

# 野生和养殖大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 品质特征与差异性探究

郭全友<sup>1</sup>, 邢晓亮<sup>1,2</sup>, 姜朝军<sup>1</sup>, 杨絮<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090) (2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

**摘要:** 为探究养殖与野生大黄鱼品质的差异性, 与现有主要养殖模式(深水网箱 S1、围网 S2、多通框网箱 S3、池塘 S4 和筏式小网箱 S5)中大黄鱼的外观、质构、基本营养、脂肪酸、氨基酸、风味物质和矿物元素等进行比较。结果表明, 养殖和野生大黄鱼鳞片紧致、完整, 体表光泽, 粘液透明, 眼球饱满; 野生鱼的内聚性、弹性、咀嚼性、剪切力显著高于养殖鱼 ( $p < 0.05$ ), 养殖鱼间内聚性、剪切力差异不显著 ( $p > 0.05$ ); 野生鱼的粗脂肪含量为 9.76%, 显著小于养殖鱼 (10.74%~14.00%) ( $p < 0.05$ ), 且其粗蛋白含量为 21.02%, 显著高于养殖鱼 (17.05%~17.35%) ( $p < 0.05$ ); 野生和养殖大黄鱼的脂肪酸组成中  $\Sigma$  饱和脂肪酸 (SFA)  $>$   $\Sigma$  单不饱和脂肪酸 (MUFA)  $>$   $\Sigma$  多不饱和脂肪酸 (PUFA), 而野生鱼的  $\Sigma$  (二十碳五烯酸+二十二碳六烯酸) (EPA+DHA) 为 12.84%、 $\Sigma$ PUFA(n-6) 为 2.15%和  $\Sigma$ PUFA (n-3) 为 14.22%, 均低于养殖鱼; 野生鱼的总氨基酸 (TAA) 含量为 14.64%、非必需氨基酸 (NEAA) 含量为 7.40%、半必需氨基酸 (SEAA) 含量为 1.31%和必需氨基酸 (EAA) 含量为 5.93%, 均显著高于养殖鱼 ( $p < 0.05$ ); 野生和养殖鱼的次黄嘌呤核苷酸 (IMP) 含量分别为 0.80  $\mu\text{mol/g}$  和 0.98~1.03  $\mu\text{mol/g}$ , 在所有呈味核苷酸中最高。野生鱼和养殖鱼常量元素含量  $\text{Ca} > \text{K} > \text{Na} > \text{Mg}$ , 微量元素 Cu 含量最小。野生和养殖鱼 Zn: Cu, 野生、S1 和 S2 的 Zn: Fe, 均在合理范围内。本研究可为提升养殖大黄鱼品质和优化养殖模式等提供依据。

**关键词:** 大黄鱼; 养殖模式; 外观; 质构; 营养; 滋味

文章编号: 1673-9078(2019)010-92-101

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.10.014

## Quality Characteristics and Differences of Wild and Cultured Large Yellow Croakers (*Larimichthys crocea*)

GUO Quan-you<sup>1</sup>, XING Xiao-liang<sup>1,2</sup>, JIANG Chao-jun<sup>1</sup>, YANG Xu<sup>1</sup>

(1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

(2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to explore the difference in the quality of cultured and wild large yellow croakers, comparison was made among the large yellow croakers raised using the current farming modes (deep-water cage S1, seine S2, multi-pass cage S3, pond S4, and small raft cage S5) in terms of appearance, texture, basic nutrients, fatty acids, amino acids, flavor substances and mineral elements. The results showed that cultured and wild large yellow croaker scales were firm and intact, with a shiny surface, clear mucus, and full eyeballs. The cohesiveness, elasticity, chewiness and shearing force of wild fish were significantly higher than those of cultured fish ( $p < 0.05$ ), but insignificant difference was found in cohesiveness and shear force among the cultured fish ( $p > 0.05$ ); the crude fat content of wild fish (9.76%) was significantly lower than those of the cultured fish (10.74%~14.00%) ( $p < 0.05$ ), with the crude protein content (21.02%) significantly higher than those of cultured fish (17.05%~17.35%), ( $p < 0.05$ ). In terms of the fatty acid composition of the wild and cultured large yellow croakers, the decreasing order was:  $\Sigma$ SFA  $>$   $\Sigma$ MUFA  $>$   $\Sigma$ PUFA,  $\Sigma$ (EPA+DHA) (12.84%),  $\Sigma$ PUFA(n-6) (2.15%) and  $\Sigma$ PUFA(n-3) (14.22%) of wild fish were lower than those of the cultured fish; TAA (14.64%), The contents of the non-essential amino acid (NEAA, 7.40%), semi-essential amino acid (SEAA, 1.31%) and essential amino acid (EAA, 5.93%) of the wild fish were significant higher than those of cultured fish ( $p < 0.05$ ); The inosine monophosphate (IMP) content of the wild fish (0.80  $\mu\text{mol/g}$ ) and cultured fish (0.98~1.03  $\mu\text{mol/g}$ ) was the highest among all the flavor nucleotides. The contents of macroelements in the wild fish and cultured fish decreased in order of  $\text{Ca} > \text{K} > \text{Na} > \text{Mg}$ , and the microelement with the lowest content was

收稿日期: 2019-01-19

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(东海水产研究所)资助项目(2018M04); 国家自然科学基金项目(31871872)

作者简介: 郭全友(1974-), 男, 研究员, 研究方向: 水产品加工与安全保障

Cu. The ratio of Zn: Cu for the wild and cultured fish, and the ratio of Zn: Fe for the wild fish and the S1 or S2 cultured fish, were all within reasonable limits. This study can provide a basis for improving the quality of cultured large yellow croakers and optimizing its culturing mode.

**Keywords:** *Larimichthys crocea*; culture model; appearance; texture; body composition; flavor

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 以其外观金黄, 味道鲜美, 营养丰富而闻名。作为我国重要的经济鱼类, 自 1980 s 中期突破人工养殖以来, 大黄鱼养殖技术逐渐成熟<sup>[1]</sup>。大黄鱼养殖产量逐年增加, 福建省 2018 年产量已超过 150,000 t, 占全国总产量的 85% 以上<sup>[2]</sup>。

传统养殖以筏式小网箱为主, 具有投资小、容易管理的特点, 但存在养殖密度高、水流不畅、饵料沉积等问题<sup>[3]</sup>。池塘养殖大黄鱼具有生长快、体色金黄、肉质嫩、饲料系数低等优点, 但存在换水条件差、消毒不彻底、养殖时间长、不易控制等问题<sup>[4]</sup>。针对上述问题, 围网、深水网箱和多通框网箱等养殖模式相继出现<sup>[4]</sup>。围网养殖空间较大, 水质好、病害少、成活率高、有天然饵料补充; 深水网箱水体大、水流畅通, 鱼体体形、质地和风味更佳; 多通框网箱为大黄鱼提供较大活动空间及形成较大的群体, 以促进鱼的摄食与改善体形、质构, 且投资小<sup>[4]</sup>。因此开发及优化养殖模式来提升大黄鱼品质仍是目前大黄鱼产业亟需解决的问题。

外观、营养、质构和风味构成了鱼类品质的四大要素<sup>[5]</sup>。鱼类基因、饵料、养殖阶段和养殖模式对鱼类生长特性、品质和市场价值都有影响。岱衢洋和官井洋大黄鱼杂交子代具有较大的经济养殖和优良品种选育的潜力<sup>[6]</sup>。饵料能改善皮肤的颜色和抗氧化能力, 改善形态和脂质沉积, 并提升大黄鱼的品质<sup>[7-9]</sup>。分阶段仿生态养殖加快了大黄鱼生长速度, 减少了病害发生, 提高了大黄鱼品质和口感<sup>[10]</sup>。众多因素中, 养殖模式对大黄鱼品质影响是比较明显的, 多通框网箱、围网、深水网箱扩大养殖空间、改变流速, 能改善大黄鱼的形态特征和品质<sup>[11]</sup>。郭全友等发现对两组不同饲料喂养的多通框大黄鱼中, 由于多通框网箱中鱼体运动量充足, 使鱼具有较高的肌肉坚实度, 改变了鱼肉肉质<sup>[12]</sup>, 其对深水网箱和筏式网箱的营养品质和重金属含量分析中也报道了深水网箱养殖大黄鱼硬度、凝聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性等均高于筏式网箱, 更有嚼劲, 口感更好<sup>[13]</sup>。阮成旭等发现工厂化养殖模式养殖大黄鱼风味优于传统网箱养殖大黄鱼<sup>[14]</sup>。当前五种养殖模式下大黄鱼和野生大黄鱼的四大品质要素 (外观、质构、营养和风味等) 的差异性分析少有报道。

