

不同养殖模式下三倍体虹鳟鱼肉品质差异的研究

管玲玲 刘小红 田海宁 励建荣 孟玉琼 马睿

FILLET QUALITY DIFFERENCE OF TRIPLOID RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) CULTURED UNDER DIFFERENT MODES

GUAN Ling-Ling, LIU Xiao-Hong, TIAN Hai-Ning, LI Jian-Rong, MENG Yu-Qiong, MA Rui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2022.2021.0253>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

虹鳟 *spindlin* 基因克隆及不同倍性的表达分析

CLONING AND EXPRESSION ANALYSIS OF *SPINDLIN* GENE IN DIFFERENT PLOIDY RAINBOW TROUT

水生生物学报. 2021, 45(1): 14–21 <https://doi.org/10.7541/2021.2019.193>

三种方法诱导熊本牡蛎三倍体的比较研究

COMPARISONS OF THREE TRIPLOID INDUCTION METHODS IN *CRASSOSTREA SIKAMEA*

水生生物学报. 2021, 45(2): 352–359 <https://doi.org/10.7541/2021.2019.263>

光照周期和光照强度对循环水系统中墨瑞鳕的生长、肌肉营养成分及养殖收益的影响

EFFECTS OF PHOTOPERIOD AND LIGHT INTENSITY ON THE GROWTH, MUSCLE NUTRITION AND ECONOMIC

PERFORMANCE OF MURRAY COD (*MACCULLOCHELLA PEELII*) IN THE RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM

水生生物学报. 2021, 45(4): 781–789 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.105>

池塘内循环流水养殖模式对养殖塘上覆水-沉积物-间隙水磷时空分布特征及释放通量的影响

EFFECTS OF INNER-CIRCULATION POND AQUACULTURE ON DISTRIBUTION AND RELEASE FLUX OF PHOSPHORUS IN THE OVERLAYING-SEDIMENT-INTERSTITIAL WATER

水生生物学报. 2021, 45(5): 1045–1056 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.158>

大口黑鲈池塘工程化循环水养殖系统的溶解氧时空变化及菌群响应特征

TEMPORAL AND SPATIAL VARIATION OF DISSOLVED OXYGEN AND REACTION OF BACTERIAL COMMUNITY IN IN-POND RACEWAY SYSTEM (IPRS) OF LARGEMOUTH BASS (*MICROPTERUS SALMOIDES*)

水生生物学报. 2019, 43(6): 1290–1299 <https://doi.org/10.7541/2019.153>

虹鳟 $Fc\gamma R$ 的 α 和 γ 亚基基因的克隆及表达分析

MOLECULAR CLONING AND EXPRESSION ANALYSIS OF THE α AND γ SUBUNIT GENES OF $Fc\gamma R$ IN RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*)

水生生物学报. 2019, 43(1): 27–36 <https://doi.org/10.7541/2019.004>



doi: 10.7541/2022.2021.0253

不同养殖模式下三倍体虹鳟鱼肉品质差异的研究

管玲玲^{1,2} 刘小红² 田海宁³ 励建荣⁴ 孟玉琼^{3*} 马睿^{2*}

(1. 青海大学农牧学院, 西宁 810016; 2. 省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室, 西宁 810016; 3. 青海大学生态环境工程学院, 西宁 810016; 4. 渤海大学食品科学与工程学院, 锦州 121013)

