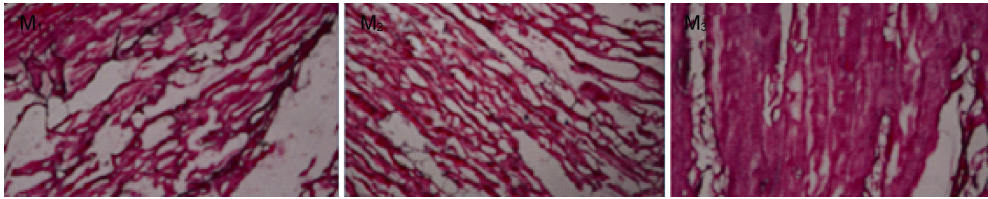


图 1 三种养殖模式日本鳗鲡养成品背肌的纵切面
Fig.1 Longitudinal section of dorsal muscle of *A. japonica* in three different models

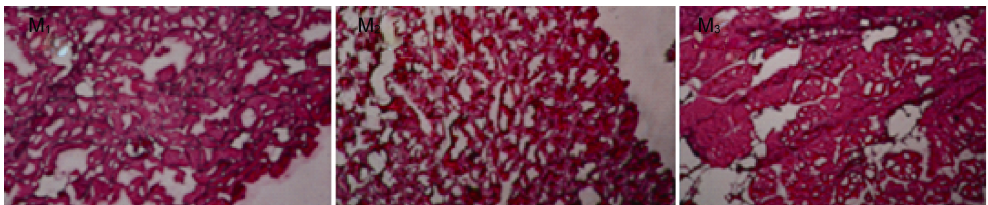


图 2 三种养殖模式日本鳗鲡养成品背肌的横切面
Fig.2 Transection of dorsal muscle of *A. japonica* in three different models

表 3 三种不同养殖模式日本鳗鲡养成品的肌肉营养成分组成及含量

Tab.3 The composition and content of muscles of *A. japonica* in three different models

检测指标	养殖模式(g/100g, n=5)		
	M ₁	M ₂	M ₃
水分	63.688±1.071 ^a	61.014±0.837 ^b	66.869±1.238 ^c
灰分	0.794±0.015 ^a	1.030±0.044 ^b	1.166±0.041 ^c
脂肪(湿样)	17.335±3.035 ^a	18.602±1.012 ^a	12.463±3.050 ^b
蛋白质	15.787±0.188 ^a	14.594±0.397 ^b	15.970±0.253 ^a

EPA 含量均呈 $M_1>M_2\approx M_3$, 花生四烯酸(C20:4 ω 6)和二十二碳二烯酸甲酯(C22:2)含量均呈 $M_1\approx M_2>M_3$, γ -亚麻酸(C18:3 ω 6)、 α -亚麻酸(C18:3 ω 3)和二十碳二烯酸(C20:2)含量均呈 $M_2>M_1\approx M_3$, 亚油酸(C18:2 ω 6)、二十碳三烯酸(C20:3 ω 3)含量均呈 $M_2>M_3>M_1$ ($P<0.05$), 即 M_1 - M_2 、 M_1 - M_3 、 M_2 - M_3 多不饱和脂肪酸含量组成的相似性依次为 22.2%、33.3%和 22.2%, 经统计, Σ PUFA 呈 $M_2>M_1>M_3$ ($P<0.05$), Σ EFA 和 Σ ω 6PUFA 均呈 $M_2>M_3>M_1$ ($P<0.05$), Σ ω 3PUFA 呈 $M_1>M_2>M_3$ ($P<0.05$), ω 3/ ω 6ratio 呈 $M_1>M_3>M_2$ ($P<0.05$)。综上可知, 不饱和脂肪酸是导致 M_1 、 M_2 、 M_3 间食用营养价值差异的重要因素之一。

2.5 氨基酸组成

由表 5 可见, 本研究所涉三种不同养殖模式日本鳗鲡养成品肌肉均被检测到 7 种必需氨基酸(因采用酸水解法, 故色氨酸未被测得), 2 种半必需氨基酸和 6 种非必需氨基酸(包括 4 种呈味氨基酸)。三者间尽管氨基酸种类组成完全相同、含量排序基本一致, 必