本文对五种 (深水网箱、围网、多通框网箱、池塘和筏式小网箱) 养殖和野生大黄鱼的外观、质构、

营养、滋味和矿物元素等进行分析, 探究养殖和野生大黄鱼品质的差异性, 为提升养殖大黄鱼品质和优化养殖模式等提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

2017 年 1 月, 在东海附近水域, 分别取野生大黄鱼和深水网箱、围网、多通框网箱、池塘、筏式小网箱养殖大黄鱼 24 条, 各养殖模式大黄鱼均以冰鲜鱼喂养, 早晚各喂食一次。取同期捕捞野生大黄鱼 24 条, 于东海附近水域约距离陆地 9~10 km 左右, 利用长约 40 m 宽约 30 m 的张网深入海底捕捞而得<sup>[15]</sup>, 分别记为 S1、S2、S3、S4、S5 和 W。冰水致死, 冰鲜运至加工厂, 层冰层鱼包装, 5~10 h 运至实验室放于 -18 °C 冰箱中备用, 鲜度指标均运到实验室后立即检测。

石油醚、浓硫酸、硫酸铜、硫酸钾、硼酸、95% 乙醇、甲基红、亚甲基蓝、氢氧化钠、酚酞指示剂、盐酸、高氯酸、37 种脂肪酸甲酯混标 (纯度>99%), 苯酚、氮气、柠檬酸钠, 三乙胺乙腈、正己烷 (均为色谱纯), 其他试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

pH S-3C pH 计, 仪电科学仪器股份有限公司; PMB 水分分析仪, 艾德姆衡器有限公司; BF51731C-1 马弗炉, 美国 Asheville 公司; SZC-D 脂肪测定仪, 上海纤检仪器有限公司; KDN-103F 定氮仪, 上海纤检仪器有限公司; 安捷伦 7890A 气相色谱仪, 安捷伦 1100 液相色谱仪, 美国 Sigma-Aldrich 公司; 安捷伦 1200 氨基酸分析仪; TMS-Pro 型质构仪, 美国 Food Technology Corporation 公司; Avanti J-301 高性能离心机, 美国 Beckman Coulter 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 鲜度指标测定

感官评价: 参照 SC/T 3101-2010<sup>[16]</sup>, 对新捕获大黄鱼鳞片、体表光泽、腮丝、体表黏液和眼球等进行观察;

挥发性盐基氮 (Total volatile basic nitrogen, TVBN): 按 GB 5009.228-2016 执行;

pH 测定: 采用酸度计测定。

### 1.3.2 质构测定

采用 TMS-Pro 型质构仪对鲜鱼块 (2 cm×2 cm×1 cm) 进行 TPA 测定。使用 P/5 柱形探头, 测试速度为 50 mm/min, 形变量为 50%, 回升高度为 20 mm, 每组样品压缩测定 5 次; 使用燕尾剪切探头对样品进行剪切实验, 测试速度为 50 mm/min, 回程距离为 30 mm, 每组样品平行测定 5 次<sup>[17]</sup>。

### 1.3.3 基本营养成分测定

采用 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》直接干燥法测定水分含量; 采用 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》食品中总灰分的测定法测定灰分含量; 采用 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法测定粗蛋白质含量; 采用 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》索氏提取法测定粗脂肪含量; 基本营养成分组成以湿基计。

### 1.3.4 脂肪酸组成与含量测定

采用 GB 5009.168-2016《动植物油脂肪酸甲酯的气相色谱分析》测定脂肪酸组成及含量, 甲酯化后, 采用气相色谱进行分析。气相色谱条件: 色谱柱 (100 m×250 μm, 0.2 μm); 氢气作为载气; 进样口温度 260 °C; 分流比为 25:1; 检测器为 FID, 温度 260 °C; 升温程序: 以 4 °C/min 的速率升至 240 °C。动脉粥样硬化指数 (AI)、血栓形成指数 (TI)<sup>[18]</sup>和多烯指数 (PI)<sup>[19]</sup>按式 (1)、(2) 和 (3) 计算。

$$AI = \frac{C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0}{\sum (MUFA + PUFA)} \quad (1)$$

$$TI = \frac{C14:0 + C16:0 + C18:0}{0.5 \sum MUFA + 0.5 \sum PUFA(n-6) + 3 \sum PUFA(n-3) + \frac{n-3}{n-6}} \quad (2)$$

$$PI = \frac{C20:5 + C22:6}{C16:0} \quad (3)$$

式中:  $\sum MUFA$  为单不饱和脂肪酸的总量,  $\sum PUFA$  为多不饱和脂肪酸的总量。

### 1.3.5 氨基酸组成与含量测定

氨基酸含量的测定参照 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》测定氨基酸组成及含量, 冻干的肌肉样本在 110 °C 下, 以 6 mol/L 的 HCl 水解 24 h。检测波长为 254 nm; 色谱柱为 Diamonsil AAA 250×4.6 mm×5 μm C-110-1612, 温度为 35 °C; 进样量 10 μL; 流动相: A: 0.05 M 乙酸钠溶液 (冰乙酸调制 pH 6.5), 流速 1 mL/min; B: 甲醇:乙腈=1:1。以 g/100 g 湿基计。氨基酸评分 AAS<sup>[20]</sup>、化学评分 CS<sup>[21]</sup>和 F 值 (支链氨基酸与芳香族氨基酸比值)<sup>[13]</sup>按式 (4)、(5) 和 (6) 计算。

$$AAS = \frac{Ma}{Mb} \times 100\% \quad (4)$$

$$CS = \frac{Ma}{Mc} \times 100\% \quad (5)$$

$$F = \frac{Val + Leu + Ile}{Phe + Tyr} \quad (6)$$

式中:  $M_a$  为待测样品中氨基酸含量 (mg/g);  $M_b$  为 FAO (联合国粮农组织)/WHO (世界卫生组织) 评分模式中同种氨基酸含量 (mg/g);  $M_c$  为全鸡蛋蛋白中同种氨基酸的含量 (mg/g); Val 为缬氨酸含量; Leu 为亮氨酸含量; Ile 为异亮氨酸含量; Phe 为苯丙氨酸含量; Tyr 为酪氨酸含量。

### 1.3.6 呈味核苷酸测定

前处理过程: 取鱼肉样品约 2 g (精确至 0.001 g), 加入 5% 高氯酸溶液 20 mL, 匀浆后静置冷却 10 min, 10000 r/min 离心 3 min, 取上清液。沉淀用 5% 高氯酸溶液洗涤, 离心, 取上清液。合并上清液, 并调至 pH 值为 4.6, 定容至 50 mL 容量瓶, 混匀静置后, 0.45 μm 滤膜过滤, 上机。色谱条件: A: 0.01 mol/L 磷酸二氢钾溶液, B: 甲醇。A:B=96:4, 等度洗脱, 1.0 mL/min, 柱温: 30 °C, 检测波长: 260 nm, 进样量: 10 μL。色谱柱: C18 (4.6 mm×250 mm)。

### 1.3.7 矿物元素测定

矿物质及微量元素含量测定参照 GB 5009.268-2016《第二法电感耦合等离子体发射光谱法 (ICP-OES)》, 采用湿法消解。

## 1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 统计软件 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA), 使用具有 5% 显著性水平的单因素方差 ANOVA (LSD) 对数据进行处理, 研究培养的各养殖模式大黄鱼和野生大黄鱼之间的差异, 以  $p < 0.05$  为显著,  $p > 0.05$  为不显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 鲜度评价

图 1 为不同养殖和野生大黄鱼样本照片, 捕获的养殖和野生大黄鱼均鳞片紧致、完整, 呈金黄色; 体表光泽, 鳃丝清晰, 呈鲜红色; 粘液透明, 眼球饱满, 均达到鲜鱼一级品。除 S1、S4 外, 野生和养殖大黄鱼的 TVBN 含量 (4.76~10.36 mg/100 g) 基本达到鲜大黄鱼一级品要求<sup>[16]</sup>。由表 1 可知, 野生鱼和养殖鱼的 pH 均小于 7, 为近中性, 但养殖鱼 pH 低于野生鱼, 这与孟玉琼等的研究结果相似, 可能是养殖鱼类营养

条件好, 肌肉中糖原沉积多, 鱼死后糖原分解产生大量乳酸导致 pH 降低<sup>[22]</sup>。



图 1 养殖和野生大黄鱼图片

Fig.1 Pictures of cultured and wild large yellow croaker

表 1 养殖和野生大黄鱼 pH 和 TVBN (mg/100 g)

