

## 不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较

高露姣<sup>1\*</sup>, 黄艳青<sup>1</sup>, 夏连军<sup>1</sup>, 陆建学<sup>1</sup>, 刘圣聪<sup>2</sup>

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所,农业部海洋与河口渔业资源及生态重点开放实验室,上海 200090;

2. 大连天正实业有限公司,辽宁 大连 116011)

**摘要:** 比较分析了3个地区分别代表3种不同养殖模式下的红鳍东方鲀成鱼的肌肉营养成分、风味物质含量和肌肉物理特性。结果显示:3种养殖模式下红鳍东方鲀的粗成分含量(水分、粗蛋白和粗脂肪)之间不存在显著差异( $P>0.05$ );肌肉中检测到18种常见氨基酸,氨基酸总量平均达肌肉湿样的(15.65%±0.95%)或肌肉干样的79.13%~83.19%;必需氨基酸总量和非必需氨基酸总量分别为32.77%~33.68%、39.06%~41.72%,3种养殖模式间均没有显著差异;鲜味氨基酸(谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸)总量,以丹东红鳍东方鲀(DD)最高,达32.09%,显著高于大连红鳍东方鲀(DL)的29.94%和河北唐山红鳍东方鲀(HB)的29.90%( $P<0.05$ ),其中谷氨酸是所有氨基酸中含量最高的,达肌肉干重的12%以上。 $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{AA}$ 比值为40.49%~41.79%, $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{NEAA}$ 为80.74%~85.89%,均高于FAO/WHO指出的理想模式标准;不同养殖模式对红鳍东方鲀肌肉的脂肪酸组成有显著差异,如C16:0、C20:1 $\omega$ 9、C22:6 $\omega$ 3、 $\Sigma\text{SFA}$ ;肌肉浸提液中肌苷酸(IMP)的含量是其他核苷酸降解产物的10~100倍,达220.75~265.03 mg/L。HB肌肉浸提液的K值显著低于DL和DD,表明HB有更长的货架时间。肌肉结构分析结果表明,HB和DD肌肉的硬度显著高于DL。红鳍东方鲀肌肉非常鲜美,营养价值很高,是很好的养殖对象;而养殖模式会影响其营养成分、风味物质的组成和含量以及肌肉的物理特性,其中池塘养殖至幼鱼后移至海上网箱养殖是相对好的一种养殖模式。

**关键词:** 红鳍东方鲀;肌肉;营养成分;风味物质;肌肉物理特性

**中图分类号:** S 963.16<sup>+2</sup>

**文献标志码:** A

红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)是河豚鱼中可进行养殖的优良品种之一,隶属鲀形目、鲀科、鲀属,属剧毒鱼类,尤其是肝脏、性腺和血液,处理不当或误食可引起中毒。但因其味道鲜美、肉质鲜嫩、营养丰富,素有“百鱼之首”的美称,深受消费者喜爱,我国沿海居民自古以来就有“拼死吃河豚”的习俗。在日本和韩国,河豚早已成为最受欢迎的食品,日本年消费量在2万t以上,尤其以红鳍东方鲀的消费量最大;韩国每年消费河豚也达到1万t左右(2004年),一半以上靠进口。近年,我国红鳍东方鲀养殖

业逐步走上正轨,产量稳步增长,2007年达到了8000t,产值6亿元。辽宁、河北两省养殖量最大,山东、天津也有养殖。商品鱼全部出口,其中鲜活鱼占总出口量的1/3,冰鲜鱼占2/3。但是对于红鳍东方鲀的营养成分、肌肉物理特性等以及养殖模式对其品质是否影响也很少有研究报道。本研究对大连、河北唐山和丹东3个地区不同养殖模式的红鳍东方鲀成鱼的肌肉营养成分进行了分析和比较,旨在为其营养需求及饲料研制提供理论参考。

收稿日期:2011-08-20 修回日期:2011-09-04

资助项目:中央级公益性科研院所基本业务费专项资金(中国水产科学研究院东海水产研究所2008M122009M06)

通讯作者:高露姣,E-mail:gaolujiaoyk@126.com

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

选择北方河豚养殖常见 3 种模式,亲本都是红鳍东方鲀,养殖期间,均投喂以玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)为主的冰鲜小杂鱼为饵料。

样品 1:2008 年 4 月大连天正实业有限公司人工繁育苗种,培育至 3~5 cm 规格时,改为海上网箱养殖,2008 年 11 月(150 g 左右)工厂化养殖越冬,2009 年 5 月上旬又转移到海上网箱养殖。2009 年 7 月 1 日随机取样 15 尾,作为实验材料,冰鲜冷藏运输至实验室分析。平均体长为(22.68±0.47) cm,体质量为(433.02±50.61) g。简称大连红鳍东方鲀(DL)。

样品 2:2007 年 4 月于河北唐山市唐海县南堡盐场养殖场进行人工繁育,苗种培育至 3~5 cm 规格时移至土池养殖,经室内工厂化养殖越冬后,次年 5 月再次转移至土池养殖。2009 年 6 月随机取样 15 尾,冷冻保存,7 月 1 日冰鲜至实验室分析。平均体长为(30.42±2.22) cm,体质量为(1062.14±152.57) g。简称河北红鳍东方鲀(HB)。

样品 3:2008 年 4 月在辽宁丹东张德全个体养殖户进行的人工繁育,苗种培育至 3~5 cm 规格时移至土池养殖,2008 年 11 月(150 g 左右)工厂化养殖越冬,2009 年 6 月又转移到海上网箱养殖。2009 年 7 月 1 日随机取样 15 尾,作为实验材料,冰鲜运输至实验室分析。平均体长为(27.28±1.96) cm,体质量为(668.34±177.61) g。简称丹东红鳍东方鲀(DD)。

### 1.2 样品处理

逐一测量每一个体的体长、体质量,解剖取其性腺、肝脏,并称重,计算肥满度和肝体比。去皮取其背部肌肉 2 块(2 cm×3 cm×0.8 cm),用于肌肉物理特性检测。剩余肌肉研碎混匀后取样 100 g,其中 50 g 于 60℃ 烘干,用于一般营养成分、氨基酸和脂肪酸含量测定。另 50 g 新鲜肌肉用于 pH 测定和核苷酸等物质浸提。每个样品重复取样 3 次,取平均值进行分析。

