

不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉营养成分分析与评价

颜孙安^{1,2}, 姚清华^{1,2}, 林香信^{1,2}, 胡兵³, 林虬^{1,2*}

- (1. 农业部农产品质量安全风险评估实验室(福州), 福州 350003;
2. 福建省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所/福建省精密仪器农业测试重点实验室, 福州 350003;
3. 福建省特种水产配合饲料重点实验室, 福清 350308)

摘要: **目的** 分析评价不同密度养殖瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)肌肉的营养品质。**方法** 采用国家标准的方法, 对瓦氏黄颡鱼肌肉的营养成分进行分析。**结果** 高密度(40、60、80尾/m³)养殖瓦氏黄颡鱼肌肉的粗蛋白含量显著高于低密度组(20尾/m³), 而粗脂肪含量、能值和E/P值却相反。60尾/m³养殖瓦氏黄颡鱼肌肉的呈味氨基酸、必需氨基酸、氨基酸总量、EAAI值及E/T、E/N值均高于其他组。60尾/m³瓦氏黄颡鱼肌肉的顺式亚油酸相对含量、 α -亚麻酸相对含量、EPA+DHA相对含量、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸及必需脂肪酸总量均高于其他组。**结论** 瓦氏黄颡鱼养殖密度在60尾/m³时肌肉的必需氨基酸构成比例均衡, 不饱和脂肪酸含量丰富, 营养价值最高。本研究为瓦氏黄颡鱼高密度集约化养殖提供了参考依据。

关键词: 瓦氏黄颡鱼; 养殖密度; 肌肉; 营养成分

Analysis and evaluation of nutritional component of *Pelteobagrus vachelli* cultured with different stocking density

YAN Sun-An^{1,2}, YAO Qing-Hua^{1,2}, LIN Xiang-Xin^{1,2}, HU Bing³, LIN Qiu^{1,2*}

- (1. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agro-products, Ministry of Agriculture, Fuzhou 350003, China;
2. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology Research, Fujian Academy of Agricultural Science s/Fujian Key Laboratory of Precision Measurement of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China;
3. Fujian Province Key Laboratory of Special Aquatic Formula Feed, Fuqing 350308, China)

ABSTRACT: Objective To analyze and evaluate the nutrient component of *Pelteobagrus vachelli* by different stocking density. **Methods** According to national standards, the nutrition components of the muscles of *Pelteobagrus vachelli* were analyzed. **Results** The crude protein content of muscles in the high-density (40, 60, 80 fish/m³) cultured *Pelteobagrus vachelli* was significantly higher than that in the low-density group (20 fish/m³), while the crude fat content, energy value and E/P value were opposite. The content of flavor amino acid, essential amino acid, total amino acid, EAAI, E/T, E/N in muscle of 60/m³ breeding *Pelteobagrus vachelli* were higher than other groups. The relative amount of cis linoleic acid, α -linolenic acid, EPA and DHA, MUFA, PUFA, essential fatty acid in muscle of

基金项目: 福建省属公益类重点项目(2016R1024-4)、福建省农业科学院农产品质量安全创新团队项目(STIT2017-1-12)、福建省特种水产配合饲料重点实验室开放基金项目(TMKJZ1702)

Fund: Supported by Project of the Public Welfare Project of Fujian Province (2016R1024-4), Innovation Team Project of Fujian Academy of Agricultural Sciences (STIT2017-1-12) and Open Fund of Fujian Province Key Laboratory of Special Aquatic Formula Feed (TMKJZ1702)

***通讯作者:** 林虬, 研究员, 主要研究方向为农产品营养与质量安全。E-mail: linqiu3163@163.com

***Corresponding author:** LIN Qiu, Professor, Institute of Quality Standards and Testing Technology, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China. E-mail: linqiu3163@163.com

60 fish/m³ breeding *Pelteobagrus vachelli* were all higher than those in other groups. **Conclusion** When the culture density is 60 fish/m³, the proportion of essential amino acids in muscles is balanced, and the content of unsaturated fatty acids is rich, with the highest nutritional value. This study provides a reference for the intensive high-density culture of *Pelteobagrus vachelli*.

KEY WORDS: *Pelteobagrus vachelli*; stocking density; muscle; nutrient component

1 引言

瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*), 俗称江黄颡、黄姑鱼、青楞子等, 隶属于鲇形目(Siluriformes), 鲿科(Bagridae), 黄颡鱼属(*Pelteobagrus*), 是该属中个体最大、生长最快的种类, 广布于长江、黄河、珠江和淮河等水系, 是小型名优淡水鱼类^[1-3]。瓦氏黄颡鱼肉质细嫩, 味道鲜美, 肌间刺少, 具高蛋白、低脂肪的营养特点, 深受消费者喜爱, 有较高的经济价值及广阔的养殖前景。

为了提高养殖产量、降低养殖成本, 生产者常尽可能加大鱼类放养密度。但过大养殖密度易加剧鱼类对水域空间、食物资源的竞争, 产生拥挤胁迫和饥饿胁迫, 导致鱼体代谢、贮存物质消耗、免疫防御能力、肌肉品质等的改变^[4-6]。因此, 探索养殖密度对鱼体肌肉营养成分的影响, 可为鱼类养殖密度的合理设置提供理论参考。

目前, 有关野生与人工养殖瓦氏黄颡鱼肌肉营养成分^[7,8]的研究有一定的报道, 但关于养殖密度对瓦氏黄颡鱼肌肉营养成分影响的研究尚未见报道。本研究探索了幼鱼在适应拥挤胁迫的肌肉营养成分变化规律, 并对其营养价值进行评价, 旨在为瓦氏黄颡鱼的高密度集约化养殖提供必要的参考依据。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