需氨基酸、非必需氨基酸、呈味氨基酸和水解氨基酸总量也均无显著差异($P>0.05$), 但仍存在较微弱的差别, 即: (1) 必需氨基酸 Lys、Leu、Ile 含量以及半必需氨基酸总量均表露为 $M_2>M_1$ ($P<0.05$), 而 M_3 与 M_1 和 M_2 则均无显著差异($P>0.05$); (2) 非必需氨基酸中对甘味有影响的特征性氨基酸 Gly 和 Ala 含量分别呈 $M_3>M_2$ ($P<0.05$)和 $M_3>M_1$ ($P<0.05$), 而 M_1 的 Gly 含量、 M_2 的 Ala 含量与另二者均无显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

鱼类体色和肌肉品质均主要受遗传特性、栖息环境和食物种类组成的影响(刘金海等, 2002; Park *et al*, 2002; 邓时铭等, 2011)。研究表明, 鱼类摄食代谢与运动代谢为两个相互关联的过程(Hicks *et al*, 2004; Fu *et al*, 2007), 本研究所涉三种养殖模式日本鳗鲡养成品间的形质、血清生化指标和脏器消化酶、抗氧化酶活力的差异, 均与其各自所栖生境的营养供应状况和由此形成的摄食对策有着极为密切的关系(王志铮等, 2012, 2013)。因此, M_1 、 M_2 、 M_3 为适应各自营养供应状况而依次所采取的“饱食寡动型”、“运动减肥型”和“寡食追逐型”摄食对策, 无疑为科学解析三者间体色和肌肉品质的差异提供了极为重要的线索。

从养殖模式对日本鳗鲡养成品体色的影响看, 三者背、腹体色差异程度呈 $M_1>M_2>M_3$ ($P<0.05$), M_2 体色明显偏离 M_1 并倾向于 M_3 , M_2 、 M_3 体色中的绿、黄色成分均显著高于 M_1 , 以及 M_1 背部 L 值显著低于 M_2 、 M_3 的结果(表 1), 不仅客观揭示了减少背、腹体

表 4 三种养殖模式日本鳊鲮养成品肌肉的脂肪酸组成及含量
Tab.4 The composition and content of fatty acids of *A. japonica* in three different models

检测指标		养殖模式(% , n=5)		
		M ₁	M ₂	M ₃
饱和脂肪酸 SFA	肉豆蔻酸甲酯(C14:0)	4.18±0.38 ^a	3.21±0.40 ^b	4.22±0.12 ^a
	十五碳酸甲酯(C15:0)	0.13±0.01 ^a	0.06±0.01 ^b	0.12±0.01 ^a
	棕榈酸甲酯(C16:0)	16.53±5.65 ^a	17.60±4.28 ^a	20.34±3.65 ^a
	硬脂酸甲酯(C18:0)	2.36±0.85 ^a	3.88±1.17 ^b	4.50±0.89 ^b
	二十四碳酸甲酯(C24:0)	0.70±0.24 ^a	0.39±0.16 ^a	0.59±0.38 ^a
单不饱和脂肪酸 MUFA	棕榈油酸甲酯(C16:1)	13.97±1.88 ^a	8.44±1.75 ^b	9.83±0.87 ^b
	十七碳烯酸甲酯(C17:1)	0.17 ^a ±0.06 ^a	0.07 ^b ±0.01 ^b	0.18 ^a ±0.07 ^a
	油酸(C18:1)	46.95±4.88 ^a	45.77±4.00 ^a	49.40±2.77 ^a
多不饱和脂肪酸 PUFA	二十碳一烯酸(C20:1)	3.22±0.46 ^a	1.46±0.17 ^b	2.81±0.30 ^a
	*亚油酸(C18:2ω6)	2.13±0.42 ^a	11.81±1.32 ^b	3.60±0.74 ^c
	*γ-亚麻酸(C18:3ω6)	0.10±0.02 ^a	0.37±0.07 ^b	0.11±0.05 ^a
	*α-亚麻酸(C18:3ω3)	0.26±0.09 ^a	0.93±0.17 ^b	0.28±0.10 ^a
	二十碳二烯酸(C20:2)	0.12±0.04 ^a	0.59±0.28 ^b	0.15±0.04 ^a
	二十碳三烯酸(C20:3ω3)	0.21±0.14 ^a	0.68±0.16 ^b	0.41±0.09 ^c
	*花生四烯酸(C20:4ω6)	0.19±0.09 ^a	0.24±0.03 ^a	0.10±0.06 ^b
	EPA(C20:5ω3)	2.03±0.49 ^a	1.08±0.25 ^b	0.66±0.15 ^b
	二十二碳二烯酸甲酯(C22:2)	0.45±0.04 ^a	0.39±0.14 ^a	0.21±0.02 ^b
	DHA(C22:6ω3)	5.37±1.31 ^a	2.44±0.40 ^b	1.81±0.17 ^b
Total		98.77±2.19 ^a	99.21±0.15 ^a	99.29±0.91 ^a
DHA/EPA		2.70±0.68 ^a	2.31±0.36 ^a	2.84±0.60 ^a
Σ (EPA+DHA)		7.48±1.45 ^a	3.52±0.59 ^b	2.49±0.30 ^b
Σ SFA		23.84±6.51 ^a	25.10±5.70 ^a	29.94±3.98 ^a
Σ MUFA		65.20±6.32 ^a	55.91±5.53 ^{bc}	62.70±4.36 ^{cc}
Σ PUFA		10.96±1.46 ^a	18.55±0.97 ^b	7.36±0.83 ^c
Σ UFA		74.91±6.29 ^a	74.07±5.56 ^a	69.16±3.13 ^a
Σ EFA		2.68±0.27 ^a	13.34±1.33 ^b	4.08±0.74 ^c
Σ ω3PUFA		7.87±1.35 ^a	5.13±0.58 ^b	3.16±0.37 ^c
Σ ω6PUFA		2.42±0.36 ^a	12.41±1.29 ^b	3.80±0.76 ^c
ωω3/ω6ratio		3.25±0.33 ^a	0.42±0.08 ^b	0.86±0.18 ^c