Table 1 pH and TVBN of cultured and wild large yellow croaker (mg/100 g)

| 指标              | W                      | S1                      | S2                     | S3                     | S4                      | S5                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| pH              | 6.98±0.01 <sup>a</sup> | 6.23±0.01 <sup>b</sup>  | 6.54±0.01 <sup>c</sup> | 6.42±0.01 <sup>c</sup> | 6.24±0.01 <sup>b</sup>  | 6.34±0.01 <sup>d</sup>  |
| TVBN/(mg/100 g) | 8.18±0.78 <sup>a</sup> | 13.72±0.28 <sup>b</sup> | 6.02±0.14 <sup>c</sup> | 4.76±0.28 <sup>d</sup> | 13.44±0.01 <sup>b</sup> | 10.36±0.28 <sup>c</sup> |

注: 表中数据表示为均值±标准偏差, 同类别同行不同肩标小写字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

表 2 养殖和野生大黄鱼质构特性

Table 2 Textural parameters of cultured and wild large yellow croaker

| 组别 | 内聚性                    | 弹性/mm                   | 胶粘性/N                   | 咀嚼性/mJ                  | 剪切力/N                   |
|----|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| W  | 0.38±0.09 <sup>a</sup> | 6.72±0.22 <sup>a</sup>  | 4.64±0.28 <sup>ac</sup> | 7.71±1.15 <sup>ac</sup> | 14.01±0.35 <sup>a</sup> |
| S1 | 0.26±0.05 <sup>b</sup> | 1.59±0.09 <sup>bc</sup> | 2.92±0.48 <sup>b</sup>  | 4.97±0.44 <sup>b</sup>  | 8.12±1.60 <sup>b</sup>  |
| S2 | 0.26±0.03 <sup>b</sup> | 1.82±0.18 <sup>bc</sup> | 4.30±0.80 <sup>ac</sup> | 7.82±0.51 <sup>ac</sup> | 6.38±0.16 <sup>b</sup>  |
| S3 | 0.27±0.05 <sup>b</sup> | 1.90±0.15 <sup>b</sup>  | 3.51±0.73 <sup>ab</sup> | 6.65±1.26 <sup>ab</sup> | 7.00±1.71 <sup>b</sup>  |
| S4 | 0.23±0.04 <sup>b</sup> | 1.60±0.31 <sup>bc</sup> | 4.88±1.49 <sup>c</sup>  | 9.57±1.55 <sup>c</sup>  | 7.26±1.25 <sup>b</sup>  |
| S5 | 0.25±0.06 <sup>b</sup> | 1.54±0.28 <sup>c</sup>  | 4.96±0.24 <sup>c</sup>  | 9.76±1.90 <sup>c</sup>  | 7.28±2.10 <sup>b</sup>  |

注: 表中数据表示为均值±标准偏差, 同类别同列不同肩标小写字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

## 2.2 质构分析

通常, 肌肉是鱼类养殖的最终产品, 同时消费者偏爱坚实的质地<sup>[22,23]</sup>。由表 2 可知, 野生鱼的内聚性、弹性和剪切力均显著高于养殖鱼 ( $p < 0.05$ ), 与孟玉琼的研究结果相似, 这可能与肌肉 pH、肌肉脂肪、肌肉胶原蛋白和肌肉持水力有关<sup>[22]</sup>; 但不同养殖方式的鱼间差异不显著 ( $p > 0.05$ )。养殖鱼 S3 与 S5 的弹性有显著性差异 ( $p < 0.05$ ), 但这两种养殖鱼与其它鱼无显著

差异 ( $p > 0.05$ )。除 S4 和 S5 外, 野生鱼的胶黏性(4.64)大于养殖鱼, 但无显著性差异 ( $p > 0.05$ ); 养殖鱼中 S1 最小。除 S1 和 S3 外, 野生鱼的咀嚼性小于养殖鱼, 且除 S1 外与养殖鱼无显著差异 ( $p > 0.05$ ); 养殖鱼中 S1 最小为 4.97。养殖鱼间的剪切力差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 其他鱼类的研究结果也表明, 野生鱼具有较高的肌肉硬度或坚实度<sup>[24-26]</sup>。

## 2.3 基本营养成分

由表3可知,野生鱼水分含量为64.24%,显著低于养殖鱼 ( $p<0.05$ ) (S3、S5 除外),与海鲈鱼、角螺等<sup>[27,28]</sup>研究存在差异,可能是由于生物种类的差异导致;养殖鱼中S2最大,S5最小。野生鱼的灰分含量为1.24%,显著小于养殖鱼 (S1 除外),与传统有机养殖海鲈鱼研究结果相似<sup>[27]</sup> ( $p<0.05$ );养殖鱼中S1显著低于其他养殖鱼 ( $p<0.05$ )。野生鱼的粗脂肪

(9.76%)显著小于养殖鱼 (10.74%~14.00%) ( $p<0.05$ ) (S2 除外);养殖鱼中S3最大,且与其他养殖鱼差异显著 ( $p<0.05$ ) (S5 除外)。野生鱼的粗蛋白含量为21.02%,比养殖鱼都高,且与养殖鱼差异显著 ( $p<0.05$ );养殖鱼中,S2与野生鱼相差较小,且养殖鱼之间无显著差异 ( $p>0.05$ )。

表3 养殖和野生大黄鱼营养成分分析(%,以湿基计)

Table 3 Proximate composition of cultured and wild large yellow croaker (% wet basis)

| 组别 | 水分                        | 灰分                      | 粗脂肪                       | 粗蛋白                     |
|----|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| W  | 64.24±0.04 <sup>a</sup>   | 1.24±0.02 <sup>a</sup>  | 9.76±0.01 <sup>a</sup>    | 21.02±0.05 <sup>a</sup> |
| S1 | 70.57±0.60 <sup>bcd</sup> | 1.15±0.02 <sup>a</sup>  | 12.12±1.01 <sup>bd</sup>  | 17.08±0.14 <sup>b</sup> |
| S2 | 73.99±2.47 <sup>c</sup>   | 1.88±0.01 <sup>bc</sup> | 10.74±0.22 <sup>ab</sup>  | 17.35±0.14 <sup>b</sup> |
| S3 | 67.86±1.21 <sup>ab</sup>  | 2.04±0.14 <sup>bd</sup> | 14.00±0.30 <sup>c</sup>   | 17.05±1.04 <sup>b</sup> |
| S4 | 69.09±1.30 <sup>bd</sup>  | 1.80±0.02 <sup>c</sup>  | 11.70±0.02 <sup>bc</sup>  | 17.10±0.01 <sup>b</sup> |
| S5 | 66.25±1.80 <sup>ad</sup>  | 1.49±0.01 <sup>e</sup>  | 12.53±0.44 <sup>cde</sup> | 17.20±0.17 <sup>b</sup> |

注:表中数据表示为均值±标准偏差,同列不同肩标小写字母表示差异显著 ( $p<0.05$ )。

表4 养殖和野生大黄鱼肌肉中脂肪酸组成及含量(%,以总脂肪酸计)

Table 4 Fatty acid composition in muscle of cultured and wild large yellow croaker (% of total fatty acids)