2.1.1 实验对象、投喂饲料及饲养管理

(1) 实验用鱼; 瓦氏黄颡鱼购自福建莆田天下鱼庄养殖场, 外观正常、体格均匀健壮, 体重(25.23±0.09) g。

(2) 实验用水; 实验期间, 水温控制在 26~28 °C, pH 7.5~8.0, 溶解氧(dissolved oxygen, DO) 4~6 mg/L, 符合国家渔业用水标准。

(3) 投喂饲料; 福建正源饲料有限公司生产的黄颡鱼幼鱼配合饲料(营养参数; 粗蛋白质≥38.0%, 赖氨酸≥1.9%, 粗脂肪≥3.5%, 粗纤维≤4.0%, 粗灰分≤16.0%, 食盐≤3.0%, 水分≤10%)。

(4) 饲养管理; 实验在全封闭水循环系统中进行, 实验用鱼经聚维酮碘消毒处理后, 暂养 14 d。养殖试验设置 4 个密度梯度, 初始密度分别为 CD1(20 尾/m³、0.50 kg/m), CD2(40 尾/m³、1.01 kg/m³), CD3(60 尾/m³、1.51 kg/m³),

CD4(80 尾/m³、2.02 kg/m³), 每个密度设 3 个平行, 组间体重差异不显著($P > 0.05$)。实验过程采用饱食投喂方式进行, 每日分别于 9:00 和 18:00 投喂, 1 h 后虹吸去污, 清除残饵及死苗, 称重记录。实验周期 60 d。

2.1.2 试剂

柠檬酸、柠檬酸钠、氯化钠、氢氧化钠、无水乙醇、盐酸(优级纯, 上海国药集团试剂有限公司); 乙二醇甲醚、醋酸钠、茚三酮、苯甲醇、冰醋酸、乙醚、硫酸(分析纯, 上海国药集团试剂有限公司); 混合氨基酸标准品(纯度均大于 99%, 美国 Sigma 公司); 37 种脂肪酸甲酯标准品(纯度均大于 98%, 美国 Supelco 公司)。

2.2 仪器与设备

L-8800 型氨基酸自动分析仪(日本 HITACHI 公司); GC-2010 Pro-气相色谱仪(日本 SHIMADZU 公司); Kjeltac 2300 型全自动凯氏定氮仪(瑞典 FOSS TECATOR 公司); AB204-S 型电子分析天平(瑞士 METTLER TOLEDO 公司); DHG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); HH 系列数显恒温水浴锅(上海江星仪器有限公司)。

2.3 实验方法

实验结束后, 停食 24 h 后取样。每个池中随机抽取 5 尾鱼立即放入浓度为 200 mg/L 的三卡因甲基磺酸盐(MS-222)水中进行麻醉, 沿着脊椎骨将两边鱼肉取下, 混合作为 1 个平行样品, 用组织捣碎机捣碎后, 待测。每个密度组共 3 个平行。

水分的测定: GB 5009.3-2016 恒温(105 °C)烘干失重法^[9]; 蛋白质的测定: GB 5009.5-2016 凯氏定氮法^[10]; 脂肪的测定: GB 5009.6-2016 索氏(无水乙醚)提取法^[11]; 灰分的测定: GB 5009.4-2016 马弗炉(550 °C)灰化法^[12]; 纤维的测定: GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定^[13];

氨基酸的测定: GB 5009.124-2016 盐酸酸解法^[14]、GB/T 18246-2000 氢氧化锂碱解法和氧化酸解法^[15];

脂肪酸的测定: GB 5009.168-2016 气相色谱法和峰面积归一化法^[16]。

2.4 营养评价法

能量的评价按 Brett 法^[17]以每克蛋白质能值为 23.64 kJ, 每克脂质为 39.54 kJ 和每克糖类为 17.15 kJ 计算肌肉的能值(蛋白质、脂质及糖类的含量与各自单位能量的乘积之和

同肌肉重量的比值)和 E/P 值(能值与蛋白质含量的比值)。

根据鸡蛋蛋白评分标准模式和 1973 年 WHO/FAO 建议的每克氨基酸评分标准模式按以下公式计算必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)^[18-20]。

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{Lys^p}{Lys^s} \times \frac{Leu^p}{Leu^s} \times \dots \times \frac{Trp^p}{Trp^s}} \times 100$$

式中: N 为每克氮中氨基酸的毫克数(肌肉氨基酸含量 $\times 62.5$ /肌肉蛋白质的百分含量), mg/g; Lys 为赖氨酸; Leu 为亮氨酸; Trp 为色氨酸; p 为待测蛋白; s 为鸡蛋蛋白。

2.5 数据处理与分析

实验结果用 EXCEL 和 SPSS 17.0 软件进行统计分析, 利用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验养殖密度对瓦氏黄颡鱼营养成分含量的显著性, 以 $P < 0.05$ 表示显著性差异, 以平均值 \pm 标准差(mean \pm SD)表示结果。

3 结果与分析

3.1 瓦氏黄颡鱼肌肉一般营养成分分析

不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉中一般营养成分的含量和能值见表 1。统计结果表明, CD1 组的粗蛋白质显著低于其他组($P < 0.05$); CD1 组的粗脂肪、能值和 E/P 显著高于其他组($P < 0.05$); CD3 组的粗纤维显著低于其他组($P < 0.05$); CD2 组、CD3 组的无氮浸出物显著低于 CD1 组、CD4 组($P < 0.05$); 水分、粗灰分组间差异不显著($P > 0.05$)。

表 1 不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉中一般营养成分的含量(鲜样, $n=3$, g/100 g)

Table 1 General nutritional components in muscle of *Pelteobagrus vachelli* at different culture density (wet weight, $n=3$, g/100 g)