注: *表示必需脂肪酸

色差异对提高日本鳊鲮捕食隐蔽性所具的重要作用,以及该作用有随日本鳊鲮所栖环境取食难易程度增大而显著增强的趋势,而且也真实反映了天然生物饵料对 M₂、M₃ 鱼体着色的贡献率,以及 M₁ 养殖模式日本鳊鲮饱食寡动,喜静伏于池底的生活习性的事实,这既与冷向军等(2003)观察发现野生本地胡子鲶体色多呈金黄色、土黄色和褐黄色,人工养殖个体通常呈灰色,而半人工养殖模式个体体色则与野生个体相近的情形相仿,也与王武(2000)所述日本鳊鲮的体色与水质、饲养、环境等有关,在黑暗、缺氧环境条件下体色变深的观点相符。

从养殖模式对日本鳊鲮养成品肌肉营养组成的影响看, M₁、M₃ 养殖模式日本鳊鲮养成品间水分、灰分、脂肪含量依次呈 M₃>M₁ (P<0.05)、M₃>M₁ (P<0.05) 和 M₁>M₃ (P<0.05), 而蛋白质含量相仿的情形(表 3), 既与花鲢(*Hemibarbus maculate*)、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)、中华鲟(*Acipenser sinensis*)幼鱼野生个体与人工养殖个体间的差异特征基本一致(陈建明等, 2007; 宋超等, 2007; 林郁葱等, 2011), 也与鱼类大多以脂肪和糖元作为主要贮能物质, 饥饿状态下主要消耗这两种物质, 而对蛋白质的利用一般是在脂肪被大量消耗之后的观点(Stiding, 1976; Kutty,

表 5 三种养殖模式日本鳗鲡养成品肌肉的氨基酸组成及含量
Tab.5 The composition and content of amino acids in muscle of *A. japonica* in three different models