| 脂肪酸        | W                       | S1                      | S2                      | S3                      | S4                      | S5                      |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| C4:0       | 0.17±0.01 <sup>a</sup>  | 0.77±0.02 <sup>b</sup>  | 0.76±0.02 <sup>b</sup>  | 0.81±0.02 <sup>c</sup>  | 1.10±0.03 <sup>d</sup>  | 1.07±0.03 <sup>d</sup>  |
| C14:0      | 1.89±0.06 <sup>a</sup>  | 2.87±0.09 <sup>b</sup>  | 2.83±0.08 <sup>c</sup>  | 2.88±0.09 <sup>b</sup>  | 2.93±0.09 <sup>d</sup>  | 2.93±0.09 <sup>d</sup>  |
| C15:0      | 0.26±0.01 <sup>a</sup>  | 0.57±0.02 <sup>b</sup>  | 0.56±0.02 <sup>b</sup>  | 0.57±0.02 <sup>b</sup>  | 0.56±0.02 <sup>b</sup>  | 0.56±0.02 <sup>b</sup>  |
| C16:0      | 31.70±0.95 <sup>a</sup> | 25.00±0.75 <sup>b</sup> | 24.80±0.74 <sup>c</sup> | 24.80±0.74 <sup>c</sup> | 25.20±0.76 <sup>d</sup> | 24.80±0.74 <sup>c</sup> |
| C17:0      | 0.90±0.03 <sup>a</sup>  | 1.32±0.04 <sup>b</sup>  | 1.48±0.04 <sup>c</sup>  | 1.49±0.04 <sup>c</sup>  | 1.47±0.04 <sup>cd</sup> | 1.38±0.04 <sup>e</sup>  |
| C18:0      | 6.67±0.20 <sup>a</sup>  | 5.22±0.16 <sup>b</sup>  | 5.24±0.16 <sup>b</sup>  | 5.17±0.16 <sup>c</sup>  | 5.29±0.16 <sup>d</sup>  | 5.34±0.16 <sup>e</sup>  |
| C20:0      | ND                      | 0.49±0.01               | 0.13±0.00               | 0.08±0.00               | ND                      | ND                      |
| C21:0      | ND                      | 0.1±0.00                | 1.00±0.03               | 0.1±0.00                | ND                      | ND                      |
| C22:0      | ND                      | ND                      | 0.10±0.00               | 0.1±0.00                | ND                      | ND                      |
| C24:0      | 0.32±0.01               | ND                      | 0.11±0.00               | 0.12±0.00               | ND                      | ND                      |
| ΣSFA       | 41.91±1.26 <sup>a</sup> | 36.34±1.09 <sup>b</sup> | 37.01±1.11 <sup>c</sup> | 36.12±1.08 <sup>d</sup> | 36.55±1.10 <sup>e</sup> | 36.08±1.08 <sup>f</sup> |
| C16:1      | 11.20±0.34 <sup>a</sup> | 9.03±0.27 <sup>b</sup>  | 8.87±0.27 <sup>c</sup>  | 9.00±0.27 <sup>b</sup>  | 8.57±0.26 <sup>d</sup>  | 8.45±0.25 <sup>e</sup>  |
| C17:1      | 0.60±0.02 <sup>a</sup>  | 1.08±0.03 <sup>b</sup>  | 1.07±0.03 <sup>b</sup>  | 1.18±0.04 <sup>c</sup>  | 1.07±0.03 <sup>b</sup>  | 1.06±0.03 <sup>b</sup>  |
| C18:1      | 25.30±0.76 <sup>a</sup> | 23.80±0.71 <sup>b</sup> | 23.70±0.71 <sup>c</sup> | 23.60±0.71 <sup>d</sup> | 23.70±0.71 <sup>c</sup> | 23.40±0.70 <sup>e</sup> |
| C22:1      | 0.28±0.01               | 0.11±0.00               | ND                      | ND                      | ND                      | 1.17±0.04               |
| C24:1      | 0.50±0.02 <sup>a</sup>  | 0.58±0.02 <sup>b</sup>  | 0.63±0.02 <sup>c</sup>  | 0.62±0.02 <sup>c</sup>  | 0.78±0.02 <sup>d</sup>  | 0.8±0.02 <sup>d</sup>   |
| ΣMUFA      | 37.88±1.14 <sup>a</sup> | 34.60±1.04 <sup>b</sup> | 34.27±1.03 <sup>c</sup> | 34.40±1.03 <sup>d</sup> | 34.12±1.02 <sup>e</sup> | 34.88±1.05 <sup>f</sup> |
| C18:2      | 0.59±0.02 <sup>a</sup>  | 2.86±0.09 <sup>b</sup>  | 2.85±0.09 <sup>b</sup>  | 3.30±0.10 <sup>c</sup>  | 2.70±0.08 <sup>d</sup>  | 2.92±0.09 <sup>e</sup>  |
| C20:2      | 0.18±0.01 <sup>a</sup>  | 0.90±0.03 <sup>bc</sup> | 0.89±0.03 <sup>b</sup>  | 0.89±0.03 <sup>b</sup>  | 0.93±0.03 <sup>c</sup>  | 0.93±0.03 <sup>c</sup>  |
| C20:4      | 1.38±0.04 <sup>a</sup>  | 1.35±0.04 <sup>a</sup>  | 1.37±0.04 <sup>a</sup>  | 1.35±0.04 <sup>a</sup>  | 2.57±0.08 <sup>b</sup>  | 1.38±0.04 <sup>a</sup>  |
| ΣPUFA(n-6) | 2.15±0.06 <sup>a</sup>  | 5.11±0.15 <sup>b</sup>  | 5.11±0.15 <sup>b</sup>  | 5.54±0.17 <sup>c</sup>  | 6.20±0.19 <sup>e</sup>  | 5.23±0.16 <sup>f</sup>  |
| C18:3      | 1.11±0.03 <sup>a</sup>  | 0.34±0.01 <sup>b</sup>  | 2.94±0.09 <sup>c</sup>  | 2.38±0.07 <sup>d</sup>  | 2.46±0.07 <sup>e</sup>  | 2.69±0.08 <sup>f</sup>  |
| C20:3      | 0.27±0.01 <sup>a</sup>  | 0.22±0.01 <sup>b</sup>  | 1.39±0.04 <sup>c</sup>  | 1.39±0.04 <sup>c</sup>  | 0.37±0.01 <sup>d</sup>  | 0.35±0.01 <sup>d</sup>  |
| C20:5      | 4.04±0.12 <sup>a</sup>  | 4.49±0.13 <sup>b</sup>  | 4.25±0.13 <sup>c</sup>  | 4.23±0.13 <sup>c</sup>  | 4.41±0.13 <sup>d</sup>  | 4.38±0.13 <sup>d</sup>  |

转下页

接上页

|             |                         |                         |                         |                         |                         |                         |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| C22:6       | 8.80±0.26 <sup>a</sup>  | 10.90±0.33 <sup>b</sup> | 10.90±0.33 <sup>b</sup> | 10.80±0.32 <sup>c</sup> | 11.20±0.34 <sup>d</sup> | 11.30±0.34 <sup>e</sup> |
| ΣPUFA(n-3)  | 14.22±0.43 <sup>a</sup> | 15.95±0.48 <sup>b</sup> | 19.48±0.58 <sup>c</sup> | 18.8±0.56 <sup>d</sup>  | 18.44±0.55 <sup>e</sup> | 18.72±0.56 <sup>f</sup> |
| (n-3)/(n-6) | 6.61±0.20 <sup>a</sup>  | 3.12±0.09 <sup>b</sup>  | 3.81±0.11 <sup>c</sup>  | 3.39±0.10 <sup>d</sup>  | 2.97±0.09 <sup>e</sup>  | 3.58±0.11 <sup>f</sup>  |
| C22:2       | ND                      | 0.56±0.02 <sup>a</sup>  | 0.55±0.02 <sup>a</sup>  | 0.56±0.02 <sup>a</sup>  | 0.58±0.02 <sup>a</sup>  | 0.58±0.02 <sup>a</sup>  |
| ΣPUFA       | 16.37±0.49 <sup>a</sup> | 21.62±0.65 <sup>b</sup> | 25.14±0.75 <sup>c</sup> | 24.90±0.75 <sup>d</sup> | 25.22±0.76 <sup>e</sup> | 24.53±0.74 <sup>f</sup> |
| AI          | 0.72±0.02 <sup>a</sup>  | 0.65±0.02 <sup>b</sup>  | 0.61±0.02 <sup>c</sup>  | 0.61±0.02 <sup>c</sup>  | 0.62±0.02 <sup>bc</sup> | 0.61±0.02 <sup>c</sup>  |
| TI          | 0.64±0.02 <sup>a</sup>  | 0.49±0.01 <sup>b</sup>  | 0.42±0.01 <sup>c</sup>  | 0.43±0.01 <sup>c</sup>  | 0.44±0.01 <sup>c</sup>  | 0.43±0.01 <sup>c</sup>  |
| PI          | 0.41±0.01 <sup>a</sup>  | 0.62±0.02 <sup>b</sup>  | 0.61±0.02 <sup>b</sup>  | 0.61±0.02 <sup>b</sup>  | 0.62±0.02 <sup>b</sup>  | 0.63±0.02 <sup>b</sup>  |

注:表中数据表示为均值±标准偏差,同行不同肩标小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ );ND表示未检出;ΣSFA:饱和脂肪酸总量;ΣMUFA:单不饱和脂肪酸总量;ΣPUFA:多不饱和脂肪酸总量。