摘要:以网箱(W)、工厂化循环水(G)和流水池塘(C)养殖4 kg左右的三倍体虹鳟为研究对象,通过检测表观、肉质、气味及营养价值相关111个品质指标来评价不同养殖模式下三倍体虹鳟鱼肉品质的差异。结果表明,在3种养殖模式下三倍体虹鳟鱼肉品质存在明显差异。其中,网箱养殖三倍体虹鳟鱼肉色调角、硬度、内聚性、弹性、咀嚼性、汁液流失率和失水率均显著高于其他养殖模式($P<0.05$),而挥发性气味物质中1-庚醇、庚醛、辛醛、壬醛和气味活度总值显著低于其他养殖模式($P<0.05$);工厂化循环水养殖三倍体虹鳟肥满度和鱼肉的红色值、色度值、盐溶性蛋白含量、总脂肪酸含量和n-3脂肪酸含量显著高于其他养殖模式($P<0.05$);流水池塘养殖三倍体虹鳟肥满度、鱼肉的黄色值、色度值、水分、脂肪含量、n-3脂肪酸含量和多不饱和脂肪酸含量最低($P<0.05$),出肉率、黏附性、肌糖原含量及挥发性风味物质中1-辛烯-3-醇、2,3-辛二酮、戊醛、庚醛、辛醛、(E)-2-癸烯醛和气味活度总值最高($P<0.05$)。总之,三种养殖模式养殖的三倍体虹鳟品质各具特色:网箱养殖三倍体虹鳟鱼肉质坚实富有弹性,挥发性风味物质含量较低;工厂化循环水养殖三倍体虹鳟具有较红的肉色并富含不饱和脂肪酸;流水池塘养殖三倍体虹鳟形体优美且出肉率相对较高,挥发性风味物质含量丰富。

关键词:网箱养殖; 工厂化循环水养殖; 流水池塘养殖; 肉质; 营养价值; 三倍体虹鳟

中图分类号: S965.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2022)07-1016-13



虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)是世界广泛养殖的肉质性冷水鱼类之一。三倍体虹鳟细胞内拥有三套完整染色体,具有生长快、肉质好和无基因污染等优点^[1],目前已在青海、新疆、甘肃和重庆等省(自治区)推广和养殖。主要养殖模式以水库大水面网箱养殖、陆基工厂化循环水养殖及利用山间溪流的流水池塘养殖为主。

随着产业的不断发展以及人民美好生活的需要,鱼类品质成为关注的重点。鱼类品质是一个较为复杂的概念,一般体现在表观、肉质、气味及营养价值方面^[2]。目前关于鱼肉品质影响因素的研究主要集中在环境^[3-5]、饲料^[6-8]、种质^[9-11]、规格^[12-14]和屠宰方式^[15-17]等。对罗非鱼(*Oreochromis spp.*)^[18,19]、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)^[20,21]和草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[22,23]的研究表明,不同养殖模式对

鱼肉品质影响显著,而关于不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉品质差异对比却鲜见报道。

因此,本研究通过比较网箱养殖、工厂化循环水养殖及流水池塘养殖三种模式下三倍体虹鳟在表观、肉质、气味及营养价值方面的差异,系统研究三种养殖模式下三倍体虹鳟品质特点,为三倍体虹鳟养殖产业可持续发展提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

网箱、工厂化循环水和流水池塘养殖三倍体虹鳟分别购自于青海[体重为(3.99±0.17) kg]、新疆[体重为(4.07±0.15) kg]和重庆[体重为(4.39±0.15) kg],依次命名为W、G和C养殖模式。每个养殖模式随机取12尾冰鲜去脏商品鱼并于宰杀72h内完成鱼肉

收稿日期: 2021-09-26; 修订日期: 2022-01-21

基金项目: 国家自然科学基金(31860731); 青海省科技项目(2019-NK-A2)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31860731); Qinghai Science and Technology Project (2019-NK-A2)]

作者简介: 管玲玲(1998—),女,硕士研究生;主要从事水产品品质与代谢研究。E-mail: 1330524140@qq.com

通信作者: 孟玉琼(1987—),女,博士,副教授;主要从事水产动物营养与品质研究。E-mail: yuqiongcheer@163.com 马睿(1986—),男,博士,教授;主要从事冷水鱼营养与饲料研究。E-mail: myrui713@163.com *共同通信作者