营养成分	养殖密度			
	CD1	CD2	CD3	CD4
水分	71.48 \pm 0.23	71.73 \pm 0.37	71.75 \pm 0.22	71.52 \pm 0.10
粗蛋白质	16.34 \pm 0.05 ^a	16.70 \pm 0.07 ^b	16.77 \pm 0.08 ^b	16.79 \pm 0.11 ^b
粗脂肪	9.48 \pm 0.04 ^a	9.02 \pm 0.18 ^b	8.96 \pm 0.05 ^b	8.86 \pm 0.13 ^b
粗灰分	1.61 \pm 0.04	1.60 \pm 0.02	1.64 \pm 0.01	1.65 \pm 0.04
粗纤维	0.37 \pm 0.02 ^a	0.40 \pm 0.02 ^a	0.33 \pm 0.02 ^b	0.39 \pm 0.02 ^a
无氮浸出物	0.72 \pm 0.06 ^a	0.55 \pm 0.03 ^b	0.55 \pm 0.03 ^b	0.79 \pm 0.03 ^a
能值/(kJ/g)	7.73 \pm 0.02 ^a	7.61 \pm 0.03 ^b	7.60 \pm 0.04 ^b	7.61 \pm 0.03 ^b
E/P /(kJ/g)	47.34 \pm 0.23 ^a	45.56 \pm 0.06 ^b	45.33 \pm 0.10 ^b	45.31 \pm 0.19 ^b

注: 同一行不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。无氮浸出物 = 100 - 水分 - 粗蛋白质 - 粗脂肪 - 粗灰分 - 粗纤维。

3.2 瓦氏黄颡鱼肌肉氨基酸组成分析

3.2.1 氨基酸种类及含量分析

不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉中蛋白氨基酸的含量及组成如表 2 示, 瓦氏黄颡鱼肌肉蛋白氨基酸组成特征与多数水产品类似^[22-24], 至少含有 18 种氨基酸, 其中含 8 种

人体必需氨基酸、2 种儿童必需氨基酸, 含量最高的是谷氨酸, 最低的是胱氨酸。

统计结果表明, CD3 组的赖氨酸含量显著高于其他组($P < 0.05$); CD3 组、CD4 组的天门冬氨酸、甘氨酸、必需氨基酸和氨基酸总量显著高于 CD1 组、CD2 组($P < 0.05$), 以 CD3 组的各指标为最高; CD1 组的呈味氨基酸、非必需氨基酸和儿童必需氨基酸总量显著低于其他组($P < 0.05$), 以 CD3 组的各指标为最佳; 其他单个氨基酸含量和呈味氨基酸占氨基酸总量的比例, 组间差异均不显著($P > 0.05$)。可见, 养殖密度对瓦氏黄颡鱼肌肉蛋白中部分氨基酸含量和氨基酸总量有一定的影响, 而对呈味氨基酸在氨基酸中的比例无影响。

3.2.2 必需氨基酸营养价值评价

在不考虑食物蛋白质消化率的条件下, 食物蛋白质营养价值高低的最重要评判标准是必需氨基酸的含量及其构成比例^[21]。而鸡蛋蛋白是已知营养价值最好的蛋白质, 因此在评价某一食品蛋白质营养价值时, 常以其作为评分标准^[17]。从表 2 可知, CD3 组的 E/T 、 E/N 值显著高于其他组($P < 0.05$), 高于 FAO/WHO 提出理想蛋白质的标准(E/T 在 40% 左右, E/N 在 0.60 以上)^[18]; 瓦氏黄颡鱼肌肉蛋白的 EAAI 值均大于 80%, CD3 组高于其他组。可见, 瓦氏黄颡鱼肌肉蛋白中必需氨基酸含量丰富, 构成比例均衡, 营养价值较高。

3.3 瓦氏黄颡鱼肌肉脂肪酸组成分析

不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉脂肪酸的种类及相对含量见表 3。瓦氏黄颡鱼肌肉均检测到 3 种饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA), 3 种单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA), 4 种多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA), 其中, 包括 3 种高不饱和脂肪酸(highly unsaturated fatty acid, HUFA), 其中 Σ MUFA $>$ Σ SFA $>$ Σ PUFA。从单个脂肪酸相对含量来看, 瓦氏黄颡鱼肌肉的顺式油酸(C18:1n9c)相对含量最高, 其次为棕榈酸(C16:0)、顺式亚油酸(C18:2n6c)、棕榈油酸(C16:1)、DHA(C22:6n3)和硬脂酸(C18:0), 与乌鳢、鲑鱼、光唇鱼等水产品的脂肪酸组成特征基本一致^[25-27]。

统计结果表明, CD1 组、CD3 组的棕榈油酸(C16:1)相对含量与 CD2 组、CD4 组存在显著性差异($P < 0.05$); CD3 组的顺式油酸(C18:1n9c)相对含量显著高于 CD1 组、CD2 组和 CD4 组($P < 0.05$); CD3 组的顺式亚油酸(C18:2n6c)相对含量、 α -亚麻酸(C18:3n3)相对含量、 Σ MUFA、 Σ PUFA、必需脂肪酸总量(Σ EFA)和 Σ (n-6)PUFA 显著高于其他组($P < 0.05$); CD3 组、CD4 组的 DHA(C22:6n3)相对含量、 Σ HUFA 和 EPA+DHA 显著高于 CD1 组、CD2 组($P < 0.05$); 其他脂肪酸相对含量、 Σ SFA 和 Σ (n-3)PUFA, 组间差异均不显著($P > 0.05$)。可见, 投喂同一饵料, 不同的养殖密度对瓦氏黄颡鱼肌肉的部分脂肪酸相对含量和不饱和脂肪酸总量有一定的影响, 而对饱和脂肪酸总量无影响。

