

# 不同养殖模式罗非鱼品质的比较

叶 鸽<sup>1,2</sup>, 郝淑贤<sup>1</sup>, 李来好<sup>1\*</sup>, 林婉玲<sup>1</sup>, 邓建朝<sup>1</sup>, 魏 涯<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部水产品加工重点实验室, 国家水产品加工技术研发中心, 广东 广州 510300;  
2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

**摘 要:** 比较分析鱼菜共生养殖、纯投料养殖2种养殖模式奥尼罗非鱼的肌肉营养成分、感官特性、理化特性、氨基酸组成及含量。结果显示: 2种养殖模式下罗非鱼的水分、粗脂肪、粗灰分和总糖含量之间无显著差异, 而粗蛋白的含量差异显著; 感官评定中, 2种养殖模式下的罗非鱼的鲜味存在显著差异, 而口感、嫩度及可接受值差异均不显著; 理化指标中, 2种养殖模式的罗非鱼最终pH值、熟肉率和蒸煮损失均无显著差异, 持水性、滴水损失、肌肉脂肪、肌原纤维断裂指数、肌红蛋白含量有显著差异; 肌肉中检测到18种常见氨基酸, 天冬氨酸、脯氨酸、精氨酸的含量差异显著 ( $P < 0.05$ ), 其他氨基酸含量无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 2种养殖模式的罗非鱼必需氨基酸总量分别为22.49% (鱼菜共生模式) 和22.45% (纯投料模式), 无显著差异; 鱼菜共生模式养殖的罗非鱼中鲜味氨基酸总量显著高于纯投料模式; 甜味氨基酸总量分别为45.13% (鱼菜共生模式) 和51.18% (纯投料模式), 无显著差异。

**关键词:** 奥尼罗非鱼; 营养成分; 感官特性; 理化特性; 氨基酸

## Comparison of Meat Quality of Tilapia Under Different Culture Modes

YE Ge<sup>1,2</sup>, HAO Shu-xian<sup>1</sup>, LI Lai-hao<sup>1\*</sup>, LIN Wan-ling<sup>1</sup>, DENG Jian-chao<sup>1</sup>, WEI Ya<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture, National R & D Center for Aquatic Product Processing, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;  
2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** A comparative analysis of muscle nutrients, sensory characteristics, physical and chemical characteristics and amino acid composition was carried out on tilapias (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) cultured under aquaponics mode and pure feeding mode. Results showed that there was no significant difference in the contents of water, crude fat, crude ash and total sugar, but significant difference in the contents of crude protein was observed. In the sensory evaluation, significant difference was observed in umami, although there was no significant difference in taste, tender or consumer acceptance. There was no significant difference in pH, cooking yield or cooking loss rate between the two modes, but significant difference in water loss rate, drip loss rate, intramuscular fat, myofibril fracture index and myoglobin existed. Among 18 common amino acids detected, the contents of Asp, Pro and Arg in muscles were significantly different between both modes ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference in other amino acids ( $P > 0.05$ ). The contents of essential amino acids in tilapias under aquaponics mode and pure feeding mode were 22.49% and 22.45%, respectively, showing no significant difference. The content of umami amino acids in tilapias under aquaponics mode was significantly higher than that observed with pure feeding ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference ( $P > 0.05$ ) in the content of sweet amino acids, with abundance of 45.13% (aquaponics mode) and 51.18% (pure feeding mode).

**Key words:** tilapia; nutrients; sensory characteristics; physicochemical property; amino acids

中图分类号: TS254.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 02-0196-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201402037

收稿日期: 2013-03-26

基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-49); 国家农业科技成果转化资金项目 (2010GB23260577; 2009GB2E200303; 2010GB2E000335); 广东省科技计划项目 (2009A020700004; 2008A020100006; 2009B020201003); 广东省海洋渔业科技推广项目 (A200899B02; A200901C01); 农业部中央级公益性科研院所基本科研项目 (2010YD07)

作者简介: 叶鸽 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工与质量安全。E-mail: yege0621@163.com