### 1.3 检测方法

按 GB 5009-85 方法分别测定红鳍东方鲀肌肉中的水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量;先

按 GB/T 15399-1994 氧化酸解法前处理样品,然后采用 GB/T 18246-2000 使用 Biochrom 20 型氨基酸自动分析仪测定胱氨酸含量;采用 GB/T 18246-2000 解法前处理,反相高效液相色谱法测定色氨酸含量;按 GB/T 5009.124-2003 方法使用 Biochrom 20 型氨基酸自动分析仪测定除色氨酸、胱氨酸外的 16 种氨基酸;按 GB/T 5009.168-2003 方法使用 Agilent6890 型气相色谱仪测定脂肪酸。

浸提液的提取采用热水和 80% 乙醇提取法<sup>[1]</sup>。取研碎的肌肉 10 g,加入 20 mL 纯水匀浆。80℃ 水浴加热 1 h。3 100×g 离心 20 min,沉淀物用 10 mL 去离子水洗涤 3 次,收集合并所有上清物质,定容至 50 mL。加入 225 mL 95% 的酒精,静置过夜后,3 100×g 离心分离 20 min,沉淀物用 50 mL 80% 的乙醇分别洗涤 3 次,3 100×g 离心 20 min,收集合并所有上清物质。旋转蒸发去除乙醇,去离子水洗涤转移浓缩物质,定容至 50 mL,-20℃ 保存备用。

浸出液核苷酸测定采用液相色谱法<sup>[2]</sup>。取 1 mL 浸提液,稀释 10 倍,0.45 μm 滤膜过滤,用高效液相色谱仪测定。Capcellask C18 SG 柱,平衡液 20 mmol/L 柠檬酸+20 mmol/L 乙酸+40 mmol/L 三乙胺,pH 4.8,流速 0.8 mL/min,柱温 40℃,260 nm 紫外比色检测。

肌肉物理特性测定采用英国 SMS 公司 TA XT plus 质构仪,选择直径 6 mm 的圆柱形探头,用两次压缩的质地剖面分析(TPA)模式分析红鳍东方鲀黄鱼肌肉的硬度、弹性、内聚性、粘附性、咀嚼性和回复性。探头测试前下行速度为 3 mm/s,测试速度为 1 mm/s,压缩 50%,停留 5 s。每尾鱼取其背部同一部位肌肉 2 块进行测定。

### 1.4 营养品质评价方法

根据联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)1973 年建议的氨基酸评分标准模式(% ,dry)<sup>[3]</sup>和全鸡蛋蛋白的氨基酸模式(% ,dry)<sup>[4]</sup>分别按以下公式计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)<sup>[5]</sup>:

$$AAS = \frac{aa}{AA(FAO/WHO)}$$

$$CS = \frac{aa}{AA(Egg)}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100A}{AE} \times \frac{100B}{BE} \times \frac{100C}{CE} \times \dots \times \frac{100G}{GE}}$$

式中,  $aa$  为试验样品氨基酸含量(%),  $AA$  (FAO/WHO) 为 FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量(%),  $AA$  (Egg) 为全鸡蛋蛋白中同种氨基酸含量(%),  $n$  为比较的必需氨基酸数,  $A, B, C, \dots, G$  为样品蛋白质的必需氨基酸含量(% , dry),  $AE, BE, CE, \dots, GE$  为全鸡蛋蛋白的必需氨基酸含量(% , dry)。

### 1.5 数据统计与处理

数据采用 SPSS 16.0 统计软件中独立样本  $t$ -检验 ( $t$ -Test) 进行两组间比较, 同时用 One-Way ANOVA 进行单因素方差分析, 描述性统计值使用平均值  $\pm$  标准差 (mean  $\pm$  SD) 表示,  $P < 0.05$  为具有显著性差异。

肥满度和肝体比计算公式:

$$\text{肥满度}(RF) = 100\% \times \text{体质量}(\text{g}) / \text{体长}^3(\text{cm}^3)$$

$$\text{肝体比}(HSI) = 100\% \times \text{肝脏质量} / \text{体质量}$$

## 2 结果

### 2.1 生物学参数

如表 1 所示, 大连 (DL)、河北 (HB)、丹东 (DD) 3 种养殖模式的红鳍东方鲀, 其体长和体质量相互间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 其中 DL 个体最小, 为 433.02 g, 而 HB 个体最大, 达 1 062.14 g。肥满度三者间略有差别, 但不显著 ( $P > 0.05$ ), 为 3.25 ~ 3.85。肝体比均  $< 0.2$  (出口日本的要求), 且三者间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 1 3 种养殖模式红鳍东方鲀的生物学参数

生物学参数 biometric parameters	养殖模式 cultured model		
	DL	HB	DD
体质量/g body weight	433.02 $\pm$ 50.61 <sup>a</sup>	1 062.14 $\pm$ 152.57 <sup>c</sup>	668.34 $\pm$ 177.61 <sup>b</sup>
体长/cm body length	22.68 $\pm$ 0.47 <sup>a</sup>	30.42 $\pm$ 2.22 <sup>c</sup>	27.28 $\pm$ 1.96 <sup>b</sup>
肝体比/% HSI	0.15 $\pm$ 0.01	0.15 $\pm$ 0.02	0.12 $\pm$ 0.02
肥满度/% RF	3.77 $\pm$ 0.28	3.85 $\pm$ 0.85	3.25 $\pm$ 0.43

注: 相同栏不同的上标字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Values in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

### 2.2 营养成分

**一般营养成分** 3 种养殖模式的红鳍东方鲀肌肉水分含量在 80% 左右。湿样中, 粗蛋白含量为 15.88% ~ 17.22%, 粗脂含量为 0.30% ~ 0.35%, 灰分含量为 1.10% ~ 1.25%。干样中, 粗蛋白含量高达 84.13% ~ 86.65%, 粗脂含量只有 1.49% ~ 1.84%。灰分含量为 5.47% ~ 6.65%。除 HB 肌肉灰分含量显著低于 DL 和 DD 外 ( $P < 0.05$ ), 其余粗成分含量在不同模式间没有显著差异, HB 肌肉灰分显著低于 DL 和 DD (表 2)。