表 2 不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉中氨基酸含量及组成(鲜样, $n=3$, g/100 g)^[21]Table 2 Amino acid contents and composition in muscle of *Pelteobagrus vachelli* at different culture density (wet weight, $n=3$, g/100 g)^[21]

氨基酸	养殖密度			
	CD1	CD2	CD3	CD4
异亮氨酸 Ile*	0.70±0.01	0.71±0.03	0.73±0.01	0.71±0.02
亮氨酸 Leu*	1.28±0.01	1.29±0.03	1.33±0.05	1.30±0.03
赖氨酸 Lys*	1.54±0.03 ^a	1.56±0.03 ^a	1.61±0.04 ^b	1.58±0.03 ^a
胱氨酸 Cys [#]	0.11±0.02	0.13±0.01	0.13±0.01	0.11±0.01
蛋氨酸 Met*	0.25±0.02	0.26±0.02	0.28±0.01	0.28±0.01
酪氨酸 Tyr [#]	0.53±0.02	0.54±0.02	0.53±0.02	0.53±0.01
苯丙氨酸 Phe*	0.72±0.01	0.73±0.02	0.74±0.02	0.74±0.01
苏氨酸 Thr*	0.77±0.02	0.77±0.01	0.79±0.01	0.78±0.01
色氨酸 Trp*	0.22±0.01	0.22±0.01	0.24±0.01	0.23±0.01
缬氨酸 Val*	0.78±0.01	0.79±0.03	0.81±0.02	0.81±0.02
组氨酸 His ^{#△}	0.35±0.02	0.36±0.02	0.37±0.02	0.36±0.03
精氨酸 Arg ^{#△•}	0.96±0.01	0.99±0.03	0.99±0.02	0.98±0.03
天门冬氨酸 Asp ^{#•}	1.70±0.02 ^a	1.73±0.04 ^a	1.77±0.02 ^b	1.76±0.03 ^b
丝氨酸 Ser [#]	0.70±0.01	0.71±0.02	0.72±0.01	0.72±0.01
谷氨酸 Glu ^{#•}	2.52±0.04	2.54±0.05	2.57±0.05	2.55±0.05
脯氨酸 Pro [#]	0.58±0.01	0.59±0.01	0.59±0.01	0.60±0.02
丙氨酸 Ala ^{#•}	0.96±0.03	0.99±0.02	0.98±0.00	1.01±0.04
甘氨酸 Gly ^{#•}	0.88±0.02 ^a	0.90±0.01 ^a	0.93±0.01 ^b	0.94±0.01 ^b
必需氨基酸总量 Σ EAA	6.26±0.03 ^a	6.33±0.07 ^a	6.53±0.09 ^b	6.43±0.00 ^b
非必需氨基酸总量 Σ NEAA	9.29±0.10 ^a	9.48±0.14 ^b	9.58±0.03 ^b	9.56±0.08 ^b
儿童必需氨基酸总量 Σ C	1.31±0.01 ^a	1.35±0.01 ^b	1.36±0.01 ^b	1.34±0.01 ^b
氨基酸总量 TAA	15.55±0.08 ^a	15.81±0.06 ^b	16.11±0.08 ^c	15.99±0.09 ^c
呈味氨基酸总量 Σ DAA	7.02±0.05 ^a	7.15±0.04 ^b	7.24±0.03 ^b	7.24±0.07 ^b
Σ DAA/TAA/%	45.14±0.26	45.22±0.17	44.94±0.18	45.28±0.30
E/T/%	44.37±0.22 ^a	44.28±0.23 ^a	44.63±0.20 ^b	44.22±0.22 ^a
E/N/%	79.77±0.71 ^a	79.46±0.73 ^a	80.61±0.84 ^b	79.26±0.71 ^a
EAAI/%	80.35	80.03	82.47	80.68

注: *表示必需氨基酸; #表示非必需氨基酸; △表示儿童必需氨基酸; •表示呈味氨基酸; E/T表示必需氨基酸总量/氨基酸总量; E/N表示必需氨基酸总量/非必需氨基酸总量。

表 3 不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉脂肪酸种类及相对含量(鲜样, $n=3$, %)Table 3 Fatty acid composition and relative content in muscle of *Pelteobagrus vachelli* at different culture density (wet weight, $n=3$, %)

脂肪酸	养殖密度			
	CD1	CD2	CD3	CD4
肉豆蔻酸(C14:0)*	1.6±0.1	1.7±0.1	1.6±0.1	1.6±0.1
棕榈酸(C16:0)*	18.3±0.2	18.4±0.1	18.3±0.2	18.2±0.2
硬脂酸(C18:0)*	4.6±0.1	4.4±0.2	4.5±0.1	4.5±0.1