## 2.4 肌肉中脂肪酸组成

由表4可知,野生和养殖鱼(S1、S2、S3、S4、S5)分别检测出19、21、22、22、18、19种脂肪酸,包括SFA(7、8、10、10、6和6种)、MUFA(5、5、4、4、4和5种)和PUFA(7、8、8、8、8和8种)等。野生和养殖大黄鱼 $\Sigma SFA > \Sigma MUFA > \Sigma PUFA$ 。野生鱼的 $\Sigma SFA$ 为41.91%,显著高于养殖鱼( $p < 0.05$ ),养殖鱼间亦差异显著( $p < 0.05$ )。其中,野生鱼的C16:0和C18:0均高于养殖鱼,而C14:0和C17:0则低于养殖鱼,差异显著( $p < 0.05$ )。野生鱼的棕榈酸(16:0)含量最高,为31.70%,这与北太平洋和南太平洋鱼类相似<sup>[29]</sup>。硬脂酸(18:0)是野生和养殖大黄鱼第二丰富的脂肪酸,在其他鱼类中也有类似报道<sup>[30]</sup>。野生鱼 $\Sigma MUFA$ 含量高于所有养殖鱼,且差异显著( $p < 0.05$ ),养殖鱼间也存在显著差异( $p < 0.05$ )。其中野生鱼的C16:1和C18:1高于养殖鱼且差异显著( $p < 0.05$ ),而C17:1和C24:1则显著低于养殖鱼( $p < 0.05$ )。油酸(C18:1)在所有MUFA中含量最高,这与意大利南部海域鱼类和中东部太平洋珍鲹(*Caranx*)犬牙石首鱼(*Cynoscion*)等几种鱼类的脂肪酸研究结果相似<sup>[31]</sup>。野生鱼 $\Sigma PUFA$ 为16.37%,显著低于所有养殖鱼( $p < 0.05$ ),养殖鱼间也存在显著差异( $p < 0.05$ )。其中野生鱼C20:5(EPA)和C22:6(DHA)显著低于养殖鱼( $p < 0.05$ ),此外,野生鱼 $\Sigma(EPA+DHA)$ 低于养殖鱼。亚油酸(18:2)是所有n-6脂肪酸种类中最具代表性的<sup>[32]</sup>,亚油酸和亚麻酸是必须从食物中获得的PUFA<sup>[32]</sup>,因此食用养殖大黄鱼有利于人体健康。野生鱼 $\Sigma PUFA(n-6)$ 和 $\Sigma PUFA(n-3)$ 低于所有养殖鱼,且与养殖鱼间差异显著( $p < 0.05$ );野生鱼(n-3)/(n-6)显著高于养殖鱼( $p < 0.05$ ),养殖鱼间也存在显著差异( $p < 0.05$ ),且野生和养殖鱼(n-3)/(n-6)均大于1,Simopoulos等报道n-3/n-6比例为1:1被认为是营养最佳的<sup>[33]</sup>;野生鱼AI和TI大于养殖鱼,差异显著

( $p < 0.05$ ),表明养殖鱼脂肪酸饱和度低,具有降血脂、软化血管和抑制血栓形成功能;野生鱼PI为0.41,小于养殖鱼,差异显著( $p < 0.05$ ),养殖鱼间差异不显著( $p > 0.05$ )。

## 2.5 肌肉中氨基酸营养分析

由表5可知,野生和养殖大黄鱼共检出17种氨基酸,其中谷氨酸含量最高,其次是天冬氨酸。野生鱼TAA、NEAA、SEAA和EAA含量均高于养殖鱼,且与养殖鱼差异显著( $p < 0.05$ );养殖鱼间EAA差异显著( $p < 0.05$ )。其中亮氨酸是含量最高必需氨基酸,而谷氨酸和天冬氨酸构成了野生(1.47)和养殖大黄鱼(1.19~1.31)中含量最高的非必需氨基酸(NEAA),Wang等在鲮鱼中报道过类似的氨基酸谱<sup>[34]</sup>。其中,野生鱼谷氨酸和天冬氨酸与养殖鱼差异显著( $p < 0.05$ ),养殖鱼间S1、S4、S5间无显著差异( $p > 0.05$ ),但与S2、S3差异显著( $p < 0.05$ )。野生鱼甘氨酸与S3、S5差异不显著外( $p > 0.05$ ),与其他养殖鱼差异显著( $p < 0.05$ )。野生鱼EAA/TAA、EAA/NEAA均大于养殖鱼(S5除外);野生鱼NEAA/TAA小于养殖鱼(S5除外)。由表6可知,野生鱼F值(2.29)高于养殖鱼(S4、S5除外)。人类F值范围为3.0~3.5,肝脏受损时,F值范围为1.0~1.5,因此养殖鱼(1.74~3.82)与人类F值更为接近,大于人体肝脏受损范围,说明降低胆固醇和保肝抗癌作用更好<sup>[35]</sup>。由AAS评分看,除S4和S5外,野生和养殖鱼的第一限制性氨基酸均为缬氨酸,第二限制性氨基酸为赖氨酸或蛋氨酸+胱氨酸;由CS评分看,野生和养殖鱼的第一或第二限制性氨基酸蛋氨酸+胱氨酸或缬氨酸,因此影响大黄鱼主要氨基酸为缬氨酸、赖氨酸和蛋氨酸+胱氨酸。AAS和CS从不同的角度反映了蛋白质组成和利用之间的关系,AAS被定义为EAA在人类需求蛋白质来源中的贡献者<sup>[36]</sup>。

表 5 养殖和野生大黄鱼背肌肉中氨基酸组成及含量 (g/100g, 以湿基计)

Table 5 Amino acid composition in dorsal muscle of cultured and wild large yellow croaker (g/100 g, wet basis)