表 2 3 种养殖模式红鳍东方鲀肌肉的粗成分含量  
Tab. 2 Chemical composition of *T. rubripes* muscle from three different cultured models (% dry matter)  
%, mean  $\pm$  SD,  $n = 15$

指标 index	养殖模式 cultured model		
	DL	HB	DD
水分 moisture	81.10 $\pm$ 2.05	79.90 $\pm$ 1.08	80.89 $\pm$ 1.29
粗蛋白 crude protein	84.13 $\pm$ 1.16	85.61 $\pm$ 1.16	86.65 $\pm$ 2.83
粗脂肪 crude lipid	1.57 $\pm$ 0.22	1.49 $\pm$ 0.09	1.84 $\pm$ 0.35
灰分 ash	6.65 $\pm$ 0.25 <sup>a</sup>	5.47 $\pm$ 0.31 <sup>b</sup>	6.62 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup>

注: 相同栏中不同的上标字母表示组间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Values in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

**氨基酸组成与含量** 3 种养殖模式红鳍东方鲀肌肉中 18 种常见氨基酸均被检测出, 氨基酸总量  $\Sigma AA$  达 (15.65  $\pm$  0.95) g/100 g 肌肉湿重, 占肌肉干重的 79.90% ~ 85.17%; 相对于人体的必需氨基酸总量  $\Sigma EAA$  和非必需氨基酸  $\Sigma NEAA$  总量平均值分别为 32.77% ~ 33.69%、32.99% ~ 37.20%, 三者间均没有显著差异。4 种单个鲜味氨基酸 (谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸) 在 3 种养殖模式红鳍东方鲀间没有显著差异, 但鲜味氨基酸总量  $\Sigma DAA$ , 以 DD 最高, 达 32.09%, 显著高于 DL (29.94%) 和 HB (29.90%) ( $P < 0.05$ ), 可能是因为单个鲜味氨基酸均以 DD 的相对最高, 累积后达到了显著差异水平。 $\Sigma EAA / \Sigma AA$  比值为 40.49 ~ 41.79%,  $\Sigma EAA / \Sigma NEAA$  分别为 83.89%、85.36% 和 80.74%, 均高于 FAO/WHO 指出的理想模式标准 ( $\Sigma EAA / \Sigma AA$  为 40% 左右,  $\Sigma EAA / \Sigma NEAA$  在 60% 以上<sup>[5]</sup>)。

3 组红鳍东方鲀肌肉单个氨基酸中, 均以谷氨酸含量为最高, 占肌肉干重的 12.22% ~ 12.82%; 其次为天冬氨酸 (Asp) 和赖氨酸 (Lys), 含量在 7.73% ~ 8.57%。不同组别间, 存在显著

差异的仅为赖氨酸和色氨酸,赖氨酸以 HB 含量为最高,色氨酸以 DL 为最高( $P < 0.05$ )。

表 3 3 种养殖模式红鳍东方鲀肌肉的氨基酸组成及含量  
Tab.3 Amino acids composition in muscles *T. rubripes* from three different cultured models

氨基酸组成 composition of amino acids	氨基酸含量(%干重) contents of amino acids(% dry weight)		
	mean $\pm$ SD, $n = 15$		
	DL	HB	DD
苏氨酸* Thr	3.59 $\pm$ 0.09	3.76 $\pm$ 0.14	3.71 $\pm$ 0.20
缬氨酸* Val	4.38 $\pm$ 0.12	4.43 $\pm$ 0.14	4.59 $\pm$ 0.22
蛋氨酸* Met	1.95 $\pm$ 0.14	1.95 $\pm$ 0.12	2.15 $\pm$ 0.16
异亮氨酸* Ile	4.00 $\pm$ 0.21	3.97 $\pm$ 0.17	4.07 $\pm$ 0.16
亮氨酸* Leu	6.73 $\pm$ 0.11	6.69 $\pm$ 0.26	6.87 $\pm$ 0.18
苯丙氨酸* Phe	3.36 $\pm$ 0.14	3.26 $\pm$ 0.24	3.42 $\pm$ 0.17
赖氨酸* Lys	7.73 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>	8.49 $\pm$ 0.22 <sup>a</sup>	8.07 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>
色氨酸* Trp	1.04 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	0.85 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	0.82 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>
组氨酸◇ His	2.05 $\pm$ 0.09	2.11 $\pm$ 0.13	2.21 $\pm$ 0.10
精氨酸◇ Arg	5.25 $\pm$ 0.07	5.29 $\pm$ 0.21	5.58 $\pm$ 0.16
谷氨酸▲ Glu	12.30 $\pm$ 0.20	12.22 $\pm$ 0.15	12.82 $\pm$ 0.21
甘氨酸☆ Gly	4.37 $\pm$ 0.18	4.45 $\pm$ 0.30	5.24 $\pm$ 0.15
丙氨酸▲ Ala	5.08 $\pm$ 0.14	5.05 $\pm$ 0.23	5.46 $\pm$ 0.16
天冬氨酸☆ Asp	8.19 $\pm$ 0.14	8.17 $\pm$ 0.136	8.57 $\pm$ 0.10
半胱氨酸☆ Cys	2.14 $\pm$ 0.15	2.16 $\pm$ 0.18	1.98 $\pm$ 0.22
丝氨酸☆ Ser	3.06 $\pm$ 0.12	3.09 $\pm$ 0.16	3.14 $\pm$ 0.10
脯氨酸☆ Pro	3.09 $\pm$ 0.21	3.14 $\pm$ 0.09	3.43 $\pm$ 0.12
酪氨酸☆ Tyr	2.98 $\pm$ 0.15	2.98 $\pm$ 0.11	3.07 $\pm$ 0.20
ΣAA	81.27 $\pm$ 2.34	79.90 $\pm$ 3.17	85.17 $\pm$ 0.20
ΣEAA	32.77 $\pm$ 1.72	33.39 $\pm$ 1.41	33.68 $\pm$ 0.25
ΣNEAA	39.06 $\pm$ 0.69	39.11 $\pm$ 2.96	41.72 $\pm$ 1.20
ΣHEAA	7.30 $\pm$ 0.14	7.40 $\pm$ 0.37	7.79 $\pm$ 0.58
ΣDAA	29.94 $\pm$ 0.51 <sup>b</sup>	29.90 $\pm$ 1.13 <sup>b</sup>	32.09 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>
ΣEAA/ΣAA(%)	41.41	41.79	40.49
ΣEAA/ΣNEAA(%)	83.89	85.36	80.74