pH、肉色、质构和持水力等物理品质指标的测定, 去皮分割特定部位的鱼肉置于 -80°C 冰箱保存, 用于后续化学品质指标的测定, 不同指标的测定部位如图1所示。

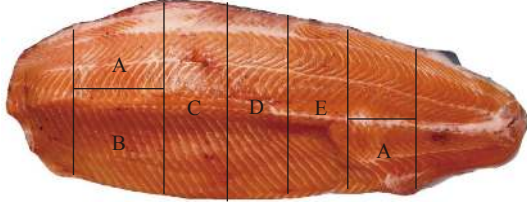


图1 鱼肉品质指标测定区域分布图

Fig. 1 Sampling segments for measurements of the quality parameters in the fillet of triploid rainbow trout

A. 检测肉色、质构和pH; B. 检测肌间隔宽度、汁液流失率、失水率和失脂率; C. 检测羟脯氨酸、水/盐溶性蛋白和肌糖原; D. 检测挥发性气味物质; E. 检测水分、灰分、脂肪、脂肪酸、总蛋白、氨基酸和矿物元素

A. Segment is used to assay muscle color, texture, pH; B. Segment is used to assay myoseptum thickness, liquid losses, water losses and fat losses; C. Segment is used to assay hydroxyproline, water/salt soluble protein and fillet glycogen; D. Segment is used to assay volatile odor compounds; E. Segment is used to assay moisture, ash content, lipid content, fatty acids, total protein, amino acids and mineral elements

1.2 实验方法

表观指标测定分析 测量每条鱼的体重、体长、内脏重和剖下的鱼片重, 并计算肥满度、去脏率和出肉率, 计算公式如下:

$$\text{肥满度}(\text{g}/\text{cm}^3) = W/L^3 \times 100 \quad (1)$$

$$\text{去脏率}(\%) = (W - W_v)/W \times 100 \quad (2)$$

$$\text{出肉率}(\%) = W_f/W \times 100 \quad (3)$$

式中, W 为鱼体质量(g), W_v 为内脏质量(g), W_f 为鱼片质量(g), L 为鱼体长(cm)。

使用体式显微镜(P2-DBL, 尼康, 日本)对三倍体虹鳟腹部特定部位鱼肉进行拍照, 之后使用Image-J软件统计三倍体虹鳟鱼肉肌间隔宽度。

采用色彩色差仪(CR-400, 柯尼卡美能达, 日本)测定三倍体虹鳟鱼肉的特定两个点的肉色, 并由 L^* (亮度值)、 a^* (红色值-绿色值轴)、 b^* (黄色值-蓝色值轴)、 Cab^* (色度值)和 Hab° (色调角)表示。参考Nickell等^[24]和Yeşilayer等^[25]方法, 按式(4)–(5)分别计算 Cab^* (色度值)和 Hab° (色调角)。

$$Cab^*(\text{色度值}) = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

$$Hab^\circ(\text{色调角}) = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) (a^* > 0) \quad (5)$$

肉质指标测定分析 在肉色测定点采用食品物性分析仪(TMS-PRO, FTC, 美国)的TPA(texture profile analysis)模式对鱼肉质构进行测定, 相关参数为: 圆柱形探头直径8 mm; 力量单元25 kg; 起始力0.1 N; 形变量60%; 检测速度60 mm/min。之后在对应点使用带有固态电极的pH计(S220, 梅特勒, 瑞士)进行鱼肉pH测定。

参照Schubring等^[26]的方法, 将鱼肉放入提前烘干的三层滤纸(定量滤纸 $\phi 12.5$ cm)中, 使用食品物性分析仪(TMS-PRO, FTC, 美国)进行挤压处理, 将滤纸放入 75°C 烘箱烘24h, 称重, 计算鱼肉汁液流失率、失水率和失脂率。