\*通信作者: 李来好 (1963—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为水产品加工与质量安全。E-mail: laihaoli@163.com

罗非鱼 (tilapia) 是继三文鱼和对虾之后颇受国际市场欢迎的养殖水产品, 被认为是可替代优质海洋鱼的“白色三文鱼”<sup>[1]</sup>。目前, 全球有100多个国家和地区开展罗非鱼养殖, 年产量已超过200万 t, 是世界上第3大养殖品种, 也是我国重要的淡水养殖对象<sup>[2]</sup>, 被誉为未来动物性蛋白质的主要来源之一。我国是世界上最大的罗非鱼养殖国, 产品除部分鲜销外, 绝大部分被加工成冻罗非鱼片远销国外<sup>[3]</sup>。通过调查发现我国主要养殖品种有尼罗罗非鱼、奥利亚罗非鱼以及杂交种奥尼鱼、吉富罗非鱼和福寿鱼等多个品种。

近年来, 罗非鱼的养殖领域由原来在淡水池塘和小水库养殖拓宽到山塘和海水等水域养殖。养殖方式由原来的粗、套养为主, 转向以精养为主, 混养、立体养殖、网箱养殖多种养殖模式并存。但是对于罗非鱼的营养成分、肌肉物理特性等以及养殖模式对罗非鱼品质是否有影响很少有研究报道。本研究通过对不同养殖模式的奥尼罗非鱼的肌肉营养成分、感官特性、理化特性、氨基酸组成及含量进行分析和比较<sup>[4-5]</sup>, 探讨养殖模式对罗非鱼肉质的影响规律, 为罗非鱼的肉质改良等提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

罗非鱼由惠州市某养殖场提供, 鱼体质量 (500±50) g。鱼菜共生养殖模式组: 在水面种植台湾枸杞、鱼腥草, 在池塘中混养鳙鱼、鲢鱼、鲫鱼。纯投料养殖模式组: 在池塘中混养有青鱼、草鱼、鲢鱼、鳙鱼。

甲醇、三氯甲烷、正己烷 (均为分析纯) 天津市富宇精细化工有限公司; 三羟甲基氨基甲烷 (Tris) -HCl (超级纯) 广州威佳科技有限公司; 三氟化硼-甲醇 (分析纯) 上海安谱科学仪器有限公司。

### 1.2 仪器与设备

Mapada CN-3000 PC紫外-可见分光光度计 广州德菲科学仪器有限公司; 1100高效液相色谱仪 美国Agilent公司; GCMS-QP2010 plus气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司; Soxtec 2050脂肪自动分析仪、Tecator<sup>TM</sup> 2050消化系统、Kjeltec<sup>TM</sup> 2300蛋白质消化炉及自动分析仪 丹麦Foss公司。

### 1.3 方 法

鲜鱼覆冰保藏并及时送至实验室。取罗非鱼肉, 测定pH值、质构、失水率、熟肉率、贮存损失及感官评定分析, 其他样品置于一18℃冷冻保存用于其余指标测定。

#### 1.3.1 pH值测定

参考Duun等<sup>[6]</sup>的方法, 并稍加改动。称取碎鱼肉10 g, 加入10 mL 0.15 mol/L氯化钾溶液, 用均质器13 000 r/min均质30 s, 测pH值。每个样品做3个平行测定。

#### 1.3.2 常规成分分析

水分测定采用恒温常压干燥法<sup>[7]</sup>; 粗蛋白测定采用凯氏定氮法<sup>[7]</sup>; 粗脂肪测定采用索氏提取法<sup>[7]</sup>; 灰分测定采用常压干燥法<sup>[7]</sup>; 总糖的测定采用常规分析方法<sup>[8]</sup>。

#### 1.3.3 肉质感官评定 (品尝实验)

将罗非鱼样品剪切成2 cm×2 cm×1 cm的肉块, 放入瓷碗里, 蒸煮8 min, 邀请经过专业培训的9人同时参加品尝, 采用“盲法”对罗非鱼的鲜味、口感、嫩度进行打分<sup>[9]</sup>, 以1~5之间的分值表示 (表1)。3项评分之和为该样品的可接受度值。