检测指标		养殖模式(% , n=5)		
		M ₁	M ₂	M ₃
必需氨基酸 EAA	赖氨酸 Lys	1.27±0.09 ^a	1.46±0.05 ^b	1.36±0.11 ^{ab}
	蛋氨酸 Met	0.40±0.02 ^a	0.46±0.04 ^a	0.43±0.08 ^a
	苯丙氨酸 Phe	0.57±0.05 ^a	0.60±0.04 ^a	0.54±0.07 ^a
	缬氨酸 Val	0.57±0.04 ^a	0.64±0.03 ^a	0.58±0.08 ^a
	亮氨酸 Leu	1.10±0.07 ^a	1.26±0.04 ^b	1.16±0.11 ^{ab}
	异亮氨酸 Ile	0.68±0.06 ^a	0.78±0.03 ^b	0.71±0.09 ^{ab}
	苏氨酸 Thr	0.58±0.04 ^a	0.52±0.26 ^a	0.58±0.09 ^a
半必需氨基酸 SEAA	精氨酸 Arg	0.98±0.07 ^a	1.07±0.03 ^a	1.05±0.07 ^a
	组氨酸 His	0.76±0.10 ^a	0.85±0.05 ^a	0.77±0.03 ^a
非必需氨基酸 NEAA	甘氨酸 Gly*	0.99±0.15 ^{ab}	0.87±0.02 ^a	1.06±0.15 ^b
	丙氨酸 Ala*	1.07±0.11 ^a	1.10±0.03 ^{ab}	1.18±0.07 ^b
	天门冬氨酸 Asp**	1.35±0.07 ^a	1.52±0.08 ^a	1.40±0.21 ^a
	谷氨酸 Glu**	1.91±0.14 ^a	2.19±0.20 ^a	1.95±0.55 ^a
	丝氨酸 Ser	0.54±0.02 ^a	0.59±0.04 ^a	0.52±0.15 ^a
	酪氨酸 Tyr	0.05±0.05 ^a	0.05±0.03 ^a	0.17±0.20 ^a
必需氨基酸总量 Σ EAA		5.17±0.27 ^a	5.71±0.42 ^a	5.37±0.63 ^a
半必需氨基酸总量 Σ SEAA		1.75±0.15 ^a	1.91±0.03 ^b	1.82±0.10 ^{ab}
非必需氨基酸总量 Σ NEAA		5.91±0.14 ^a	6.33±0.29 ^a	6.29±1.06 ^a
呈味氨基酸总量 Σ FAA		5.32±0.15 ^a	5.69±0.26 ^a	5.60±0.85 ^a
水解氨基酸总量 Σ TAA		12.83±0.52 ^a	13.96±0.70 ^a	13.48±1.74 ^a

注: *呈甘味的呈味氨基酸; **呈鲜味的呈味氨基酸

1978)相符, 并为三者中 M₃ 背肌最为发达(图 1, 图 2)且仅其肌肉中蛋白质含量高于脂肪含量(表 3)的结果提供了佐证。无疑, 本研究从肌肉营养组成角度再次验证了 M₁、M₃ 针对各自营养供应状况而依次采取“饱食寡动型”和“寡食追逐型”摄食对策的可靠性。另, M₂ 养殖模式日本鳗鲡养成品肌肉中水分和蛋白质含量均显著低于 M₁ 和 M₃, 灰分含量介于 M₁ 和 M₃ 之间, 以及脂肪含量与 M₁ 相仿的情形(表 3), 与 M₂ 扭躯运动较 M₁ 更为频繁, 致使其背部纵肌肌束纤维排列较 M₁ 更显整齐(图 1)的结果相呼应, 进一步支持了 M₂ 养殖模式日本鳗鲡采取积极动员蓄积于体内的多余脂肪, 持续供应肌肉能量代谢所需, 并以此固化高频度追捕池养日本沼虾的摄食对策的观点(王志铮等, 2013)。

据报道, 高水分含量和高脂肪含量会降低鱼肉的机械强度(Dunajski, 1979; Hatae *et al*, 1990)。本研究中肌肉水分、脂肪和蛋白质含量依次呈 M₃>M₁> M₂ (P<0.05)、M₁≈M₂>M₃ 和 M₁≈M₃>M₂ (表 3), 背肌肌束纤维致密程度呈 M₃>M₁≈M₂ (图 1, 图 2), 而肌肉

硬度呈 M₃>M₁≈M₂ (表 2)的结果则表明日本鳗鲡肌肉脂肪含量和肌束纤维致密程度对硬度的影响较水分含量更具重要性, 这既与青鱼(*Clupea harengus*)肌肉的硬度与脂肪含量成反比(Nielsen *et al*, 2005)和鳊鱼(*Siniperca chuatsi*)肌肉脂肪含量与肌肉硬度呈负相关(李文倩等, 2010)的结果相仿, 也与鱼肉硬度随着肌肉中肌纤维直径的变小和单位面积肌纤维密度的增大而增大的结论(Hatae *et al*, 1990; Hurling *et al*, 1996; Periago *et al*, 2005; 林婉玲等, 2009)相吻, 同时也呼应了高胶原蛋白含量可增强鱼肉机械强度(Fauconneau *et al*, 1995; Johnston *et al*, 2000)的观点。至于日本鳗鲡肌肉粘着性、咀嚼性、弹性和回复性等其它质构指标值与肌肉营养成分和肌纤维致密程度间的相关性则有待进一步研究。