$$\text{汁液流失率}(\%) = (m_1 - m_0)/m \times 100 \quad (6)$$

$$\text{失脂率}(\%) = (m_2 - m_0)/m \times 100 \quad (7)$$

$$\text{失水率}(\%) = (m_1 - m_2)/m \times 100 \quad (8)$$

式中, m 为样品的重量(g), m_0 为滤纸的重量(g), m_1 为挤压样品后滤纸的重量(g), m_2 为烘24h后滤纸的重量(g)。

采用AOAC标准方法^[27]检测鱼肉中总蛋白和灰分含量。鱼肉总蛋白含量采用凯氏定氮法(N $\times 6.25$)测定(2300-Auto-analyzer, FOSS, 丹麦); 鱼肉灰分含量采用 550°C 燃烧法测定。鱼肉脂肪含量采用氯仿甲醇提取法^[28]测定。鱼肉水分采用冻干法测定。

鱼肉碱溶性、碱不溶性羟脯氨酸和总羟脯氨酸含量及水溶性蛋白和盐溶性蛋白含量的测定方法参考马睿^[29]。肌糖原含量的测定采用南京建成试剂盒(货号: A043-1-1)。

气味指标测定分析 挥发性气味物质测定参考Ma^[1]方法。采用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS; QP2020, 岛津, 日本)测定。

挥发性气味物质的评价方法: 用气味活度值(OAV, Odor activity value)来描述单个挥发性气味物质对整体气味的贡献。当该物质OAV ≥ 1 时, 为气味活性物质, 对鱼肉整体风味有贡献。

$$\text{OAV} = C/OT \quad (9)$$

式中, C 为挥发性气味物质的相对浓度, OT 为挥发性气味物质的阈值。

营养价值指标测定分析 鱼肉结合态氨基酸含量的测定方法参照GB5009.124—2016并略有改动, 使用HPLC(HP1260, 安捷伦, 美国)进行测定。检测参数: 采用Agilent 1260 HPLC自动进样

器,对氨基酸标准品和样品氨基酸进行OPA-FMOC在线衍生。硼酸缓冲液(pH 10.4)2.5 μ L,氨基酸标准品或样品液0.5 μ L,混合2次,等待0.5min,洗针,邻苯二甲酐(OPA)0.5 μ L,混合6次,洗针,9-芴甲基氯甲酸酯(FMOC)0.5 μ L,混合6次,洗针,衍生。色谱条件:G7121A荧光检测器(FLD);色谱柱:ZORBAX Eclipse-AAA(4.6 mm \times 150 mm, 3.5 μ m);柱温:40 $^{\circ}$ C;FLD检测波长:0.00—15.00min(λ_{Ex} =340 nm, λ_{Em} =450 nm), 15.00—26.00min(λ_{Ex} =266 nm, λ_{Em} =305 nm)。流动相A:40 mmol/L Na₂HPO₄(pH 7.8);流动相B:乙腈:甲醇:水=(45:45:10, v/v/v);泵设置:流速为2.0 mL/min,柱温为40 $^{\circ}$ C,停止时间为26min。

测定鱼肉脂肪时用氯仿-甲醇提取的脂质用于测定脂肪酸组成,参照Ma等^[30]方法将脂肪酸甲酯化,而后通过GC-MS(QP2020,岛津,日本)分离测定样品中脂肪酸甲酯和添加已知浓度的内标(十七烷甲酯)。气相参数:色谱柱为Rxi—5 sil MS(30 mm \times 0.25 mm, 0.25 μ m);色谱柱升温程序为以15 $^{\circ}$ C/min速度从150 $^{\circ}$ C升温到200 $^{\circ}$ C,而后以2 $^{\circ}$ C/min速度从200 $^{\circ}$ C升温到250 $^{\circ}$ C;载气为氦气,1 mg/min;接口温度为250 $^{\circ}$ C,采用分流模式(分流比:20:1)。质谱参数:电子轰击离子源,离子源温度为230 $^{\circ}$ C,接口温度为280 $^{\circ}$ C,电子能量为70 eV,质量扫描范围:45—500 m/z。每个脂肪酸甲酯定性通过外标(Supelco,美国)确定,定量根据内标浓度及目标脂肪酸甲酯和内标的峰面积之比计算。参照Ulbricht等^[31],计算致动脉粥样硬化指数(AI)和血栓形成指数(TI),具体计算公式如下:

$$AI = (C12:0 + C14:0 + C16:0) / (\text{SumPUFAs} + \text{SumMUFAs}) \quad (10)$$

$$TI = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / (0.5 \times \text{Sum PUFAs} + 0.5 \times \text{Sum n-6 PUFAs} + 3 \times \text{Sum n-3 PUFAs} + \text{n-3 PUFAs} / \text{n-6 PUFAs}) \quad (11)$$