表1 肉质感官评定分值表  
Table 1 Criteria for sensory evaluation of cooked tilapia meat

指标	1分	2分	3分	4分	5分
鲜味	滋味差, 无鲜甜味	滋味较差, 略带鲜甜味	滋味一般, 有鲜甜味	滋味较好, 鲜甜味较浓	滋味佳, 鲜味浓
口感	无弹性, 口感差	略带弹性, 口感较差	有弹性, 口感一般	弹性较好, 口感较好	弹性好, 口感好
嫩度	组织浮软	组织较松软	组织有一定弹性	嫩度较好	嫩度正适中

#### 1.3.4 熟肉率、蒸煮损失率的测定<sup>[10]</sup>

取背部肌肉, 切成1 cm×1 cm×1 cm的块状, 放在蒸格上用沸水蒸30 min, 取出后冷却15 min, 称质量, 按式 (1)、(2) 计算熟肉率、蒸煮损失率:

$$\text{熟肉率}/\% = \text{蒸煮后肉样质量} / \text{蒸煮前肉样质量} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{蒸煮损失率}/\% = 100 - \text{熟肉率} \quad (2)$$

#### 1.3.5 滴水损失法测失水率<sup>[10]</sup>

取背肌切成3 cm×1 cm×1 cm小块, 称质量后置于充气的塑料袋中 (使肉块悬于中心, 不接触薄膜), 在4℃冰箱中吊挂48 h后称质量, 以样品质量损失百分比表示滴水损失率, 按式 (3) 计算:

$$\text{滴水损失率}/\% = (\text{贮前质量} - \text{贮后质量}) / \text{贮前质量} \times 100 \quad (3)$$

#### 1.3.6 贮存损失率测定

取背肌切成3 cm×1 cm×1 cm小块, 装袋, 在4℃冰箱中吊挂24 h后称质量并按式 (4) 计算。

$$\text{贮存损失率}/\% = (\text{贮前质量} - \text{贮后质量}) / \text{贮前质量} \times 100 \quad (4)$$

#### 1.3.7 肌内脂肪测定

参照郭焱芳等<sup>[10]</sup>方法测定。取肉样, 绞成肉糜, 取 (10±0.050) g, 置于广口瓶中, 加入甲醇60 mL, 盖好瓶盖, 置于磁力搅拌器上搅拌30 min, 加入三氯甲烷90 mL, 搅拌30 min, 静置36 h。将浸提液过滤于刻度分液漏斗中, 用约50 mL三氯甲烷分次洗涤残渣; 加入30 mL蒸馏水, 旋摇, 静置待分层, 上层为甲醇层, 下层为三氯甲烷脂肪层, 记录下层体积后, 缓慢打开分液漏斗弃去约2 mL液体后, 再缓慢放出下层液体于烧杯中, 取4个已经干燥至恒定质量的烧杯用移液管移出50.00 mL下层液体于烧杯中, 烘干冷却, 称质量并记录, 按式 (5) 计算脂肪含量:

$$\text{肌内脂肪含量}/\% = [(m_2 - m_1) \times V_1] / (m_0 \times 50) \times 100 \quad (5)$$

式(5)中:  $m_0$ 为肉样质量/g;  $m_1$ 为烧杯质量/g;  $m_2$ 为烘干后烧杯和脂肪质量之和/g;  $V_1$ 为下层液体总体积/mL; 50为下层液体取样量/mL。