注:ΣAA 为氨基酸总量,\* 为必需氨基酸,ΣEAA 为必需氨基酸总量;◇为半必需氨基酸,ΣHEAA 为半必需氨基酸总量;☆为非必需氨基酸,ΣNEAA 为非必需氨基酸总量;▲为鲜味氨基酸,ΣDAA 为鲜味氨基酸总量。“—”未检出。同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异( $P < 0.05$ )。

Notes:ΣAA is total amino acids. \* are essential amino acids and ΣEAA is their total amount. ◇ are half-essential amino acids and ΣHEAA is their total amount. ☆ are nonessential amino acids and ΣNEAA is their total amount. ▲are delicious amino acids and ΣDAA is their total amount. “—” is undetectable. Within the same row, values with different superscripts are significantly different( $P < 0.05$ ).

脂肪酸组成的比较 定量检测了 C4 ~ C24 的 34 种脂肪酸,结果显示,红鳍东方鲀肌肉中有 8 种饱和脂肪酸(SFA)、3 种单不饱和脂肪酸(MUFA)和 6 种多不饱和脂肪酸(PUFA)(表 4)。其中 C11:0(十一烷酸)、C21:0(二十一碳酸)、C20:2(二十碳二烯酸)、C23:0(二十三碳酸)仅是其中一种或两种养殖模式的红鳍东方鲀肌肉中

能检测到。ΣSFA 占总脂肪酸的 46.44% ~ 57.85%,其中 C16:0(棕榈酸)(30.28 ~ 43.53%)和 C18:0(硬脂酸)(10.62 ~ 14.46%)是含量最高的两种饱和脂肪酸,并且 HB 的 C16:0 含量显著高于 DL 和 DD( $P < 0.05$ ),是 HB 的 ΣSFA(57.85%)显著高于 DL 和 DD 的主要原因( $P < 0.05$ )。DL 的 MUFA 总含量为 24.79%,略高于 HB(17.44%)和 DD(20.99%)( $P > 0.05$ )。在单个 MUFA 中,含量最高的均为 C18:1 $\omega$ 9(油酸),含量达 13.34% ~ 17.18%,占整个 MUFA 的 76 ~ 81%。DHA(C22:6 $\omega$ 3)以 DD 和 DL 最高,显著高于 HB( $P < 0.05$ )。HB 含有相对最低的  $\omega$ 3/ $\omega$ 6 比值,为 18.62。

表 4 3 种养殖模式红鳍东方鲀肌肉的脂肪酸组成及含量  
Tab.4 Fatty acid contents in muscles of *T. rubripes* from three different cultured models

脂肪酸组成 composition of fatty acids	脂肪酸含量/% contents of fatty acids		
	mean $\pm$ SD, $n = 15$		
	DL	HB	DD
C11:0	—	—	0.23 $\pm$ 0.04
C14:0	1.15 $\pm$ 0.02	1.55 $\pm$ 0.04	0.80 $\pm$ 0.05
C15:0	0.33 $\pm$ 0.01	0.43 $\pm$ 0.03	0.29 $\pm$ 0.05
C16:0	30.28 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	43.53 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	31.63 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>
C16:1	4.71 $\pm$ 1.02	3.81 $\pm$ 1.13	3.52 $\pm$ 0.12
C17:0	0.92 $\pm$ 0.16	1.33 $\pm$ 0.18	1.22 $\pm$ 0.09
C18:0	14.46 $\pm$ 2.13	10.62 $\pm$ 0.76	11.84 $\pm$ 1.62
C18:1 $\omega$ 9	16.94 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>	13.34 $\pm$ 1.02 <sup>b</sup>	17.18 $\pm$ 0.93 <sup>a</sup>
C18:2 $\omega$ 6	1.12 $\pm$ 0.05	1.25 $\pm$ 0.03	1.26 $\pm$ 0.02
C18:3 $\omega$ 3	0.59 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	2.30 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.62 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>
C20:1 $\omega$ 9	3.14 $\pm$ 0.52 <sup>b</sup>	0.29 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	0.29 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>
C21:0	—	0.38 $\pm$ 0.53	—
C20:2	—	0.17 $\pm$ 0.12	—
C20:3 $\omega$ 3	1.52 $\pm$ 0.32	1.68 $\pm$ 0.36	1.98 $\pm$ 0.12
C23:0	—	—	0.44 $\pm$ 0.12
C20:5 $\omega$ 3(EPA)	3.77 $\pm$ 0.72	5.05 $\pm$ 0.66	5.20 $\pm$ 0.84
C22:6 $\omega$ 3(DHA)	21.06 $\pm$ 1.02 <sup>a</sup>	14.25 $\pm$ 2.03 <sup>b</sup>	23.51 $\pm$ 1.34 <sup>a</sup>
ΣSFA	47.14 $\pm$ 1.12 <sup>b</sup>	57.85 $\pm$ 0.62 <sup>a</sup>	46.44 $\pm$ 1.02 <sup>b</sup>
ΣMUFA	24.79 $\pm$ 2.42	17.44 $\pm$ 2.72	20.99 $\pm$ 3.45
Σ $\omega$ 3PUFA	26.94 $\pm$ 2.18	23.28 $\pm$ 2.75	31.31 $\pm$ 2.82
Σ $\omega$ 6PUFA	1.12 $\pm$ 0.06	1.25 $\pm$ 0.04	1.26 $\pm$ 0.08
$\omega$ 3/ $\omega$ 6ratio	24.05 $\pm$ 1.14	18.62 $\pm$ 1.23	24.85 $\pm$ 1.58
ΣPUFA	28.06 $\pm$ 2.82	24.70 $\pm$ 2.02	32.57 $\pm$ 2.98 <sup>a</sup>

注:ΣSFA 为饱和脂肪酸总量;ΣMUFA 为单不饱和脂肪酸总量;ΣPUFA 为多不饱和脂肪酸总量。“—”未检出。同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异( $P < 0.05$ )。

Notes:ΣSFA is total saturated fatty acids(SFA). ΣMUFA is total mono-unsaturated fatty acids(MUFA). ΣPUFA is total poly unsaturated fatty acids(PUFA). “—”undetectable. Within the same row, values with different superscripts are significantly different( $P < 0.05$ ).