式中,C12:0为十二烷酸,C14:0为十四烷酸,C16:0为十六烷酸,C18:0为十八烷酸,MUFA为单不饱和脂肪酸,PUFA为多不饱和脂肪酸,n-3 PUFA为n-3系列多不饱和脂肪酸,n-6 PUFA为n-6系列多不饱和脂肪酸。

鱼肉中矿物元素测定方法参考GB5009.268—2016,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS;iCAP RQ,赛默飞,美国)进行测定。

1.3 统计分析

实验数据均采用平均值 \pm 标准误(mean \pm SE)表示,使用SPSS 25.0统计软件进行单因素方差分

析,当差异显著时($P < 0.05$),采用Tukey's检验进行多重比较;使用SPSS 25.0统计软件进行主成分分析和聚类分析,用Origin 2019软件绘图。

2 结果

2.1 表观指标

由表1可知,不同养殖模式三倍体虹鳟的去脏率和肌间隔宽度差异不显著($P > 0.05$);不同养殖模式三倍体虹鳟的肥满度差异显著($P < 0.05$),从大到小分别是G>W>C。W组和G组三倍体虹鳟出肉率差异不显著($P > 0.05$),但都显著低于C组($P < 0.05$)。

在肉色方面,W组和G组三倍体虹鳟鱼肉的亮度值(L^*)和C组差异不显著($P > 0.05$),但W组鱼肉的亮度值(L^*)显著高于G组鱼肉的亮度值(L^*)($P < 0.05$);W组和C组三倍体虹鳟鱼肉的红色值(a^*)差异不显著($P > 0.05$),但都显著低于G组($P < 0.05$);W组和G组三倍体虹鳟鱼肉的黄色值(b^*)差异不显著($P > 0.05$),但都显著高于C组($P < 0.05$);不同养殖模式三倍体虹鳟的色度值(Cab^*)差异显著($P < 0.05$),从大到小分别是G>W>C;G组和C组三倍体虹鳟色调角(Hab°)差异不显著($P > 0.05$),但都显著低于W组($P < 0.05$)。

2.2 肉质指标

如表2所示,在物理性状方面,不同养殖模式三

表1 不同养殖模式三倍体虹鳟表观品质指标对比

Tab. 1 Comparison of biometrical parameters of triploid rainbow trout cultured under different modes ($n=12$)

指标Indicator	网箱养殖模式 Cage culture	工厂化循环水养殖模式 Recirculating aquaculture system	流水池塘养殖模式 Flowing pond
肥满度Condition factor (g/cm ³)	2.08 \pm 0.06 ^b	2.61 \pm 0.12 ^c	1.61 \pm 0.05 ^a
去脏率Gutted yield (%)	85.64 \pm 0.37	86.96 \pm 0.93	86.58 \pm 0.48
出肉率Fillet yield (%)	60.51 \pm 2.33 ^a	63.22 \pm 0.75 ^a	76.53 \pm 1.41 ^b
肌间隔宽度Myoseptum thickness (mm)	0.76 \pm 0.03	0.78 \pm 0.06	0.73 \pm 0.05
亮度值 L^*	47.30 \pm 0.79 ^b	44.65 \pm 0.37 ^a	46.16 \pm 0.82 ^{ab}
红色值 a^*	16.20 \pm 0.37 ^a	22.58 \pm 0.72 ^b	14.59 \pm 0.67 ^a
黄色值 b^*	24.20 \pm 0.90 ^b	26.22 \pm 0.66 ^b	18.59 \pm 1.04 ^a
色度值 Cab^*	28.47 \pm 1.07 ^b	34.62 \pm 0.91 ^c	23.64 \pm 1.22 ^a
色调角 Hab°	59.02 \pm 1.89 ^b	49.32 \pm 0.57 ^a	51.72 \pm 0.54 ^a