### 1.3.8 肌原纤维断裂指数测定

参照陆海霞<sup>[11]</sup>的方法, 并且稍作修改。取2 g鱼肉加6倍体积的0.1 mol/L KCl、0.02 mol/L Tris-HCl (pH 7.5) 缓冲液(A)和2倍体积的1% Triton、0.1 mol/L KCl、0.02 mol/L Tris-HCl缓冲液(B), 匀浆, 纱布过滤, 去结缔组织, 8 000 r/min冷冻离心10 min, 去上清液, 沉淀用8倍体积的A液洗涤并离心3次, 最后用A液清洗沉淀并稀释至20 mL, 待测。将肌原纤维悬浮液蛋白质量浓度调整为(0.5±0.05) mg/mL, 立即取10 mL在540 nm波长处测吸光度, 按式(6)计算肌原纤维断裂指数(myofibril fracture index, MFI):

$$MFI = A_{540 \text{ nm}} \times 200 \quad (6)$$

式(6)中:  $A_{540 \text{ nm}}$ 为溶液在540 nm波长处的吸光度。

### 1.3.9 肌红蛋白总量及相关色素的测定

参照Krzywicki<sup>[12]</sup>、马汉军<sup>[13]</sup>的方法。

#### 1.3.10 游离氨基酸测定

使用高效液相色谱仪进行分析<sup>[14]</sup>。

##### 1.3.10.1 样品前处理

样品自然解冻后, 称取5 g左右绞碎肉样, 加入45 mL 0.01 mol/L盐酸, 冰浴中高速匀浆2次(22 000 r/min, 每次10 s, 间隔10 s), 静置30 min后, 中速滤纸过滤。准确吸取2 mL滤液于离心管中, 10 000 r/min离心10 min, 取上清液过0.25 μm膜后测定。外标法测定样品中的游离氨基酸含量。

##### 1.3.10.2 色谱条件

色谱柱: ZORBAX Eclipse AAA氨基酸分析柱(150 mm×4.6 mm, 3.5 μm); 柱温40 °C; 流速1 mL/min; 进样量10 μL; 二级管阵列检测器, 检测波长338.10、262.26 nm; 荧光检测器, 检测波338.10 nm; 流动相A为磷酸盐缓冲液(pH 7.8), 流动相B为甲醇溶液, 流动相C为超纯水。

### 1.4 数据处理

所有数据采用统计软件SPSS 16.0进行分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 罗非鱼肉常规营养成分

由表2可知: 2种养殖模式罗非鱼的水分含量均在75%左右, 粗脂肪含量在4%左右, 粗灰分在1.9%左右, 纯投料养殖模式总糖含量稍高于鱼菜共生模式, 但二者无显著差异; 水分、粗脂肪、粗灰分和总糖平均值分别相差0.63%、0.48%、0.18%和0.01%, 差异均不显著( $P > 0.05$ ); 纯投料模式的粗蛋白比鱼菜共生组高1.43%, 差异显著( $P < 0.05$ )。

表2 罗非鱼肉常规营养成分比较 (n=9)

营养成分	鱼菜共生模式	纯投料模式
水分	74.80±2.88	75.43±2.88
粗蛋白	17.76±0.48 <sup>b</sup>	19.19±0.20 <sup>a</sup>
粗脂肪	3.54±0.10	4.02±0.10
粗灰分	1.81±0.29	1.99±0.01
总糖	0.50±0.09	0.51±0.03

注: 同行不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

### 2.2 罗非鱼肉感官评定

表3 罗非鱼的感官评价分析 (n=9)

Table 3 Sensory evaluation of tilapia meat from different culture modes (n=9)

评定项目	鱼菜共生模式	纯投料模式
鲜味	4.67±0.15 <sup>a</sup>	4.23±0.06 <sup>b</sup>
口感	4.40±0.35	4.27±0.31
嫩度	4.50±0	4.27±0.12
可接受度	13.57±0.47	12.77±0.25

由表3可知, 鱼菜共生模式和纯投料模式的罗非鱼肉的口感、嫩度和可接受度均无显著差异( $P > 0.05$ ); 而鱼菜共生模式的鲜味比纯投料组低0.47, 差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.3 罗非鱼肉理化特性

表4 罗非鱼肉理化特性比较 (n=9)

Table 4 Comparison of physicochemical characteristics tilapia meat from different culture modes (n=9)