红鳍东方鲀肌肉浸提液的核苷酸及其代谢产物组成。肌肉湿样中各种核苷酸含量见表5,肌苷酸(IMP)是含量最高的核苷酸降解产物,为其他核苷酸降解产物的10~100倍,其中DD的IMP平均值达265.03 mg/100 g组织,但与DL(220.75 mg/100 g)和HB(231.40 mg/100 g)没有显著差异。其次含量多的降解产物为次黄嘌呤核苷(HxR),达15~27 mg/100 g。DD的腺苷一磷酸(AMP)含量平均值高于DL和HB,但显著

性没有差异( $P > 0.05$ )。

评价新鲜度 $K$ 值(%)的计算方法为 $K(\%) = 100 \times (HxR + Hx) / (ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx)$ 。新鲜度 $K$ 值通常被用来预测各种鱼类僵硬期和货架期,因此可以推论在保藏期相同的条件下,HB的 $K$ 值为6.36,是三者中最低的,表明其ATP酶解作用速率要低于其他两种,显得更加新鲜且货架期可以更长。

表5 3种养殖模式红鳍东方鲀肌肉浸出物中核苷酸及代谢物含量(mg/100 g肌肉组织)、新鲜度 $K$ 值

Tab.5 Nucleotide and metabolites, and  $K$  values of muscle livivium of

*T. rubripes* from three different cultured models

mean  $\pm$  SD,  $n = 15$

核苷酸及代谢物/(mg/100 g) nucleotide and metabolites	养殖模式 cultured model		
	DL	HB	DD
腺苷三磷酸 adenosine 5'-Triphosphate, ATP	0.56 $\pm$ 0.04	0.33 $\pm$ 0.38	0.76 $\pm$ 0.05
腺苷二磷酸 adenosine 5'-diphosphate, ADP	6.52 $\pm$ 0.24	4.99 $\pm$ 0.14	6.20 $\pm$ 0.45
腺苷一磷酸 adenosine 5'-monophosphate, AMP	5.34 $\pm$ 3.91	6.60 $\pm$ 6.24	15.79 $\pm$ 7.23
肌苷酸 hypoxanthine nucleotide, IMP	220.75 $\pm$ 37.50	231.40 $\pm$ 19.66	265.03 $\pm$ 32.12
次黄嘌呤核苷 inosine, HxR	27.67 $\pm$ 5.24	15.53 $\pm$ 1.72	26.38 $\pm$ 6.40
次黄嘌呤 hypoxanthine, H <sub>x</sub>	3.56 $\pm$ 0.48	3.08 $\pm$ 0.69	3.64 $\pm$ 0.40
$K$ 值/%	12.06 $\pm$ 3.18 <sup>b</sup>	6.36 $\pm$ 0.88 <sup>a</sup>	10.65 $\pm$ 2.74 <sup>b</sup>

注:相同栏中不同的上标字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Notes: Values in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

### 2.3 肌肉物理特性

硬度(hardness/firmness)是食品保持形状所需的内部结合力,或者说使食品达到一定变形所需要的力,表现为人体触觉柔软或坚硬。检测结果显示,红鳍东方鲀肌肉硬度为449.69~778.29 g(表6),而且DD和HB肌肉硬度显著高于DL( $P < 0.05$ )。

弹性(springiness)为压缩至目标形变量后,样品可恢复的程度。红鳍东方鲀肌肉的弹性为0.65~0.70,三者间没有显著差异( $P > 0.05$ )。

粘附性(adhesiveness)为胶粘性的程度,以第一压缩后探头回撤时负数峰值下的面积来计算。红鳍东方鲀肌肉的粘附性平均值的绝对值为6.84~13.25 g·s。虽然三者间没有显著差异,但呈现出DD>DL>HB的趋势。

内聚性(cohesiveness)为面积 $A_2/A_1$ 的比率。 $A_2$ 是第二循环压缩行程下的面积, $A_1$ 是第一循环压缩行程下的面积。如果样品结构在第一压缩已被完全损坏,则该比率为0。如果样品是理想弹性体,且在第一压缩完全无损坏,则该比率为1.0。内聚性越高,肌肉咀嚼时越细腻,其口感也

越好。红鳍东方鲀肌肉的内聚性范围为0.38~0.44 g,三者间没有显著差异。

表6 3种养殖模式红鳍东方鲀肌肉物理特性

Tab.6 Texture and pH of *T. rubripes* from

three different cultured models

mean  $\pm$  SD,  $n = 15$

	养殖模式 cultured model		
	DL	HB	DD
硬度/g	449.69 $\pm$	632.14 $\pm$	778.29 $\pm$
hardness	22.00 <sup>b</sup>	99.76 <sup>a</sup>	46.39 <sup>a</sup>
粘附性/(g·s)	-9.42 $\pm$	-6.84 $\pm$	-13.25 $\pm$
adhesiveness	4.35	1.84	3.47
弹性	0.70 $\pm$	0.66 $\pm$	0.65 $\pm$
springiness	0.04	0.03	0.03
内聚性/g	0.44 $\pm$	0.39 $\pm$	0.38 $\pm$
cohesiveness	0.04	0.10	0.01
咀嚼性/g	138.73 $\pm$	156.99 $\pm$	191.72 $\pm$
chewiness	20.59 <sup>b</sup>	28.93 <sup>ab</sup>	1.20 <sup>a</sup>
回复性	0.17 $\pm$	0.19 $\pm$	0.19 $\pm$
resilience	0.01	0.02	0.01