| 氨基酸      | W                       | S1                      | S2                       | S3                      | S4                      | S5                      |
|----------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Glu 谷氨酸  | 2.24±0.07 <sup>a</sup>  | 1.85±0.06 <sup>b</sup>  | 1.94±0.06 <sup>c</sup>   | 2.00±0.06 <sup>d</sup>  | 1.83±0.05 <sup>b</sup>  | 1.86±0.06 <sup>b</sup>  |
| Asp 天冬氨酸 | 1.47±0.04 <sup>a</sup>  | 1.21±0.04 <sup>b</sup>  | 1.26±0.04 <sup>c</sup>   | 1.31±0.04 <sup>d</sup>  | 1.19±0.04 <sup>b</sup>  | 1.20±0.04 <sup>b</sup>  |
| Gly 甘氨酸  | 0.79±0.02 <sup>a</sup>  | 1.24±0.04 <sup>b</sup>  | 0.93±0.03 <sup>c</sup>   | 0.81±0.02 <sup>a</sup>  | 1.02±0.03 <sup>d</sup>  | 0.80±0.02 <sup>a</sup>  |
| Ala 丙氨酸  | 0.90±0.03 <sup>ab</sup> | 0.93±0.03 <sup>b</sup>  | 0.85±0.03 <sup>cde</sup> | 0.82±0.02 <sup>df</sup> | 0.88±0.03 <sup>ae</sup> | 0.81±0.02 <sup>f</sup>  |
| Ser 丝氨酸  | 0.64±0.02 <sup>a</sup>  | 0.57±0.02 <sup>b</sup>  | 0.58±0.02 <sup>b</sup>   | 0.51±0.02 <sup>c</sup>  | 0.56±0.02 <sup>b</sup>  | 0.55±0.02 <sup>b</sup>  |
| Tyr 酪氨酸  | 0.57±0.02 <sup>a</sup>  | 0.41±0.01 <sup>b</sup>  | 0.45±0.01 <sup>c</sup>   | 0.60±0.02 <sup>a</sup>  | 0.41±0.01 <sup>b</sup>  | 0.43±0.01 <sup>bc</sup> |
| Cys 半胱氨酸 | 0.09±0.00 <sup>a</sup>  | 0.15±0.00 <sup>bd</sup> | 0.16±0.00 <sup>bc</sup>  | 0.19±0.01 <sup>c</sup>  | 0.13±0.00 <sup>bd</sup> | 0.12±0.00 <sup>ad</sup> |
| Pro 脯氨酸  | 0.70±0.02 <sup>ac</sup> | 0.75±0.02 <sup>b</sup>  | 0.62±0.02 <sup>c</sup>   | 0.54±0.02 <sup>d</sup>  | 0.68±0.02 <sup>e</sup>  | 0.57±0.02 <sup>d</sup>  |
| Arg 精氨酸  | 0.96±0.03 <sup>a</sup>  | 0.90±0.03 <sup>b</sup>  | 0.87±0.03 <sup>b</sup>   | 0.83±0.02 <sup>c</sup>  | 0.87±0.03 <sup>b</sup>  | 0.82±0.02 <sup>c</sup>  |
| His 组氨酸  | 0.35±0.01 <sup>a</sup>  | 0.23±0.01 <sup>b</sup>  | 0.25±0.01 <sup>bc</sup>  | 0.33±0.01 <sup>a</sup>  | 0.23±0.01 <sup>b</sup>  | 0.24±0.01 <sup>b</sup>  |
| Lys 赖氨酸  | 1.36±0.04 <sup>a</sup>  | 0.52±0.02 <sup>b</sup>  | 0.55±0.02 <sup>bc</sup>  | 0.54±0.02 <sup>b</sup>  | 0.42±0.01 <sup>d</sup>  | 0.47±0.01 <sup>e</sup>  |
| Leu 亮氨酸  | 1.20±0.04 <sup>a</sup>  | 0.91±0.03 <sup>b</sup>  | 0.99±0.03 <sup>c</sup>   | 1.02±0.03 <sup>c</sup>  | 0.82±0.02 <sup>d</sup>  | 0.84±0.03 <sup>d</sup>  |
| Val 缬氨酸  | 0.81±0.02 <sup>a</sup>  | 0.38±0.01 <sup>b</sup>  | 0.40±0.01 <sup>b</sup>   | 0.44±0.01 <sup>c</sup>  | 2.04±0.06 <sup>d</sup>  | 2.36±0.07 <sup>e</sup>  |
| Ile 异亮氨酸 | 0.72±0.02 <sup>a</sup>  | 0.50±0.02 <sup>b</sup>  | 0.55±0.02 <sup>c</sup>   | 0.57±0.02 <sup>c</sup>  | 0.45±0.01 <sup>d</sup>  | 0.47±0.01 <sup>bd</sup> |
| Thr 苏氨酸  | 0.72±0.02 <sup>a</sup>  | 0.57±0.02 <sup>b</sup>  | 0.59±0.02 <sup>bc</sup>  | 0.59±0.02 <sup>bc</sup> | 0.61±0.02 <sup>cd</sup> | 0.60±0.02 <sup>bd</sup> |
| Phe 苯丙氨酸 | 0.62±0.02 <sup>a</sup>  | 0.58±0.02 <sup>bc</sup> | 0.61±0.02 <sup>ab</sup>  | 0.57±0.02 <sup>c</sup>  | 0.52±0.02 <sup>d</sup>  | 0.53±0.02 <sup>d</sup>  |
| Met 蛋氨酸  | 0.50±0.02 <sup>a</sup>  | 0.39±0.01 <sup>bc</sup> | 0.41±0.01 <sup>cd</sup>  | 0.43±0.01 <sup>d</sup>  | 0.32±0.01 <sup>e</sup>  | 0.33±0.01 <sup>e</sup>  |
| NEAA     | 7.40±0.22 <sup>a</sup>  | 7.11±0.21 <sup>b</sup>  | 6.79±0.20 <sup>c</sup>   | 6.78±0.20 <sup>c</sup>  | 6.70±0.20 <sup>d</sup>  | 6.34±0.19 <sup>e</sup>  |
| SEAA     | 1.31±0.04 <sup>a</sup>  | 1.13±0.03 <sup>bc</sup> | 1.12±0.03 <sup>b</sup>   | 1.16±0.03 <sup>c</sup>  | 1.10±0.03 <sup>b</sup>  | 1.06±0.03 <sup>d</sup>  |
| EAA      | 5.93±0.18 <sup>a</sup>  | 3.85±0.12 <sup>b</sup>  | 4.10±0.12 <sup>c</sup>   | 4.16±0.12 <sup>d</sup>  | 5.18±0.16 <sup>e</sup>  | 5.60±0.17 <sup>f</sup>  |
| TAA      | 14.64±0.44 <sup>a</sup> | 12.09±0.36 <sup>b</sup> | 12.01±0.36 <sup>c</sup>  | 12.10±0.36 <sup>b</sup> | 12.98±0.39 <sup>d</sup> | 13.00±0.39 <sup>d</sup> |
| EAA/TAA  | 0.41±0.01 <sup>a</sup>  | 0.32±0.01 <sup>b</sup>  | 0.34±0.01 <sup>b</sup>   | 0.34±0.01 <sup>b</sup>  | 0.40±0.01 <sup>a</sup>  | 0.43±0.01 <sup>a</sup>  |
| NEAA/TAA | 0.51±0.02 <sup>a</sup>  | 0.59±0.02 <sup>b</sup>  | 0.57±0.02 <sup>b</sup>   | 0.56±0.02 <sup>b</sup>  | 0.52±0.02 <sup>a</sup>  | 0.49±0.01 <sup>a</sup>  |
| EAA/NEAA | 0.80±0.02 <sup>a</sup>  | 0.54±0.02 <sup>b</sup>  | 0.60±0.02 <sup>c</sup>   | 0.61±0.02 <sup>c</sup>  | 0.77±0.02 <sup>a</sup>  | 0.88±0.03 <sup>d</sup>  |

注: NEAA: 非必需氨基酸; SEAA: 半必需氨基酸; EAA: 必需氨基酸; TAA: 总氨基酸; 表中数据表示为均值±标准偏差, 同行不同肩标小写字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

表 6 养殖和野生大黄鱼氨基酸评分和化学评分分析

Table 6 Amino acid score and chemical score analysis of cultured and wild large yellow croaker

| EAA* | 氨基酸评分 (AAS) |      |      |      |      |          |          | 化学评分 (CS) |      |      |      |      |          |          | F 值  |
|------|-------------|------|------|------|------|----------|----------|-----------|------|------|------|------|----------|----------|------|
|      | Ile         | Leu  | Thr  | Val  | Lys  | Met+ Cys | Phe+ Tyr | Ile       | Leu  | Thr  | Val  | Lys  | Met+ Cys | Phe+ Tyr |      |
| W    | 0.86        | 0.81 | 0.86 | 0.78 | 1.19 | 0.8      | 0.93     | 0.65      | 0.67 | 0.73 | 0.59 | 0.92 | 0.45     | 0.63     | 2.29 |
| S1   | 0.59        | 0.61 | 0.68 | 0.36 | 0.45 | 0.73     | 0.77     | 0.45      | 0.51 | 0.58 | 0.27 | 0.35 | 0.42     | 0.52     | 1.81 |
| S2   | 0.65        | 0.67 | 0.7  | 0.38 | 0.48 | 0.77     | 0.83     | 0.49      | 0.55 | 0.6  | 0.29 | 0.37 | 0.44     | 0.56     | 1.83 |
| S3   | 0.68        | 0.69 | 0.7  | 0.42 | 0.47 | 0.84     | 0.92     | 0.51      | 0.57 | 0.6  | 0.32 | 0.36 | 0.48     | 0.62     | 1.74 |
| S4   | 0.54        | 0.55 | 0.73 | 1.96 | 0.37 | 0.61     | 0.73     | 0.4       | 0.46 | 0.62 | 1.48 | 0.28 | 0.35     | 0.49     | 3.56 |
| S5   | 0.56        | 0.57 | 0.71 | 2.26 | 0.41 | 0.61     | 0.75     | 0.42      | 0.47 | 0.61 | 1.71 | 0.32 | 0.35     | 0.51     | 3.82 |

## 2.6 呈味核苷酸分析

当生物体死亡后其参与的是 ATP 降解链条, 即 ATP 降解为 ADP, 再降解为 AMP, 接下来降解为 IMP 及其他核苷酸<sup>[37]</sup>。IMP 是典型的呈鲜味核苷酸, 野生

(0.80 μmol/g) 和养殖鱼 (0.98~1.03 μmol/g) IMP 含量在所有呈味核苷酸中最高, 表明野生和养殖大黄鱼的鲜味是主要的味道。AMP 所表现的滋味轮廓是独立的, 呈甜味, 野生 (0.03 μmol/g) 和养殖鱼 (0.02~0.03 μmol/g) 的 AMP 含量较少, 但 AMP 与 IMP 的协同

相互作用对鲜味有贡献<sup>[37]</sup>。

## 2.7 矿物元素分析

由表 8 可知, 本研究野生和养殖鱼共检出常量元素 4 种 (K、Na、Ca、Mg) 和微量元素 3 种 (Fe、Cu、Zn)。野生鱼和养殖鱼常量元素含量  $Ca>K>Na>Mg$ , 微量元素 Cu 含量最小 (0.14 mg/100 g)。野生鱼 K (301 mg/100 g) 含量高于养殖鱼 (223~249 mg/100 g), 且差异显著 ( $p<0.05$ ); 养殖鱼 S1 与 S4 无显著差异 ( $p>0.05$ ), 但与其它养殖鱼差异显著 ( $p<0.05$ )。野生鱼 Na 含量低于养殖鱼, 与养殖鱼差异显著 ( $p<0.05$ ) (S1、S4 除外)。野生鱼 Ca (304 mg/100 g) 含量小于养殖鱼 (476~702 mg/100 g), 且差异显著