理化指标	鱼菜共生模式	纯投料模式
pH	6.17±0.03	6.14±0.03
熟肉率/%	80.93±1.19	82.30±0.60
蒸煮损失/%	19.07±1.19	17.70±0.60
失水率/%	9.30±0.26 <sup>a</sup>	4.30±0.60 <sup>b</sup>
贮存损失率/%	6.07±0.32 <sup>a</sup>	1.30±0.01 <sup>b</sup>
肌内脂肪含量/%	1.41±0.08 <sup>b</sup>	3.44±0.20 <sup>a</sup>
肌纤维断裂指数	62±5.65 <sup>a</sup>	48±5.66 <sup>b</sup>

不同养殖模式对罗非鱼肉质各项理化指标的影响见表4。2种养殖模式的鱼肉最终pH值都在6.1左右, 差异不显著( $P > 0.05$ ); 纯投料模式的熟肉率比鱼菜共生模式提高了1.37%, 相应地, 前者比后者的蒸煮损失下降了1.37%, 差异均不显著( $P > 0.05$ ); 滴水损失法测得的鱼菜共生模式的失水率比纯投料模式高5.0%, 差异显著( $P < 0.05$ ), 即纯投料模式罗非鱼持水性明显优于鱼菜共生模式; 鱼菜共生模式的贮存损失率比纯投料模式的提高了4.77%, 差异显著( $P < 0.05$ ); 鱼菜共生模式的肌内脂肪比纯投料模式的降低了2.03%, 差异显著( $P < 0.05$ )。两者的肌原纤维断裂指数相差14, 差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.4 罗非鱼肉肌红蛋白及相关色素

罗非鱼肉中肌红蛋白总量及其3种主要存在形式的蛋白含量如表5所示。鱼菜共生模式的罗非鱼肌红蛋白含

量为19.89 mg/kg, 纯投料模式为26.38 mg/kg, 两者相差6.49 mg/kg, 差异显著 ( $P < 0.05$ ); 2种养殖模式罗非鱼的脱氧肌红蛋白、氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白的含量分别为40%、8%和37%, 差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。

**表 5 罗非鱼肉肌红蛋白及相关色素比较 (n=9)**  
**Table 5 Contents of myoglobin and its derivative forms in different tilapia meat from different culture modes (n=9)**

指标	鱼菜共生	纯投料
肌红蛋白/(mg/kg)	19.89 ± 1.56 <sup>b</sup>	26.38 ± 0.76 <sup>a</sup>
脱氧肌红蛋白/%	39.52 ± 0.68	40.07 ± 1.68
氧合肌红蛋白/%	9.34 ± 2.26	6.71 ± 1.05
高铁肌红蛋白/%	35.64 ± 2.15	38.68 ± 2.79