本研究中 M₁、M₂、M₃ 间脂肪酸食用营养价值迥异的结果(表 4), 与花鲢、中华鲟幼鱼、鳊鱼(*Elopi-chthys bambusa*)、花羔红点鲑(*Salvelinus malma*)等鱼类野生个体与人工养殖个体肌肉中多不饱和脂肪酸组成及含量间存在显著差异的情形(陈建明等, 2007;

宋超等, 2007; 黄权等, 2010; 戴阳军等, 2012)相似, 这可能与不同生长条件的鱼具不同生活环境、摄食背景、生长率及食物的脂质组成有关(Kaushik, 1995; Steffens, 1997); 而 M_1 、 M_2 、 M_3 间肌肉氨基酸食用营养价值均相近的结果(表 5), 与花鲢、光唇鱼(*Acrossocheilus fasciatus*)、黑鲟(*Sparus macrocephalus*)等鱼类野生个体与人工养殖个体肌肉氨基酸组成及含量间几无差异(陈建明等, 2007; 方富永等, 2012; 俞寅寅等, 2012)的情形基本一致的原因, 则可能是部分鱼类肌肉氨基酸组成及含量对不同生活环境、摄食背景、生长率及食物营养供应状况的改变不甚灵敏所致。

参 考 文 献

- 王 武, 2000. 鱼类增殖学. 北京: 中国农业出版社, 481
- 王志铮, 杨 磊, 朱卫东, 2012. 三种养殖模式下日本鳗鲡养成品的形质差异. 应用生态学报, 23(5): 1385—1392
- 王志铮, 赵 晶, 杨 磊等, 2013. 三种养殖模式下日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)养成品血清生化指标和脏器消化酶、抗氧化酶活力的差异. 海洋与湖沼, 44(2): 403—408
- 方富永, 苗艳丽, 梁文莉等, 2012. 野生与养殖黑鲟肌肉营养成分及品质的比较. 营养学报, 34(3): 286—288
- 邓时铭, 廖伏初, 蒋国民等, 2011. 影响养殖过程中水产动物肉质的主要因素. 动物营养学报, 23(1): 15—19
- 刘金海, 王安利, 王维娜等, 2002. 水产动物体色色素组分及着色剂研究进展. 动物学杂志, 37(3): 92—96
- 刘建平, 2005. 七彩鲑鱼养殖技术——特征、习性及其饲养经验. 中国水产, (2): 83—84
- 李文倩, 李小勤, 冷向军等, 2010. 鳊鱼肌肉品质评价的初步研究. 食品工业科技, 31(9): 114—117
- 冷向军, 李小勤, 韦友传等, 2003. 饲料中添加叶黄素对胡子鲶体色的影响. 水产学报, 27(1): 38—42
- 宋 超, 庄 平, 章龙珍等, 2007. 野生及人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的比较. 动物学报, 53(3): 502—510
- 陈建明, 叶金云, 沈斌乾等, 2007. 野生和池塘养殖花鲢肌肉营养组成的比较分析. 上海水产大学学报, 16(1): 87—91
- 林郁葱, 龚 媛, 龚世园等, 2011. 野生和人工养殖胭脂鱼肌肉营养成分的比较. 淡水渔业, 41(6): 70—75
- 林婉玲, 关 熔, 曾庆孝等, 2009. 影响脆肉鲩鱼背肌质构特性的因素. 华南理工大学学报(自然科学版), 37(4): 134—137
- 俞寅寅, 周健博, 张玉明等, 2012. 野生与养殖光唇鱼肌肉营养组成与评价. 水产科学, 31(4): 207—210
- 高露姣, 黄艳青, 夏连军等, 2011. 不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较. 水产学报, 35(11): 1668—1676
- 唐 雪, 徐钢春, 徐 跑等, 2011a. 野生与养殖刀鲚肌肉营养成分的比较分析. 动物营养学报, 23(3): 514—520
- 唐 雪, 季 雪, 代 卉等, 2011b. 野生与池养刀鲚肌肉品质特性及抗氧化性的比较分析. 食品工业科技, 32(12): 193—300
- 黄 权, 孙晓雨, 谢从新, 2010. 野生与养殖花羔红点鲑肌肉营养成分的比较分析. 华南农业大学学报, 31(1): 75—78
- 戴阳军, 刘峥兆, 王雪峰等, 2012. 野生与养殖鳊鱼肌肉的营养成分比较. 食品科学, 33(17): 258—262
- 勃朗 M E 编著, 费鸿年译, 1963. 鱼类生理学(下册). 北京: 科学出版社, 415
- Dunajski E, 1979. Texture of fish muscle. Journal of Texture Studies, 10(4): 301—318
- Fauconneau B, Alami-Durante H, Laroche M *et al*, 1995. Growth and meat quality relations in carp. Aquaculture, 129(2): 265—297
- Fu S J, Cao Z D, Peng J L, 2007. Effect of feeding and fasting on excess postexercise oxygen consumption in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 146: 435—439
- Hatae K, Yoshimatsu F, Matsumoto J J, 1990. Role of muscle fibers in contributing firmness of cooked fish. Journal of Food Science, 55(3): 693—696
- Hicks J W, Bennett A F, 2004. Eat and run: Prioritization of oxygen delivery during elevated metabolic states. Respiratory Physiology & Neurobiology, 144: 215—224
- Hurling R, Rodell J B, Hunt H D, 1996. Fibre diameter and fish texture. Journal of Texture Studies, 27(6): 679—685
- Kaushik S J, 1995. Nutrient requirements, supply and utilization in context of carp culture. Aquaculture, 129: 225—241
- Kutty M N, 1978. Ammonia quotient in Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). J Fish Res Board Can, 35: 1003—1005
- Nielsen D, Hyldig G, Nielsen J *et al*, 2005. Liquid holding capacity and instrumental and sensory texture properties of herring (*Clupea harengus* L.) related to biological and chemical parameters. Journal of Texture Studies, 36(2): 119—138
- Park J N, Watanabe T, Endoh K I *et al*, 2002. Taste-active components in a Vietnamese fish sauce. Fish Science, 68: 912—920
- Periago M J, Ayala M D, López-Albors O, 2005. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. Aquaculture, 249: 175—188
- Steffens W, 1997. Effects of variation in essential fatty acids in fish feeds on nutritive value of freshwater fish for humans. Aquaculture, 151: 97—119
- Stiding H P, 1976. Effects of experimental feeding and starvation on the proximate composition of the European bass, *Picentrarchus labrax*. Marine Biology, 34: 85—91
- van der Salm A L, Spanings F A T, Gresnigt R *et al*, 2005. Background adaptation and water acidification affect pigmentation and stress physiology of tilapia, *Oreochromis mossambicus*. General and Comparative Endocrinology, 144(1): 51—59