续表 3

脂肪酸	养殖密度			
	CD1	CD2	CD3	CD4
棕榈油酸(C16:1) [△]	6.0±0.1 ^a	6.2±0.1 ^b	6.0±0.1 ^a	5.4±0.1 ^c
顺式油酸(C18:1n9c) [△]	41.0±0.3 ^a	41.1±0.3 ^a	42.8±0.3 ^b	41.9±0.4 ^c
顺-11-二十碳烯酸(C20:1n9c) [△]	1.7±0.1	1.8±0.1	1.9±0.1	1.9±0.1
顺式亚油酸(C18:2n6c) ^{※#○}	12.4±0.2 ^a	12.1±0.2 ^a	11.2±0.2 ^b	12.0±0.1 ^a
α-亚麻酸(C18:3n3) ^{※#●}	1.6±0.1 ^a	1.5±0.1 ^a	1.2±0.1 ^b	1.6±0.1 ^a
EPA(C20:5n3) ^{※#●}	1.3±0.1	1.2±0.1	1.3±0.1	1.2±0.1
DHA(C22:6n3) ^{※#●}	4.6±0.1 ^a	4.6±0.0 ^a	5.0±0.1 ^b	4.9±0.2 ^b
其他	6.9±0.1 ^a	7.0±0.2 ^a	6.2±0.0 ^b	6.8±0.2 ^a
饱和脂肪酸总量 ΣSFA	24.5±0.2	24.5±0.2	24.4±0.1	24.3±0.3
单不饱和脂肪酸总量 ΣMUFA	48.7±0.3 ^a	49.1±0.3 ^a	50.7±0.3 ^b	49.2±0.4 ^a
多不饱和脂肪酸总量 ΣPUFA	19.9±0.3 ^a	19.4±0.0 ^a	18.7±0.3 ^b	19.7±0.2 ^a
高不饱和脂肪酸总量 ΣHUFA	5.9±0.2 ^a	5.8±0.1 ^a	6.3±0.0 ^b	6.1±0.1 ^b
必需脂肪酸总量 ΣEFA	14.0±0.1 ^a	13.6±0.1 ^a	12.4±0.3 ^b	13.6±0.1 ^a
EPA+DHA	5.9±0.2 ^a	5.8±0.1 ^a	6.3±0.0 ^b	6.1±0.1 ^b
不饱和脂肪酸总量(ΣUSFA)/ΣSFA	2.8	2.8	2.8	2.8
(n-6)系多饱和脂肪酸总量 Σ(n-6)PUFA	12.4±0.2 ^a	12.1±0.2 ^a	11.2±0.2 ^b	12.0±0.1 ^a
(n-3)系多饱和脂肪酸总量 Σ(n-3)PUFA	7.5±0.1	7.3±0.2	7.5±0.1	7.7±0.1
Σ(n-6)PUFA/Σ(n-3)PUFA	1.7	1.7	1.5	1.6

注: *饱和脂肪酸; △ 单不饱和脂肪酸; ※ 多不饱和脂肪酸; #必需脂肪酸; ○(n-6)系多饱和脂肪酸; ●(n-3)系多饱和脂肪酸; ☆ 高不饱和脂肪酸。

4 讨论

4.1 瓦氏黄颡鱼肌肉一般营养成分比较

一般营养成分是评价鱼肉营养价值的最主要指标, 其中蛋白质和脂类含量决定了能值和 E/P 的大小^[28]。本研究结果表明, 不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉一般营养成分中, 粗蛋白质 $\geq 16.34 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 相对较低, 粗脂肪 $\geq 8.86 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 明显偏高, 以致于能值 $\geq 7.60 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $E/P \geq 45.31 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 远高于豹纹鳃棘鲈^[29]、龙虎斑鱼^[30]; 脂肪与水分含量成反比, 二者之和约占总组分的 80%, 与 Petiogo 等^[31]和 Testi 等^[32]研究结果相一致; 脂肪含量与鱼类的肉质及其烹饪后的香味、多汁性、柔软程度显著相关, 由此可知, 黄颡鱼肉质味道较鲜美、更柔软多汁, 符合人们对鲮科鱼类的认识。本研究统计结果表明, CD1 组的粗脂肪含量、能值和 E/P 均显著高于其他组 ($P < 0.05$), 其他组的各指标随密度增大而下降, 但无显著性差异 ($P > 0.05$), 而粗蛋白质含量恰相反, 与亓成龙^[33]研究结果相一致。对于造成这一现象的原因, 主要可能是高养殖密度造成了鱼体内大量的能量消耗, 进而需要分解体内的脂肪以进行能量动员抵抗外界刺激。

4.2 瓦氏黄颡鱼肌肉氨基酸组成及其营养价值比较

氨基酸的组成及含量是衡量蛋白质品质优劣的重要指标, 其中必需氨基酸的含量及构成比例决定了蛋白质营养价值的高低^[34]。本研究结果表明, 从瓦氏黄颡鱼肌肉蛋白质氨基酸组成的特点上看, 谷氨酸(Glu)、天门冬氨酸(Asp)和赖氨酸(Lys)含量较高, 蛋氨酸、色氨酸和胱氨酸含量较低, 与团头鲂^[33]、合方鲫^[35]等水产品的氨基酸组成特征相一致; Glu 和 Asp 是呈鲜味的特征性氨基酸^[29], Lys 参与体蛋白如骨骼肌、酶和多肽激素的合成, 与动物生长密切相关, 被称之为“生长性氨基酸”^[36]; 瓦氏黄颡鱼肌肉蛋白的 EAAI 值均大于 80%, 高于豹纹鳃棘鲈^[29]和东方鲀^[37]。由此可见, 黄颡鱼肉质味道鲜美, 有助于患者的康复和儿童的成长, 氨基酸组成均衡, 蛋白质质量高, 利用率高。本研究统计结果表明, 不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉蛋白中, CD3 组的赖氨酸含量显著高于其他组 ($P < 0.05$), CD3 组、CD4 组的 Asp、甘氨酸(Gly)、必需氨基酸和氨基酸总量显著高于 CD1 组、CD2 组 ($P < 0.05$); CD3 组的 E/T 、 E/N 值显著高于其他组 ($P < 0.05$), 高于团头鲂^[33]、合方鲫^[35]等水产品。由此可知, 瓦氏黄颡鱼肌肉蛋白具有较高的营养价