## 2.5 罗非鱼肉氨基酸含量的分析

**表 6 罗非鱼肉中主要游离氨基酸组成及含量 (n=9)**  
**Table 6 Major free amino acids in tilapia meat from different culture modes (n=9)**

游离氨基酸	鱼菜共生模式	纯投料模式
L-天冬氨酸	105.41 ± 12.82 <sup>a</sup>	32.69 ± 6.26 <sup>b</sup>
L-谷氨酸	159.86 ± 8.25	124.73 ± 23.19
L-丝氨酸	42.34 ± 10.50	42.19 ± 9.24
L-甘氨酸	598.48 ± 104.76	694.49 ± 45.24
L-苏氨酸	100.88 ± 17.61	73.31 ± 15.93
L-丙氨酸	27.89 ± 9.97 <sup>b</sup>	178.79 ± 19.95 <sup>a</sup>
L-脯氨酸	228.62 ± 29.24 <sup>a</sup>	76.70 ± 8.41 <sup>b</sup>
L-组氨酸	169.93 ± 38.52	141.56 ± 2.75
L-精氨酸	171.86 ± 12.21 <sup>a</sup>	117.56 ± 17.90 <sup>b</sup>
L-酪氨酸	50.52 ± 20.99	45.33 ± 6.19
L-蛋氨酸	27.42 ± 7.26	28.43 ± 5.07
L-色氨酸	35.77 ± 6.31	41.28 ± 1.52
L-苯丙氨酸	46.33 ± 16.67	50.57 ± 1.35
L-异亮氨酸	81.44 ± 20.00	85.10 ± 8.73
L-亮氨酸	68.89 ± 11.47	58.02 ± 2.86
L-赖氨酸	87.66 ± 11.36	77.41 ± 6.40
L-缬氨酸	48.97 ± 6.56	53.07 ± 2.64
L-半胱氨酸	159.14 ± 41.96	160.53 ± 5.87
氨基酸总量 (ΣAA)	2 211.40 ± 201.38	2 081.77 ± 64.08
鲜味氨基酸总量 (ΣUAA)	265.28 ± 4.58 <sup>a</sup>	157.41 ± 20.38 <sup>b</sup>
甜味氨基酸总量 (ΣSAA)	998.21 ± 126.92	1 065.48 ± 59.96
必需氨基酸总量 (ΣEAA)	497.35 ± 65.32	467.20 ± 29.44
半必需氨基酸总量 (ΣHEAA)	341.79 ± 45.22 <sup>a</sup>	259.12 ± 20.35 <sup>b</sup>
ΣUAA/ΣAA/%	12.00	7.56
ΣSAA/ΣAA/%	45.13	51.18
ΣEAA/ΣAA/%	22.49	22.45
ΣHEAA/ΣAA/%	15.45	12.45

食品营养价值的高低可以用多项指标来衡量, 其中最重要的评判指标是蛋白质。评价蛋白质的营养价值时, 必须依据氨基酸的组成和含量, 特别是人体8种必需氨基酸含量的高低和构成比例, 它们是决定蛋白质营养价值的最重要因素<sup>[15]</sup>。鱼菜共生养殖模式和纯投料养殖模式罗非鱼肉中氨基酸的组成及含量检测结果见表6。

从表6可以看出: 这2种模式养殖的罗非鱼肌肉中

氨基酸较丰富, 含有常见的18种氨基酸, 其中包括8种必需氨基酸 (essential amino acid, EAA)、2种半必需氨基酸 (half-essential amino acid, HEAA) 和8种非必需氨基酸 (not-essential amino acid)。比较2种养殖模式的罗非鱼各种氨基酸的平均值, 甘氨酸含量都是最高的, 分别占总氨基酸含量的27.06%和33.36%; 蛋氨酸含量都是最低, 分别占总氨基酸含量的1.24%和1.37%; 鱼菜共生模式中含量次之的是脯氨酸、精氨酸、组氨酸, 纯投料模式中含量次之的是丙氨酸、半胱氨酸、组氨酸。在这2种养殖模式中, 天冬氨酸、丙氨酸、脯氨酸、精氨酸的含量有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 其他氨基酸含量无显著差异 ( $P > 0.05$ )。赖氨酸含量分别为87.66 μg/g和77.41 μg/g, 赖氨酸既是人体第一必需氨基酸, 也是代谢上仅有的必需氨基酸, 因为它能够在体内发生转氨基反应, 在营养学上有重要意义。此外, 赖氨酸对营养不良、乙型肝炎、支气管炎等有一定的辅助疗效<sup>[16]</sup>。肌肉中含有一定量的支链氨基酸 (亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸), 它们有助于蛋白质合成、抗衰老和防治肝肾功能衰竭<sup>[17]</sup>。