注:表中数据表示为平均值 \pm 标准误($n=12$);同行数据上标不同表示组间存在显著差异($P < 0.05$);下同

Note: Data present mean \pm SE ($n=12$); Values in each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$), the same applies below

倍体虹鳟鱼肉的破裂力和pH差异不显著($P>0.05$); G组和C组三倍体虹鳟鱼肉的硬度、内聚性、弹性和咀嚼性差异不显著($P>0.05$), 但均显著低于W组($P<0.05$); 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉的黏附性差异显著($P<0.05$), 从大到小分别是C>G>W。在持水力方面, 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉的失脂率差异不显著($P>0.05$); G组和C组三倍体虹鳟鱼肉的汁液流失率和失水率差异不显著($P>0.05$), 但均

表 2 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉肉质指标对比

Tab. 2 Comparison of fillet texture of triploid rainbow trout cultured under different modes

指标Indicator	网箱养殖模式 Cage culture	工厂化循环水养殖模式 Recirculating aquaculture system	流水池塘养殖模式 Flowing pond system
物理性状Physical property			
质构Texture			
硬度Hardness (N)	11.34±0.31 ^b	8.62±0.42 ^a	7.91±0.48 ^a
破裂力Fracture (N)	8.01±0.76	7.24±0.63	5.44±0.55
黏附性Adhesiveness (mJ)	2.82±0.26 ^a	4.22±0.30 ^b	5.70±0.23 ^c
内聚性Cohesiveness	0.22±0.01 ^b	0.19±0.01 ^a	0.19±0.01 ^a
弹性Springness (mm)	9.05±0.43 ^b	6.65±0.44 ^a	5.81±0.22 ^a
咀嚼性Chewiness (mJ)	21.63±1.51 ^b	10.53±1.13 ^a	7.93±0.54 ^a
持水力Water holding capacity (%)			
汁液流失率Liquid losses	16.04±0.69 ^b	11.04±0.40 ^a	12.15±0.33 ^a
失脂率Fat losses	6.32±0.56	4.98±0.43	5.41±0.20
失水率Water losses	9.73±0.39 ^b	6.06±0.21 ^a	6.73±0.31 ^a
pH	6.28±0.03	6.25±0.02	6.18±0.03
化学成分Chemical component (g/kg)			
水分Moisture	592.30±3.50 ^a	590.80±7.10 ^a	618.10±5.10 ^b
灰分Ash	13.50±0.50 ^b	10.50±0.70 ^a	12.10±0.50 ^{ab}
脂肪Lipid	189.70±3.47 ^b	206.93±5.34 ^b	163.35±4.84 ^a
总蛋白Total protein	182.34±5.29	173.80±2.88	183.19±0.99
胶原蛋白Collagen			
碱溶性羟脯氨酸 Alkali soluble hydroxyproline	0.04±0.01 ^b	0.01±0.00 ^a	0.03±0.01 ^b
碱不溶性羟脯氨酸 Alkali insoluble hydroxyproline	0.07±0.00	0.08±0.01	0.07±0.01
总羟脯氨酸 Total hydroxyproline	0.11±0.01	0.09±0.02	0.10±0.01
水溶性蛋白 Water soluble protein	50.16±1.89 ^a	69.03±1.69 ^b	66.05±2.89 ^b
盐溶性蛋白 Salt soluble protein	54.10±1.94 ^a	77.69±2.25 ^b	56.37±4.03 ^a
肌糖原Fillet glycogen	0.64±0.06 ^b	0.41±0.03 ^a	0.98±0.08 ^c