值。对于造成这一现象的原因,主要可能是养殖密度对同品种动物体组织个别的游离氨基酸含量产生一定的影响,从而影响其构成比例及氨基酸总量。

4.3 瓦氏黄颡鱼肌肉脂肪酸组成及其营养价值比较

鱼肉的脂肪酸组成是衡量脂肪营养价值的重要指标,其中不饱和脂肪酸的含量和 EFA 的含量决定了油脂营养价值的高低^[38]。本研究结果表明,从瓦氏黄颡鱼肌肉脂肪酸相对含量来看,顺式油酸(C18:1n9c)相对含量最高,其次为棕榈酸(C16:0)、顺式亚油酸(C18:2n6c),脂肪酸间含量关系为 $\Sigma\text{MUFA} > \Sigma\text{SFA} > \Sigma\text{PUFA}$,与日本鳗鲡等水产品基本一致^[39];顺式油酸为低血脂性的脂肪酸,有降低胆固醇和低密度脂蛋白的作用而被认为是一种良性的脂肪酸^[40];棕榈酸具有提高血脂的作用,并可能提高血液中的胆固醇含量^[41];不饱和脂肪酸总量(ΣUSFA)/ ΣSFA 的比值为 2.8,高于《中国居民膳食营养素参考摄入量》中提出的 2.0 最低安全限量^[42];PUFA 对人体具有明显地降血脂、降血压、抗肿瘤和免疫调节作用;其中, n-6 系列的亚油酸和 n-3 系列的亚麻酸在动物和人体内不能合成,必须从食物中获取,故被称“EFA”,其中以亚油酸最为重要^[43];在一定的范围内, $\Sigma(n-6)\text{PUFA}/\Sigma(n-3)\text{PUFA}$ 越低对健康越有利, CD3 密度组的比值最低为 1.5,远低于英国卫生部推荐的最大安全上限值 4.0^[44]。可见,瓦氏黄颡鱼能够弥补人类日常膳食中 n-6 和 n-3 系脂肪酸摄入不均衡,满足人们对食品营养的需求。本研究统计结果表明, CD3 组的顺式亚油酸(C18:2n6c)、 α -亚麻酸(C18:3n3)、 ΣMUFA 、 ΣPUFA 、 ΣEFA 和 $\Sigma(n-6)\text{PUFA}$ 含量显著高于其他组($P < 0.05$); CD3 组、CD4 组的 DHA(C22:6n3)相对含量、 ΣHUFA 和 EPA+DHA 显著高于 CD1 组、CD2 组($P < 0.05$)。可见,养殖密度对同品种动物体组织个别的不饱和脂肪酸含量产生一定的影响,对饱和脂肪酸含量无影响,与 Sargent 等^[45]和 Xu 等^[46]研究结果一致。

5 结 论

本研究对不同养殖密度瓦氏黄颡鱼的肌肉样本进行了营养分析与评价,结果表明高密度(40 尾/ m^3 、60 尾/ m^3 、80 尾/ m^3)养殖瓦氏黄颡鱼肌肉的粗蛋白含量显著高于低密度组(20 尾/ m^3),而粗脂肪含量、能值和 E/P 值却相反。根据 FAO/WHO 和鸡蛋蛋白模式,60 尾/ m^3 养殖瓦氏黄颡鱼肌肉的 ΣDAA 、 ΣEAA 、TAA、EAAI 值及 E/T、E/N 值均高于其他组,人体必需氨基酸构成比例均衡,蛋白质利用率高。密度 60 尾/ m^3 瓦氏黄颡鱼肌肉的顺式亚油酸相对含量、 α -亚麻酸相对含量、EPA+DHA 相对含量、 ΣMUFA 、 ΣPUFA 及 ΣEFA 均高于其他组,不饱和脂肪酸含量丰富。分析表明瓦氏黄颡鱼养殖密度控制在 60 尾/ m^3 的肌肉营养价值最高。本研究为了瓦氏黄颡鱼合理的养殖密度及其营养学研

究提供数据支撑,为瓦氏黄颡鱼高密度集约化养殖提供必要的参考依据。在后续研究中,将对瓦氏黄颡鱼肌肉营养组分的营养学机制做进一步探讨。

参考文献

- [1] Xue JP, Ai QH, Mai KS, *et al.* Effects of melamine on growth performance and skin color of darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vachelli*) [J]. *Aquac*, 2011, 320(1-2): 142-146.
- [2] Li M, Chen LQ, Qin J, *et al.* Growth performance, antioxidant status and immune response in darkbarbel catfish *Pelteobagrus vachelli* fed different PUFA/vitamin E dietary levels and exposed to high or low ammonia [J]. *Aquac*, 2013, (406-407): 18-27.
- [3] 陈涛, 赵鑫, 黄凯. 江黄颡鱼肌肉氨基酸组成及营养分析[J]. *湖北农业科学*, 2011, 50(21): 4448-4480.
Chen T, Zhao X, Huang K. Analysis of the contents of amino acids and nutrition in muscle of *Pelteobagrus vachelli* [J]. *Hubei Agric Sci*, 2011, 50(21): 4448-4480.
- [4] Zhang G, Yin S, Wang Y, *et al.* The effects of water temperature and stocking density on the survival, feeding and growth of the juveniles of the hybrid yellow catfish from *Pelteobagrus fulvidraco* (♀) \times *Pelteobagrus vachelli* (♂) [J]. *Aquac*, 2016, 47(9): 2844-2850.
- [5] Sinyangwe BG, Chirwa ER, Mzengereza K, *et al.* Effect of varying dietary protein level and stocking density on growth performance, survival and feed utilization of African catfish *Clarias gariepinus*-Burchell, 1822 [J]. *Insights Aquac Cult Biotechnol*, 2017, 1(2): 1-6.
- [6] 赵忠波, 汪帆, 吴巧婉. 放养密度对黄颡鱼的生长性能和养殖水体水质的影响[J]. *中国农学学报*, 2016, 32(23): 37-42.
Zhao ZB, Wang F, Wu QW. Stocking density affecting growth performance of Yellow Catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) and water quality [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2016, 32(23): 37-42.
- [7] 江瑞, 乐贻荣, 付梅, 等. 野生与船养瓦氏黄颡鱼肌肉营养组成与评价[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(7): 96-99.
Jiang R, Le YR, Fu M, *et al.* Nutritional composition analysis and evaluation on the muscles in wild and boat cage-cultured *Pelteobagrus vachelli* [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2017, 45(7): 96-99.
- [8] 马旭洲, 温旭, 王武. 野生与人工养殖瓦氏黄颡鱼肌肉营养成分及品质评价[J]. *安徽农业大学学报*, 2016, 43(1): 26-31.
Ma XZ, Wen X, Wang W. Comparison of muscle nutritional components and nutritive quality of between wild and farmed *Pelteobagrus vachelli* [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2016, 43(1): 26-31.
- [9] GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
GB 5009.3-2016 National food safety standard-Determination of moisture in foods [S].
- [10] GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
GB 5009.5-2016 National food safety standard-Determination of protein in food [S].
- [11] GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].
GB 5009.6-2016 National food safety standard-Determination of fat in food [S].
- [12] GB 5009.4-2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S].
GB 5009.4-2016 National food safety standard-Determination of ash in food [S].
- [13] GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定[S].