VARIATIONS IN BODY COLOR AND FLESH QUALITY OF *ANGUILLA JAPONICA* POPULATIONS IN DIFFERENT CULTURE MODELS

WANG Zhi-Zheng¹, FU Ying-Jie¹, YANG Lie¹, ZHU Wei-Dong²,

CHEN Han-Chun³, SHEN Tu-Yan², HUA Jian-Quan³

(1. Fishery College of Zhejiang Ocean University, Zhoushan, 316004; 2. Fishery Technology Extension Center of Yuyao, Yuyao, 315400; 3. Fishery Technology Extension Center of Cixi, Cixi, 315300)

Abstract *Anguilla japonica* in snout-vent lengths of (25.91 ± 3.26) cm were randomly selected as research materials from three cultured populations, namely pond monoculture (M_1), pond polyculture (M_2) with *Macrobrachium nipponense*, and reservoir culture (M_3). The differences of three populations in epidermal chromatism, physical characteristics of dorsal muscle, and nutritive composition in muscle were studied. The results are as follows: (1) The epidermal chromatism between M_1 and M_2 , M_1 and M_3 were significantly different ($P < 0.05$). The degree of variance in body color between dorsal and abdomen in M_1 , M_2 and M_3 showed an increasing trend ($P < 0.05$). (2) Gumminess, springiness, and resilience were good indicators of physical characteristics of dorsal muscle. The dorsal muscles of M_3 was the best, and those of longitudinal muscle of M_1 was more irregular than that of M_2 . (3) The moisture and ash content in muscle were significantly different, in the orders of $M_3 > M_1 > M_2$ ($P < 0.05$) and $M_3 > M_2 > M_1$ ($P < 0.05$), respectively. Only for M_3 , the muscle protein content is greater than intramuscular fat content. (4) The composition of fatty acid and amino acid in the three groups were the same, and their orders and contents were consistent in overall. However, differences in the contents of unsaturated fatty acids was notable.

Key words *Anguilla japonica*; aquaculture model; body color; muscle quality