注:相同栏中不同的上标字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Notes: Values in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

咀嚼性(chewiness) = 硬度  $\times$  粘附性  $\times$  弹性,咀嚼为吞咽状态所需的能量,值越低,明嫩度越

高。检测结果显示,DL 红鳍东方鲀肌肉的咀嚼性显著低于 DD,而 HB 与 DD 和 DL 之间没有显著性差异,表明 DL 河豚肌肉具有最高的嫩度。

回复性(resilience)指可恢复功/压缩功,得到 0~1 之间的比值,比值越大,回复性则越佳。红鳍东方鲀肌肉的回复性仅为 0.17~0.19,表明红鳍东方鲀肌肉的回复性较差。

### 3 讨论

#### 3.1 红鳍东方鲀的营养评价及其开发价值

肌肉营养成分是衡量养殖产品肌肉品质的重要指标。从检测的肌肉生化指标及其与其它海水鱼类比较来看,红鳍东方鲀的粗蛋白略低于黄斑篮子鱼(*Siganus canaliculatus*)<sup>[6]</sup>和点篮子鱼(*Siganus guttatus*) (21.20%)<sup>[7]</sup>,与大菱鲆(*Larimichthys maximus*) (16.91%)<sup>[8]</sup>和大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*) (16.55%)<sup>[9]</sup>接近,而其粗脂肪含量明显低于这几种海水鱼类,在肌肉湿重中只占 0.30%~0.35%。可见红鳍东方鲀是一种高蛋白低脂肪的鱼。从红鳍东方鲀肌肉所含的氨基酸组成来看,谷氨酸和赖氨酸含量丰富。谷氨酸是脑组织生化代谢中的重要氨基酸,参与多种生理功能性物质的合成<sup>[10]</sup>。赖氨酸是人乳中第一限制性氨基酸,同时赖氨酸对于以谷物为主的膳食者来说,它可以弥补谷物食品中赖氨酸的不足,从而提高人体对蛋白质的利用率<sup>[11]</sup>。红鳍东方鲀肌肉的精氨酸含量也相对较丰富,精氨酸是人体的条件性必需氨基酸,它不仅是幼年生长所必需的氨基酸,还可以促进伤口的愈合<sup>[12]</sup>。氨基酸对鲜味的影响比较复杂,谷氨酸被认为对鱼的风味起到最重要的作用,其次是甘氨酸<sup>[13]</sup>,红鳍东方鲀肌肉的谷氨酸平均含量达 12.22%~12.82%,甘氨酸平均值达 5.05%~5.58%,均高于点篮子鱼<sup>[7]</sup>、大菱鲆<sup>[8]</sup>、野生大黄鱼<sup>[9]</sup>。另一方面,很多学者认为 IMP 是风味产生的核心物质,通过测定 IMP 水平来评定肉制品风味好坏<sup>[14]</sup>。另外,由于味感有相乘效应,即一种物质的味感会因为另一种味感物的存在而显著加强<sup>[15]</sup>,AMP 和 IMP 除自身呈鲜味之外,与谷氨酸共存时会有明显的鲜味增效作用<sup>[16]</sup>。红鳍东方鲀肌肉含有较高的 IMP 含量,口味鲜美。

蛋白质的营养价值取决于其所含氨基酸的种类和数量,若含人体内所需各种氨基酸且含量充

足的蛋白质,营养价值高,为完全蛋白,而缺乏某种氨基酸或含量不足,则其营养价值低,为不完全蛋白。3 种养殖模式的红鳍东方鲀肌肉中均含有 18 种氨基酸(表 3),且氨基酸总量达 79.90%~85.17%,高于野生长鳍篮子鱼(又称黄斑篮子鱼)的 68.33%<sup>[6]</sup>、野生点篮子鱼的 74.57%<sup>[7]</sup>、野生大黄鱼的 71.31%<sup>[9]</sup>、人工养殖的大菱鲆的 74.34%<sup>[8]</sup>等。将表 3 中作为人体必需氨基酸的含量换算成每克氮中含氨基酸毫克数(乘以 62.50)后,与鸡蛋蛋白质的氨基酸模式、FAO/WHO 制订的蛋白质评价的氨基酸标准模式进行比较,并分别计算出氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)(表 7),得知 3 组红鳍东方鲀必需氨基酸的 AAS 评分除 Val、Thr 和 Leu 略低于 1 以外,其余都大于 1,其中 Lys 最高,达 1.42~1.56,其次为 Met + Cys,为 1.16~2.21;CS 评分结果,也是 Lys 分值最高,达 1.0 以上,其余必需氨基酸分值都在 0.66~0.8 之间。必需氨基酸指数是评价食物蛋白质营养的常用指标之一,它是鸡蛋蛋白质必需氨基酸为评价标准。经计算,3 种红鳍东方鲀肌肉的必需氨基酸指数(EAAI)为 76.61~77.64,明显地高于野生黄斑篮子鱼(61.07)<sup>[6]</sup>和野生点篮子鱼(69.77)<sup>[7]</sup>等经济鱼类。以上结果表明红鳍东方鲀肌肉必需氨基酸组成相对比较平衡,且含量十分丰富,因此可以认为红鳍东方鲀是营养价值很高的动物蛋白源。

河豚的肌肉营养成分,仅见张风雷等<sup>[17]</sup>对 6 种河豚[分别是棕斑腹刺鲀(*Gastrophysus spadiceus*)、暗鳍腹刺鲀(*G. wheeleri*)、圆斑腹刺鲀(*G. sceleratus*)、横纹东方鲀(*T. oblongus*)、双斑东方鲀(*T. obscures*)和暗纹东方鲀]的肌肉和肝脏中 EPA(二十碳五烯酸)、DHA(二十二碳六烯酸)含量及其利用价值进行了研究,结果表明这 6 种河豚脂肪含量低,并且所取的样品量少,河豚肌肉中没有检测出 EPA、DHA,但是肝脏含有丰富的 EPA、DHA。但本次的研究结果显示,红鳍东方鲀的肌肉中含有较高的 EPA 和 DHA,尤其是 DHA,其相对含量高达 14%~25%,与人工养殖大菱鲆(16.48%)<sup>[8]</sup>和黄斑篮子鱼(18.03%)<sup>[6]</sup>等相近,表明有高不饱和脂肪酸的营养。与张风雷等<sup>[17]</sup>研究结果不同的原因有 2 个,第一:品种不同,张风雷所分析的 6 种河豚中