动物蛋白质的鲜美程度取决于其鲜味氨基酸的组成和含量, 谷氨酸和天冬氨酸为呈鲜味的特征氨基酸, 其中谷氨酸的鲜味最强, 在这2种养殖模式的罗非鱼肉中, 谷氨酸含量分别为159.86 μg/g和124.73 μg/g, 它不仅是鲜味氨基酸, 还在人体代谢中有重要的意义, 是脑组织生化代谢中的首要氨基酸, 参与多种生理活性物质的合成, 有健脑作用<sup>[18-19]</sup>。鱼菜共生、纯投料2种养殖模式罗非鱼肉中: 鲜味氨基酸的总量分别为265.28 μg/g和157.41 μg/g; 甜味氨基酸的总量分别为998.21 μg/g和1 065.48 μg/g, 在氨基酸总量中所占比例较大, 分别为45.13%和51.18%; 必需氨基酸总量分别为497.35 μg/g和467.20 μg/g; 精氨酸和组氨酸为半必需氨基酸, 它们的含量分别为341.79 μg/g和259.12 μg/g。精氨酸对人体有很多生化和治疗作用, 它不仅是许多幼年哺乳动物生长所必需的氨基酸, 可以促进伤口的愈合<sup>[20]</sup>。

## 3 讨论

通过实验数据可以看出, 纯投料模式罗非鱼的肌肉营养成分优于鱼菜共生养殖模式。在粗蛋白和粗脂肪指标上, 纯投料模式都高于鱼菜共生模式, 这可能与投喂饲料有关。金庆华等<sup>[21]</sup>研究发现饲料蛋白含量越高, 则鱼体的蛋白含量就越高。张文兵等<sup>[22]</sup>采用6种营养成分含量不同的配合饲料对南方鲇幼鱼进行了6周的摄食-生长实验, 测定并比较了实验前后的鱼体组成, 分析了饲料组成对鱼体组成的影响, 结果发现鱼体蛋白质含量与饲料蛋白质含量呈显著正相关, 鱼体脂肪含量与饲料的比能值呈显著负相关。

肌肉的风味是指呈味物质刺激味蕾和挥发性香气化合物刺激鼻黏膜后引起的综合反映。鱼肉的鲜味氨基酸的组成和含量决定了鱼肉的鲜味。本研究结果显示：鱼菜共生模式罗非鱼肉的鲜味氨基酸含量显著高于纯投料模式罗非鱼，因而其肉质的鲜味显著优于纯投料模式。

肉的嫩度是肉的口感惬意程度的重要指标，主要取决于肌肉组织各组分及肌肉内部的生物化学变化程度，其中肌原纤维的状态对肉的嫩度具有决定性作用。Bejerholm等<sup>[23]</sup>研究发现，嫩度与肌肉脂肪含量呈正相关。纯投料模式罗非鱼中的肌原纤维断裂指数明显小于鱼菜共生模式，即前者的嫩度明显优于后者，同时，前者的肌肉脂肪明显高于后者，这与Bejerholm等<sup>[23]</sup>的结论是一致的。在氨基酸的含量上，鱼菜共生模式罗非鱼的总氨基酸含量和必需氨基酸含量稍高于纯投料模式，鲜味氨基酸含量显著高于纯投料模式，而甜味氨基酸含量稍低于纯投料模式。一般而言，同品种动物体组织内的氨基酸含量主要受食饵料的粗蛋白及氨基酸含量影响，青木隆子等<sup>[24]</sup>的研究认为：饵料及栖息地的不同可能影响游离氨基酸的含量，从而影响所测得氨基酸总量。

水体营养成分受很多因素的影响，如遗传因素、水体环境、饲料的组成、取样的季节、日常的管理、疾病的防范。纯投料养殖模式是通过全程投喂饲料使鱼类获得生长的一种精养模式。在整个体系运行过程中，残饵及鱼类的粪便不断地排入到鱼塘中，使水体极易发生富营养化，水体中化学耗氧量、氨氮、亚硝酸氮等污染因子不断升高，水质逐渐变坏，易引起鱼病。而鱼菜共生是一种新型的复合耕作体系，它把水产养殖与蔬菜生产这2种原本完全不同的农耕技术，通过巧妙的生态设计，达到科学的协同共生，无水质忧患，从而实现养鱼不换水的目的，让动物、植物、微生物三者之间达到和谐的生态平衡关系。所以鱼菜共生养殖模式是未来可持续循环型零排放的低碳生产模式，更是有效解决农业生态危机的最有效方法，它能兼顾罗非鱼品质与保护水环境两方面，使经济效益与社会效益达到最大化。