- GB/T 5009.10-2003 Determination of crude fiber in plant food [S].
- [14] GB 5009.124-2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定[S].
GB 5009.124-2016 National food safety standard-Determination of amino acids in food [S].
- [15] GB/T 18246-2000 饲料中氨基酸的测定[S].
GB/T 18246-2000 Determination of amino acids in feeds [S].
- [16] GB 5009.168-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定[S].
GB 5009.168-2016 National food safety standard-Determination of fatty acids in food [S].
- [17] Brett JR Physiological energetic. Fish physiology [M]. New York: Academic Press, 1979.
- [18] FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and protein requirements [R]. FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973, 52: 40-73.
- [19] 颜孙安, 林香信, 钱爱萍, 等. 化学分析法的理想参考蛋白模式及其化学生物价研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(23): 101-107.
Yan SA, Lin XX, Qian AP, et al. The study on the ideal reference protein model of chemical analysis and biological value [J]. Chin Agric Sci Bull, 2010, 26(23): 101-107.
- [20] 郝振林, 王煜, 于洋洋, 等. 香螺肌肉营养成分分析及评价[J]. 大连大学学报, 2016, 37(6): 66-70.
Hao ZL, Wang Y, Yu YY, et al. Analysis and evaluation of nutritive composition in the muscle of neptunea arthritica cumingii crosse (Gastropoda: buccinidae) [J]. J Dalian Univ, 2016, 37(6): 66-70.
- [21] 颜孙安, 姚清华, 林香信, 等. 不同养殖密度对瓦氏黄颡鱼肌肉中氨基酸组成的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(12): 3128-3134.
Yan SA, Yao QH, Lin XX, et al. Effects of stocking density on amino acid composition in the muscle of *Pelteobagrus vachelli* [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(12): 3128-3134.
- [22] 尤宏争, 邵蓬, 高建忠, 等. 出口级黄板鳅×台湾泥鳅杂交种及其亲本肌肉营养成分分析比较[J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32(2): 198-204.
You HZ, Shao P, Gao JZ, et al. Comparative analysis of muscular nutrients in export-grade hybrid loach *Paramisgurnus dabryanus* ♀ × Taiwan loach ♂ and their parent [J]. J Dalian Fish Univ, 2017, 32(2): 198-204.
- [23] 黄文, 盛竹梅, 于仕斌, 等. 人工养殖与野生江鳊肌肉营养成分比较分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, 34(1): 36-39.
Huang W, Sheng ZM, Yu SB, et al. Comparative analysis of farmed and wild burbot muscle nutrients [J]. J Zhejiang Ocean Univ (Nat Sci Ed), 2015, 34(1): 36-39.
- [24] 朱冰, 樊佳佳, 白俊杰, 等. 金草鱼肌肉品质营养成分分析及评价[J]. 海洋渔业, 2017, 39(5): 539-547.
Zhu B, Fang JJ, Bai JJ, et al. Comparison and analysis of nutritional composition in gold grass carp and grass carp muscle [J]. Mar Fish, 2017, 39(5): 539-547.
- [25] 赵立, 陈军, 赵春刚, 等. 野生和养殖乌鳢肌肉的成分分析及营养评价[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 244-249.
Zhao L, Chen J, Zhao CG, et al. Composition analysis and nutritional evaluation of wild and farmed *Channa argus* [J]. Mod Food Sci Technol, 2015, 31(9): 244-249.
- [26] 孙海坤, 韩雨哲, 孙建富, 等. 四个不同地理鲈群体肌肉营养组成的比较分析[J]. 水生生物学报, 2016, 40(3): 493-500.
Sun HK, Han YZ, Sun JF, et al. Muscle nutritional comparative of four different geographical silurus asotus groups [J]. Acta Hydrobiolog Sin, 2016, 40(3): 493-500.
- [27] 王艳艳, 詹会祥, 李正友, 等. 野生云南光唇鱼肌肉营养成分分析及品质评价[J]. 南方农业学报, 2017, 48(3): 507-511.
Wang YY, Zan HX, Li ZY, et al. Nutritional components analysis and nutritive value evaluation of wild *Acrossocheilus yunnanensis* muscle [J]. J South Agric, 2017, 48(3): 507-511.
- [28] 杨嫻, 吴莉芳, 杨欢欢, 等. 黄金鲈肌肉营养成分与品质的评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(8): 132-137.
Yang H, Wu LF, Yang HH, et al. Evaluation of nutrient components and quality in the muscle of *Perca flavescens* [J]. J Northwest A F Univ (Nat Sci Ed), 2014, 42(8): 132-137.
- [29] 尤宏争, 孙志景, 张勤, 等. 豹纹鳃鲈肌肉营养成分分析及品质评价[J]. 水生生物学报, 2014, 38(6): 1168-1172.
You HZ, Sun ZJ, Zhang Q, et al. Nutritional composition analysis and nutritional value evaluation in plectropomus muscles [J]. Acta Hydrobiol Sin, 2014, 38(6): 1168-1172.
- [30] 于宏, 万刚涛, 程民杰, 等. 龙虎斑鱼肌肉营养成分分析[J]. 广东海洋大学学报, 2014, 34(6): 83-87.
Yu H, Wan GT, Cheng MJ, et al. Analysis of the nutritive components of muscle from pearl gentian grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2014, 34(6): 83-87.
- [31] Petiago MJ, Ayala MD, López-Albors O, et al. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L [J]. Aquaculture, 2005, 249(1): 175-188.
- [32] Testi S, Bonaldo A, Gatta PP, et al. Nutritional traits of dorsal and ventral fillets from three farmed fish species [J]. Food Chem, 2006, 98(1): 104-111.
- [33] 亓成龙. 养殖密度和亚硝酸盐胁迫对团头鲂幼鱼生理机能和肌肉品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
Qi CL. Effect of stocking density and nitrite on physiological functions and muscle quality of blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* juveniles [D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2016.
- [34] 黄洋, 黄海立, 杜涛, 等. 野生多鳞鱖肌肉营养成分分析及品质评价[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(6): 9-14.
Huang Y, Huang HL, Du T, et al. Analysis and evaluation of main nutritive composition in the muscle of wild *Sillago sihama* [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2015, 35(6): 9-14.
- [35] 刘庆峰, 王静, 肖军, 等. 合方鲫及其亲本肌肉营养成分分析[J]. 水产学报, 2017, 41(7): 1133-1139.
Liu QF, Wang J, Xiao J, et al. Muscle nutrient of *Carassius auratus cuvieri* (♀) × *Carassius auratus* red var. (♂) and its parents [J]. J Fish China, 2017, 41(7): 1133-1139.
- [36] 蒋滢. 氨基酸的应用[M]. 北京: 世界图书出版公司, 1996.
Jiang Y. Application of amino acids [M]. Beijing: World Publishing Corporation, 1996.
- [37] 于久翔, 高小强, 韩岑, 等. 野生和养殖红鳍东方鲀营养品质的比较分析[J]. 动物营养学报, 2016 28(9): 2987-2997.
Yu JX, Gao XQ, Han C, et al. Comparative analysis on nutritional quality between wild and cultured *Takifugu rubripes* [J]. Chin J Anim Nutr, 2016 28(9): 2987-2997.
- [38] Sundstrom J, Lind L, Vessby B, et al. Dyslipidemia and an unfavorable fatty acid profile predict left ventricular hypertrophy 20 years later [J]. Circulation, 2001, 103(6): 836-841.
- [39] 胡园, 周朝生, 胡利华, 等. 海、淡水养殖日本鳊肌肉和鱼皮营养成分