( $p<0.05$ ); 养殖鱼间差异显著 ( $p<0.05$ )。大黄鱼钙含量丰富, 作为构成骨骼和牙齿的主要成分有着重要作用<sup>[38]</sup>。除 S2、S5 外, 野生鱼 Mg 含量低于养殖鱼, 与养殖鱼无显著差异 ( $p>0.05$ ) (S1、S4 除外)。野生鱼 Fe、Cu 含量均与养殖鱼差异显著 ( $p<0.05$ ), Zn 含量 (0.74 mg/100 g) 除 S1 外与养殖鱼差异显著 ( $p<0.05$ )。铁、铜、锌均为第四周期元素, 有报道提出“理化性质相似的元素, 其生物学功能是相互拮抗的”理论, 且这种拮抗作用通常发生在  $Zn:Cu>10$  及  $Zn:Fe>1$  时<sup>[21]</sup>, 野生和养殖鱼 Zn:Cu 范围在 1.92~5.29, W、S1 和 S2 的 Zn:Fe 范围在 0.50~0.82, 均在合理范围内; 而 S3、S4 和 S5 的 Zn:Fe 范围在 1.26~1.56, 不理想。

表 7 养殖和野生大黄鱼呈味核苷酸含量 ( $\mu\text{mol/g}$  鱼肉)

Table 7 Flavor nucleotides of cultured and wild large yellow croaker ( $\mu\text{mol/g}$ )

| 核苷酸 | ATP                    | ADP                    | AMP                    | IMP                    | H <sub>x</sub> R        | H <sub>x</sub>         |
|-----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| W   | 0.49±0.01 <sup>a</sup> | 0.31±0.01 <sup>a</sup> | 0.03±0.00 <sup>a</sup> | 0.80±0.02 <sup>a</sup> | 0.30±0.01 <sup>a</sup>  | 0.28±0.01 <sup>a</sup> |
| S1  | 0.43±0.01 <sup>b</sup> | 0.44±0.01 <sup>b</sup> | 0.02±0.00 <sup>a</sup> | 1.03±0.03 <sup>b</sup> | 0.46±0.01 <sup>b</sup>  | 0.39±0.01 <sup>b</sup> |
| S2  | 0.52±0.02 <sup>a</sup> | 0.46±0.01 <sup>b</sup> | 0.02±0.00 <sup>a</sup> | 0.98±0.03 <sup>c</sup> | 0.49±0.01 <sup>bc</sup> | 0.52±0.02 <sup>c</sup> |
| S3  | 0.56±0.02 <sup>c</sup> | 0.52±0.02 <sup>c</sup> | 0.02±0.00 <sup>a</sup> | 1.02±0.03 <sup>b</sup> | 0.50±0.02 <sup>c</sup>  | 0.50±0.02 <sup>c</sup> |
| S4  | 0.52±0.02 <sup>a</sup> | 0.50±0.02 <sup>c</sup> | 0.03±0.00 <sup>a</sup> | 1.03±0.03 <sup>b</sup> | 0.42±0.01 <sup>d</sup>  | 0.53±0.02 <sup>c</sup> |
| S5  | 0.44±0.01 <sup>b</sup> | 0.52±0.02 <sup>c</sup> | 0.02±0.00 <sup>a</sup> | 0.98±0.03 <sup>c</sup> | 0.50±0.02 <sup>c</sup>  | 0.52±0.02 <sup>c</sup> |

注: 表中数据表示为均值±标准偏差, 同类别同列不同肩标小写字母表示差异显著 ( $p<0.05$ )。

表 8 养殖和野生大黄鱼矿物质元素种类及含量 (mg/100 g)

Table 8 Macro and micro minerals of cultured and wild large yellow croaker (mg/100 g)

| 组别 | K                     | Na                      | Ca                     | Mg                       | Fe                     | Cu                      | Zn                     |
|----|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| W  | 301±9.03 <sup>a</sup> | 75.70±2.27 <sup>a</sup> | 304±9.12 <sup>a</sup>  | 31.10±0.93 <sup>ac</sup> | 0.90±0.03 <sup>a</sup> | 0.14±0.00 <sup>a</sup>  | 0.74±0.02 <sup>a</sup> |
| S1 | 225±6.75 <sup>b</sup> | 75.70±1.68 <sup>a</sup> | 476±14.28 <sup>b</sup> | 25.10±0.75 <sup>bd</sup> | 1.47±0.04 <sup>b</sup> | 0.38±0.01 <sup>bd</sup> | 0.73±0.02 <sup>a</sup> |
| S2 | 249±7.47 <sup>c</sup> | 88.80±2.66 <sup>b</sup> | 702±21.06 <sup>c</sup> | 32.20±0.97 <sup>c</sup>  | 1.51±0.05 <sup>c</sup> | 0.41±0.01 <sup>bc</sup> | 0.88±0.03 <sup>b</sup> |
| S3 | 233±6.99 <sup>d</sup> | 82.40±2.47 <sup>c</sup> | 562±16.86 <sup>d</sup> | 28.20±0.85 <sup>ab</sup> | 0.70±0.02 <sup>d</sup> | 0.39±0.01 <sup>bc</sup> | 0.88±0.03 <sup>b</sup> |
| S4 | 223±6.69 <sup>b</sup> | 76.50±2.30 <sup>a</sup> | 516±15.48 <sup>e</sup> | 24.30±0.73 <sup>d</sup>  | 0.62±0.02 <sup>e</sup> | 0.35±0.01 <sup>d</sup>  | 0.97±0.03 <sup>c</sup> |
| S5 | 239±7.17 <sup>c</sup> | 84.60±2.54 <sup>c</sup> | 692±20.76 <sup>f</sup> | 32.02±0.96 <sup>c</sup>  | 0.67±0.02 <sup>d</sup> | 0.42±0.01 <sup>c</sup>  | 0.86±0.03 <sup>b</sup> |

注: 表中数据表示为均值±标准偏差, 同类别同列不同肩标小写字母表示差异显著 ( $p<0.05$ )。

## 3 结论

不同养殖模式大黄鱼的品质特点是不一样的, 具体表现在外观、质构、营养和风味上。刚捕获的野生和养殖大黄鱼均鳞片紧致、完整, 粘液透明, 眼球饱满, 均为合格品甚至达到鲜鱼一级品, pH 均为近中性。野生鱼的内聚性、弹性、咀嚼性、剪切力显著高于养殖鱼, 野生鱼呈现低脂肪高蛋白特性, 野生和养殖大黄鱼  $\Sigma\text{SFA}>\Sigma\text{MUFA}>\Sigma\text{PUFA}$ , 常量元素含量  $Ca>K>Na>Mg$ 。上述结果为深入系统探究养殖和野生大黄鱼品质的差异性, 提升养殖大黄鱼品质和优化养殖模式等提供了依据。

## 参考文献

- [1] 韩承义.我国大黄鱼产业发展历程与市场分析[J].中国渔业经济,2011,6(29):67-74  
HAN Cheng-yi. The development process and market analyzing of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) industry in China [J]. Chinese Fisheries Economics, 2011, 6(29): 67-74
- [2] 2018 年渔业统计年鉴[M].中国农业出版社,2018  
2018 Fisheries Statistics Yearbook [M]. China Agriculture Press, 2018
- [3] 郭建平.传统网箱养殖大黄鱼精深加工工艺研究[J].食品科