没有本文涉及的红鳍东方鲀;第二:样品量不同,本研究取肌肉湿样为 50 g,用于脂肪酸分析的干样达 1 g,要远大于张风雷等的只有 5 g 湿样用于提取总脂,并在提取得到 10 mL 的总脂只有 3 mL

用于甲酯化后再上柱测定脂肪酸含量。结合红鳍东方鲀的蛋白质和氨基酸的含量和组成分析,表明红鳍东方鲀是很好的养殖品种,肌肉对人体具有很高的营养价值。

表 7 3 种养殖模式红鳍东方鲀肌肉 AAS,CS 及 EAAI 的比较

Tab. 7 Comparative analysis of AAS,CS and EAAI in muscles *T. rubripes* from three different cultured models

氨基酸 amino acids	FAO 评分模式 标准值/(mg/g) FAO evaluation mode standard	鸡蛋蛋白 标准值/(mg/g) egg protein standard	分值 score		
			DL	HB	DD
AAS 异亮氨酸 Ile	250		1.00	0.99	1.02
亮氨酸 Leu	440		0.96	0.95	0.98
赖氨酸 Lys	340		1.42	1.56	1.48
苏氨酸 Thr	250		0.90	0.94	0.93
缬氨酸 Val	310		0.88	0.89	0.93
色氨酸 Trp	60		1.08	0.89	0.85
蛋氨酸 + 半胱氨酸 Met + Cys	220		1.16	2.21	1.17
苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe + Tyr	380		1.04	1.03	1.07
CS 异亮氨酸 Ile		331	0.75	0.75	0.77
亮氨酸 Leu		534	0.79	0.78	0.80
赖氨酸 Lys		441	1.10	1.20	1.14
苏氨酸 Thr		292	0.77	0.80	0.79
缬氨酸 Val		410	0.67	0.67	0.70
色氨酸 Trp		99	0.66	0.54	0.52
蛋氨酸 + 胱氨酸 Met + Cys		386	0.66	0.67	0.67
苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe + Tyr		565	0.70	0.69	0.72
EAAI 必需氨基酸指数 essential amino acids index			77.64	76.82	76.61

### 3.2 养殖模式对红鳍东方鲀肌肉品质的影响

本研究中肥满度:DD < DL < HB;谷氨酸、甘氨酸、氨基酸总量和鲜味氨基酸总量:DD > DL 和 HB;DHA 含量:DD > DL > HB,肌苷一磷酸和肌苷酸含量:DD > HB > DL;肌肉的硬度、粘附性和咀嚼性:DL 好于 DD,DD 好于 HB。总体来说,DD 肌肉品质相对最好,其次是 DL。鱼类质地间的差异是由遗传、环境、饲养、运动等很多因素造成的<sup>[18]</sup>。在本实验材料中,DL、HB 和 DD 的亲本均为来自日本,通过工厂化育苗得到,只不过在不同地区进行繁育和养殖,故在遗传背景上没有大的不同,但是它们的养殖过程和养殖条件有所不同。DL 和 DD,都是 3~5 cm 苗种先在土池养殖,经室内越冬养殖至 5~10 cm 后再转移到海上网箱养殖。DL 和 DD 不同的是,DD 在海上网箱养殖过程中投喂的饵料要比 DL 的充足,其次 DD 所养殖的海域水质要优于 DL。而 HB,自 3~5 cm 苗种,除越冬阶段外,一直在土池养成。土池

养殖密度远小于海上网箱养殖,饵料也相对充足,因此 HB 生长快,其体质量、体长最高,DD 河豚的其次,而 DL 河豚的最小。另外,海上网箱养殖和池塘养殖的水域环境应该有所不同,池塘水域盐度较低,水肥,营养物质含量丰富,而海上网箱养殖,有一定的水深、水流刺激和水体交换,水质条件相对好,因此土池结合海上网箱养殖是河豚养殖的较好模式,而饵料充沛和水质条件好,更能保证河豚较好的肌肉品质。由此可见,养殖模式和环境条件对河豚鱼产品品质和其营养元素构成具有决定性作用。

### 3.3 质构仪在鱼类肌肉品质评价上的应用

采用质构仪来分析鱼糜、鱼肉品质,国内外已经比较常见,如尼罗罗非鱼 (*Oreochromis nilotica*) 鱼糜凝胶特性的研究<sup>[19]</sup>;冻藏条件或饲料成分对鱼类肌肉品质的影响研究。研究对象有养殖大黄鱼<sup>[20]</sup>、黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*)<sup>[21]</sup>、军曹鱼 (*Rachycentron*

canadum)<sup>[22]</sup>、大西洋鲑(*Salmo salar*)<sup>[23]</sup>、亚洲野鲮(*Labeo rohita*)<sup>[24]</sup>、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)<sup>[25]</sup>等。但因为不同学者所用质构仪的品牌和型号不同,测定时所用的探头、下行速度、压挤时间等的不同,所得的结果很难相互间比较。如果仪器型号、测定方法统一,所测得数据之间能较好反映肌肉质构特点,因此用质构仪检测肌肉物理特性的标准方法亟待制定。