- 析比较[J]. 水生生物学报, 2015, 39(4): 730-739.
- Hu Y, Zhou CS, Hu LH, *et al.* Comparative analysis of the nutritional components in the muscles and skins of *Anguilla japonica* cultured in the seawater and freshwater [J]. *Acta Hydrobiol Sin*, 2015, 39(4): 730-739.
- [40] 纪成林. 中国对虾养殖新技术[M]. 北京: 金盾出版社, 1999.
- Ji CL. New technology of shrimp culture in China [M]. Beijing: Jindun Publishing House, 1999.
- [41] 李春艳, 阎磊, 王品虹. 日本海神蛤营养成分分析与评价[J]. 营养学报, 2008, 30(1): 113-116.
- Li CY, Yan L, Wang PH. Analysis and evaluation of nutritional components of *Hydra japonica* [J]. *Acta Nutr Sin*, 2008, 30(1): 113-116.
- [42] 葛可佑. 中国营养师培训教材[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2005.
- Ge KY. Chinese nutritionist training textbook [M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2005.
- [43] 刘海珍, 罗琳, 蔡德陵, 等. 不同生长阶段鳊鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. 核农学报, 2015, 29(11): 2150-2157.
- Liu HZ, Luo L, Cai DL, *et al.* Analysis and valuation of nutrient components in the muscle of *Engraulis japonicus* at different growth stages [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2015, 29(11): 2150-2157.
- [44] 梁琰, 冉辉, 桂庆平, 等. 锦江河野生黄颡鱼与养殖黄颡鱼营养品质分析及比较[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(18): 4544-4547.
- Liang L, Ran H, Gui QP, *et al.* Analysis and comparison of nutritional quality between wild and cultured *Pelteobagrus fulvidraco* in Jinjiang river [J]. *Hubei Agric Sci*, 2015, 54(18): 4544-4547.
- [45] Sargent JR, Bell JG, McEvoy LA, *et al.* Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish [J]. *Aquaculture*, 1999, 177(1/4): 191-199.
- [46] Xu JH, Yan BL, Teng YJ, *et al.* Analysis of nutrient composition and fatty acid profiles of Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus* (Cuvier) reared in seawater and freshwater [J]. *J Food Compos Anal*, 2010, 23: 401-405.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



颜孙安, 高级实验师, 主要研究方向为农产品质量安全与风险评估。

E-mail: yansunan1982@163.com



林虬, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全与风险评估。

E-mail: linqiu3163@163.com