- 技,2004,5:28-30
- GUO Jian-ping. Study on intensive processing technique about tradition net cage culture of large yellow croaker [J]. Food Science and Technology, 2004, 5: 28-30
- [4] 刘家富. 大黄鱼养殖与生物学[M]. 厦门大学出版社, 2013
- LIU Jia-fu. Culture and Biology of Large Yellow Croaker [M]. Xiamen University Press, 2013
- [5] 杨华, 陆森超, 张慧恩, 等. 超高压处理对养殖大黄鱼风味及品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(16): 244-249
- YANG Hua, LU Sen-chao, ZHANG Hui-en, et al. Effects of high hydrostatic pressure processing on the flavor and quality of cultured yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Science, 2014, 35(16): 244-249
- [6] 李明云, 胡玉珍, 苗亮, 等. 岱衢洋和官井洋大黄鱼自交与杂交子代生长性能及杂交优势分析[J]. 水产学报, 2010, 34(6): 679-684
- LI Ming-yun, HU Yu-zhen, MIAO Liang, et al. Studies on the growth characteristics and heterosis of genealogies of *Pseudosciaena crocea* [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(6): 679-684
- [7] Yi X, Shen H, Li J, et al. Effects of dietary vitamin E and astaxanthin on growth, skin colour and antioxidative capacity of large yellow croaker *Larimichthys crocea* [J]. Aquaculture Nutrition, 2018, 24(S1): 472-480
- [8] Du J L, Xu H L, Li S L, et al. Effects of dietary chenodeoxycholic acid on growth performance, body composition and related gene expression in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) fed diets with high replacement of fish oil with soybean oil [J]. Aquaculture, 2017, 479: 584-590
- [9] Ma J Wei Z H, Pan X Y, Mu H, et al. Dietary Hydroxyproline Improves the Growth And Muscle Quality of Large Yellow Croaker *Larimichthys crocea* [M]. Aquaculture, 2016
- [10] 李明云, 苗亮, 陈炯, 等. 大黄鱼仿生态分阶段养殖新模式的构建及问题探讨[J]. 宁波大学学报(理工版), 2017, 30, 2: 1-5
- LI Ming-yun, MIAO Liang, CHEN Jiong, et al. Establishment and discussion on the new model of simulated ecological and grading aquaculture for large yellow croaker [J]. Journal of Ningbo University (Science and Technology Edition), 2017, 30, 2: 1-5
- [11] 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[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(6): 70-77
- SHEN Wei-liang, WU Xiong-fei, SHENTU Ji-kang, et al. The effects of different diets and culture environments on the morphological variations in the large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Progress in Fishery Sciences, 2017, 38(6): 70-77
- [12] 郭全友, 李松, 姜朝军, 等. 两种饵料对养殖大黄鱼体色和品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2018, 6: 69-74
- GUO Quan-you, LI Song, JIANG Chao-jun. Effects of two fishmeals on skin color and quality of cultured large yellow croaker [J]. Sichuan Food and Fermentation, 2018, 6: 69-74
- [13] 郭全友, 宋炜, 姜朝军, 等. 两种养殖模式大黄鱼营养品质及其重金属含量分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 341-345
- GUO Quan-you, SONG Wei, JIANG Chao-jun, et al. Comparison of nutritional quality and heavy metals of *Pseudosciaena crocea* in different farmed modes [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(6): 341-345
- [14] 阮成旭, 袁重桂, 陶翠丽, 等. 不同养殖模式对大黄鱼肉质的影响[J]. 水产科学, 2017, 36(5): 623-627
- RUAN Cheng-xu, YUAN Chong-gui, TAO Cui-li, et al. Influence of culture patterns on flesh quality of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* [J]. Fisheries Science, 2017, 36(5): 623-627
- [15] 唐衍力, 成沙沙, 马舒扬, 等. 海州湾张网渔获物种类组成的时空变化及其主要影响因子[J]. 中国水产科学, 2017, 4: 831-844
- TANG Yan-li, CHENG Sha-sha, MA Shu-yang, et al. Temporal-spatial variability in the composition of catch by a stow net installed at Haizhou bay and its influencing factors [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 4: 831-844
- [16] 中华人民共和国卫生部. 鲜大黄鱼、冻大黄鱼、鲜小黄鱼、冻小黄鱼: SC/T 3101-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010
- Ministry of health of the People's Republic of China. Fresh and frozen large yellow croaker & fresh and frozen small yellow croaker: SC/T 3103-2010 [S]. Beijing: China standard publishing house, 2010.
- [17] 郭全友, 王晓晋, 姜朝军. 南美白对虾即食虾仁常温贮藏品质变化与货架期研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 121-126
- GUO Quan-you, WANG Xiao-jin, JIANG Chao-jun. Quality changes and shelf life of ready-to-eat *Penaeus vannamei* stored in ambient temperature [J]. Food & Machinery, 2018, 34(6): 121-126
- [18] Agh N, Jasour M S, Noor F. Potential Development of value-added fishery products in underutilized and commercial fish species: comparative study of lipid quality indicators [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2014, 91(7): 1171-1177

- [19] Simat T B V, Poljak V, Prtric'evic' S. Changes in fatty acid composition, atherogenic and thrombogenic health lipid indices and lipid stability of bogue (*Boops boops* Linnaeus, 1758) during storage on ice: Effect of fish farming activities [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 40: 120-125
- [20] Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO/WHO, in Protein Quality Evaluation: Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation. Rome, Italy, 1991
- [21] Pellett P L, Young V R. Nutritional evaluation of protein foods [J]. Food & Nutrition, 1980
- [22] 孟玉琼, 马睿, 申屠基康, 等. 野生和配合饲料养殖大黄鱼品质的比较研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2016, 46(11): 108-116  
MENG Yu-qiong, MA Rui, SHENTU Ji-kang, et al. Comparative studies on the quality of wild and formulated diet fed large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Periodical of Ocean University of China, 2016, 46(11): 108-116
- [23] Valente L M P, Moutou K A, Conceicao L E C, et al. What determines growth potential and juvenile quality of farmed fish species? [J]. Reviews in Aquaculture, 2013, 5, (1): S168-S193
- [24] Fuentes A, Femandez-Segovia I, Serra J A, et al. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality [J]. Food Chemistry, 2010, 4: 1514-1518
- [25] I A Johnston, Li X J, Vieira V L A, et al. Muscle and flesh quality traits in wild and farmed Atlantic salmon [J]. Aquaculture, 2006, 256(1-4): 323-336
- [26] Periago J, Ayala D, Lopez-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
- [27] Siano F, Bilotto S, Nazzaro M, et al. Effects of conventional and organic feed on the mineral composition of cultured European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2016, 23(4): 796-804
- [28] Tang B J, Wei W, Huang Y Q, et al. Growth performance and nutritional composition of *Hemifusus ternatanus* under artificial culturing conditions [J]. Aquaculture, 2016, 459: 186-190
- [29] Huynh M D, Kitts D D. Evaluating nutritional quality of pacific fish species from fatty acid signatures [J]. Food Chemistry, 2009, 114(3): 912-918
- [30] Murillo E, Rao K S, Durant A A. The lipid content and fatty acid composition of four eastern central Pacific native fish species [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2014, 33(1): 1-5
- [31] E Prato, Biandolino F. Total lipid content and fatty acid composition of commercially important fish species from the Mediterranean, mar grande sea [J]. Food Chemistry, 2012, 131(4): 1233-1239
- [32] Das U N. Essential fatty acids: biochemistry, physiology and pathology [J]. Biotechnology Journal, 2006, 1(4): 420-439
- [33] Simopoulos A P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids [J]. Biomedicine and Pharmacotherapy, 2002, 56(8): 365-379
- [34] Wang F, Ma X Z, Wang W, et al. Comparison of proximate composition, amino acid and fatty acid profiles in wild, pond and cage cultured longsnout catfish (*Leiocassis longirostris*) [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47(8): 1772-1776
- [35] 郭全友, 董艺伟, 李保国, 等. 淡腌青鱼加工过程、制品品质特征和安全性评价[J]. 浙江农业学报, 2017, 2: 315-322  
GUO Quan-you, DONG Yi-wei, LI Bao-guo, et al. Evaluation of quality and safety of lightly salted *Mylopharyngodon piceus* in processing and storage [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2017, 2: 315-322
- [36] Khairi M, Binti I N, Huda N, et al. Protein quality of fish fermented product: *Budu* and *Rusip* [J]. Asia Pacific Journal of Sustainable Agriculture, Food and Energy, 2014, 2(2): 17-22
- [37] 赵樑, 吴娜, 王锡昌, 等. 不同生长阶段中华绒螯蟹滋味成分差异研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(7): 261-269  
ZHAO Liang, WU Na, WANG Xi-chang, et al. Comparison of the flavor components of Chinese mitten crab at different growth stages [J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 32(7): 261-269
- [38] 吴沛霖, 王苗苗, 罗庆华, 等. 鳊鱼肌肉矿物质元素测定与评价[J]. 山西农业科学, 2014, 42(10): 1082-1084  
WU Pei-lin, WANG Miao-miao, LUO Qing-hua, et al. The determination and estimation of minerals in muscle of *Elopichthys bambusa* [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2014, 42(10): 1082-1084