#### 参考文献:

- [1] RYDER J M. Determination of adenosine triphosphate and its breakdown products in fish muscle by high-performance liquid chromatography [J]. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 1985, 33:678-680.
- [2] ÖZOGUL F, TAYLOR K D A, QUANTICK P, et al. A rapid HPLC determination of ATP related compounds and its application to herring stored under modified atmosphere [J]. *International Journal Food Science Technology*, 2000, 35(6):549-554.
- [3] FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and protein requirement [R]. FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973, 52:40-73.
- [4] 蔡完其(译). 养鱼饲料学[M]. 北京:中国农业出版社, 1980:114-115.
- [5] 邴旭文, 蔡宝玉, 王利平. 中华倒刺鲃肌肉营养成分与品质的评价[J]. *中国水产科学*, 2005, 12(2):211-215.
- [6] 庄平, 宋超, 章龙珍, 等. 黄斑篮子鱼肌肉营养成分与品质的评价[J]. *水产学报*, 2008, 32(1):77-83.
- [7] 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.
- [8] 王远红, 吕志华, 郑桂香, 等. 大菱鲆的营养成分分析[J]. *营养学报*, 2003, 25(4):438-440.
- [9] 林利民, 王秋荣, 王志勇, 等. 不同家系大黄鱼肌肉营养成分的比较[J]. *中国水产科学*, 2006, 13(2):286-291.
- [10] 张昌颖, 李亮, 李昌甫, 等. 生物化学[M]. 2版. 北京:人民卫生出版社, 1988:305, 561.
- [11] 严安生, 熊传喜, 钱健旺, 等. 鳊鱼含肉率及鱼肉营养价值价值的研究[J]. *华中农业大学学报*, 1995, 14(1):80-84.
- [12] SEIFLER E. Amino acid function in treatment [J]. *Surgery*, 1978, 84:224-227.
- [13] PARK J N, WATANABE T, ENDOH K I, et al. Taste-active components in a Vietnamese fish sauce [J]. *Fish Science*, 2002, 68:912-920.
- [14] 田刚, 余冰. 鸡肉肉质风味研究现状及其影响因素 [J]. *四川畜牧兽医*, 2000, 12:53-55.
- [15] 丁耐克. 食品风味化学[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1996:18-19.
- [16] 章超桦, 烘鹏志, 邓尚贵, 等. 翡翠贻贝的食品化学特性及其子海鲜调味料的应用[J]. *水产学报*, 2000, 24(3):267-270.
- [17] 张风雷, 赖少阳, 戴桂勋, 等. 六种河豚鱼组织中 EPA 与 DHA 含量调查[J]. *现代预防医学*, 2004, 31(3):336-337.
- [18] 佐藤守, 吉中禮二, 西中義裕, 他. 天然および養殖ヒラメ肉の营养成分の比较[J]. *日水志*, 1986, 52(6):1043-1047.
- [19] 吴云辉. 尼罗罗非鱼鱼糜凝胶特性[A]//2005福建省冷藏技术研讨会论文集资料集, 2005.
- [20] 戴志远, 崔雁娜, 王宏海. 不同冻藏条件下养殖大黄鱼肉质变化的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(8):188-191.
- [21] 包建强, 徐若, 路昊. 冻藏黄鳍金枪鱼背部肌肉 T. T. 曲线的研究[A]//中国制冷学会 2007 学术年会论文集, 2007.
- [22] LUGER A N, MCLEAN E, CRAIG S R. The effects of organic protein supplementation upon growth, feed conversion and texture quality parameters of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2007, 264:342-352.
- [23] EINEN O, THOMASSEN M S. Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*) II. White muscle composition and evaluation of freshness, texture and color characteristics in raw and cooked fillets [J]. *Aquaculture*, 1998, 169:37-53.
- [24] JAIN D, PATHARE P B, MANIKANTAN M R. Evaluation of texture parameters of Rohu fish (*Labeo rohita*) during iced storage [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 81:336-340.
- [25] GODIKSEN H, MORZEL M, HYLDIG G, et al. Contribution of cathepsins B, L and D to muscle protein profiles correlated with texture in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Food Chemistry*, 2009, 113:889-896.



## Comparison of flesh quality of farmed fugu, *Takifugu rubripes* from different culture models

GAO Lu-jiao<sup>1\*</sup>, HUANG Yan-qing<sup>1</sup>, XIA Lian-jun<sup>1</sup>, LU Jian-xue<sup>1</sup>, LIU Sheng-cong<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries Resources and Ecology, East China Sea Fisheries Research Institute,

Chinese Academy of Fisheries Sciences, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China;

2. Dalian Tianzheng Industrial Company Ltd., China, Dalian 116011, China)

**Abstract:** The differences of muscle in nutritional components, delicious materials and physical characteristics of farmed fugu, *Takifugu rubripes* from Dalian, Hebei and Dandong, were tested and analyzed in order to evaluate its nutritive value and flesh quality. The three groups represented three culture models. The results showed that the content of crude protein was about 85% of dry matter and the content of crude fat was lower than 2% dry matter. There were no significant differences in the contents of moisture and crude protein, crude lipid among the three series fugu. 18 common amino acids were found in the flesh, and amount of which was 15.75% of wet matter or 79.13%–83.19% of dry matter. The content of essential amino acids and nonessential amino acids was 32.77%–33.68% and 39.06%–41.72%, respectively. Glutamic acid was the most one in all amino acids, and its content was up to 12%. The delicious amino acids including Glu, Gly, Ala and Asp in Dandong group were up to 32.09%, higher than those of Dalian group (29.94%) and Hebei group (29.90%) significantly ( $P < 0.05$ ). There were also differences in some fatty acids, such as C16:0, C20:1 $\omega$ 9, C22:6 $\omega$ 3, and total saturated fatty acids (SFA). The results of nucleotide and its metabolites indicated that hypoxanthine nucleotide (IMP) was the highest metabolite of nucleotide, whose content was up to 220.75–265.03 mg/L, being 10–100 times as much as the others. The *K* value of HB group (6.36) was lower than DD (10.65) and DL (12.06), suggesting that it had a longer shelf life than DD and DL groups. The results of texture using texture analyzer SMS TA XT plus indicated that there was no difference except the hardness and chewiness of muscle among the three models. The hardness of HB and DD was higher than that of DL significantly ( $P < 0.05$ ). In conclusion, the pattern of amino acids, the high content of essential amino acids (EAA) and poly-unsaturated fatty acids (PUFA) and DHA indicated that fugu flesh was nutritional and healthy to human, and was a good species for development. Different culture model influenced the flesh quality, and the combination of pond culture and net cage culture in sea was a good model.

**Key words:** *Takifugu rubripes*; muscle; nutritional components; delicious materials; physical characteristics

**Corresponding author:** GAO Lu-jiao. E-mail: gaolujiaoyxk@126.com