#### 参考文献：

- [1] 刘在军, 岑剑伟, 李来好, 等. 罗非鱼血液综合利用的研究思路及展望[J]. 南方水产科学, 2012, 8(2): 76-80.
- [2] 段志刚, 吴金英, 李文笙. 低温对罗非鱼类影响的相关研究进展[J]. 南方水产科学, 2011, 7(6): 77-82.
- [3] 邓楚津, 赖丽芬, 曾少葵, 等. 乳酸菌利用罗非鱼下脚料水解液发酵L-乳酸的探讨[J]. 南方水产科学, 2012, 8(1): 61-66.
- [4] INGADOTTIR B, KRISTINSSON H G. Gelation of protein isolates extracted from tilapia light muscle by pH shift processing[J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 789-798.
- [5] 洪惠, 朱思潮, 罗永康, 等. 鲮在冷藏和微冻贮藏下品质变化规律的研究[J]. 南方水产科学, 2011, 7(6): 7-12.
- [6] DUUN A S, RUSTAD T. Quality changes during superchilled storage of cod (*Gadus morhua*) filets[J]. Food Chemistry, 2007, 105(3): 1067-1075.
- [7] AOAC. Official methods of analysis[M]. 14th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists, 1994: 330-341.
- [8] 黄伟坤, 赵国君, 赖献桐, 等. 食品化学分析[M]. 上海: 科学技术出版社, 1978: 13-36.
- [9] 徐年军, 严小军, 徐继林, 等. 新型风味素对养殖脊尾白虾海鲜风味的影响[J]. 水产学报, 2005, 29(4): 507-511.
- [10] 郭焱芳. 发酵床养殖模式对猪舍环境及猪肉品质的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011: 19-20.
- [11] 陆海霞. 秘鲁鲑鱼肌原纤维蛋白质凝胶特性的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2009: 53-54.
- [12] KRZYWICKI K. The determination of haem pigments in meat[J]. Meat Science, 1982, 7(1): 29-36.
- [13] 马汉军, 周光宏, 徐幸莲, 等. 高压处理对牛肉肌红蛋白及颜色变化的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(12): 36-39.
- [14] 王晶. 干腌羊火腿工艺过程蛋白质水解规律及其相关性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008: 32-33.
- [15] 黄世英, 郭文韬, 杨志伟, 等. 人工养殖大鲵肉营养成分分析[J]. 时珍国医国药, 2009, 20(5): 1-2.
- [16] 黄湘芬, 陈开健, 许宝红, 等. 不同饲养条件下的鳙鱼肌肉营养成分研究[J]. 当代水产, 2011(7): 57-61.
- [17] 滕瑜, 郭晓华, 苑德顺, 等. 不同规格鲢类的生化组成及营养价值比较[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 121-125.
- [18] 王爱国, 曹斌. 利用生物技术育种促进苜蓿产业发展[J]. 草业科学, 2007, 24(4): 67-69.
- [19] 刘永红, 陈菊兰, 张洪荣, 等. 阿拉善荒漠草地牧草氨基酸组成特点与营养价值研究[J]. 草业学报, 2008, 17(6): 25-33.
- [20] 赵峰, 章龙珍, 宋超, 等. 点篮子鱼肌肉的营养成分分析与评价[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(3): 308-313.
- [21] 金庆华, 李桂玲. 中国鲢鱼营养成分的研究[J]. 食品科学, 1998, 19(8): 41-43.
- [22] 张文兵, 付世建, 曹振东. 不同配合饲料对南方鲂幼鱼体组成的影响[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1999, 24(3): 67-73.
- [23] BEJERHOLM C, BARTON-GADE P. Effect of intramuscular fat level on eating quality of pig meat quality[J]. Proceedings of the European Meeting Meat Research Workers, 1986(8): 5; 389-391.
- [24] 青木隆子. 六种天然鱼与养殖鱼的成分比较[J]. 日本水产学会志, 1991, 57(10): 1927-1934.