显著低于W组($P<0.05$)。

在化学成分方面, 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉的总蛋白、碱不溶性羟脯氨酸和总羟脯氨酸的含量差异不显著($P>0.05$); W组和G组三倍体虹鳟鱼肉的的水分和脂肪含量差异不显著($P>0.05$), 但均显著高于C组($P<0.05$); W组和G组三倍体虹鳟鱼肉的灰分和C组差异不显著($P>0.05$), 但G组三倍体虹鳟鱼肉的灰分显著高于W组($P<0.05$); W组和C组三倍体虹鳟鱼肉的碱溶性羟脯氨酸含量差异不显著($P>0.05$), 但均显著高于G组($P<0.05$); G组和C组三倍体虹鳟鱼肉的的水溶性蛋白含量差异不显著($P>0.05$), 但均显著高于W组($P<0.05$); W组和C组三倍体虹鳟鱼肉的盐溶性蛋白差异不显著($P>0.05$), 但均显著低于G组($P<0.05$); 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉的肌糖原含量差异显著($P<0.05$), 从大到小分别是C>W>G。

2.3 气味指标

如表 3 所示, W组、G组和C组分别检测到20、21和23种气味活性物质, 其中醇类3种、酮类3类、醛类15类和呋喃类2种。不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉气味活性物质的总OAV、庚醛和辛醛的OAV差异显著($P<0.05$), 从小到大分别是C>G>W; 2-辛烯-1-醇、2,3-戊二酮和3,5-辛二烯-2-酮在W组三倍体虹鳟鱼肉中未检测出; (E)-2-庚烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛在G组三倍体虹鳟鱼肉中未检测出; G组和C组三倍体虹鳟鱼肉的1-庚醇、壬醛的OAV差异不显著($P>0.05$), 但均显著高于W组($P<0.05$); W组和G组三倍体虹鳟鱼肉的1-辛烯-3-醇、2,3-辛二酮、戊醛、己醛和(E)-2-癸烯醛的OAV差异不显著($P>0.05$), 但均显著低于C组($P<0.05$); 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉中(Z)-4-庚烯醛、(E,Z)-2,6-壬二烯醛、2-乙基呋喃和2-戊基呋喃的OAV差异不显著($P>0.05$); W组和C组三倍体虹鳟鱼肉中(E)-2-辛烯醛的OAV差异不显著($P>0.05$), 但均显著高于G组($P<0.05$); W组和C组三倍体虹鳟鱼肉中(E)-2-壬烯醛、癸醛、十一醛的OAV和G组差异不显著($P>0.05$), 但C组三倍体虹鳟鱼肉中(E)-2-壬烯醛、癸醛和十一醛的OAV显著高于W组($P<0.05$); G组和C组三倍体虹鳟鱼肉中(E,E)-2,4-壬二烯醛的OAV和G组差异不显著($P>0.05$), 但C组三倍体虹鳟鱼肉中(E,E)-2,4-壬二烯醛的OAV显著高于W组($P<0.05$)。

2.4 营养价值指标

由表 4 可知, 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉中检测了17种结合态氨基酸, 其中必需氨基酸8种, 非必需氨基酸9种。W组和G组三倍体虹鳟鱼肉的组

氨酸含量和C组差异不显著($P>0.05$), 但W组三倍体虹鳟鱼肉的组氨酸含量显著高于G组($P<0.05$); G组和C组三倍体虹鳟鱼肉的精氨酸和脯氨酸含量差异不显著($P>0.05$), 但均显著低于W组($P<0.05$); G组和C组三倍体虹鳟鱼肉的胱氨酸含量差异不显著

($P>0.05$), 但均显著高于W组($P<0.05$); 其他各种氨基酸、必需氨基酸、非必需氨基酸及总氨基酸含量在3组间无显著差异($P>0.05$).

由表5可知, 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉中均检测出20种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸(SFA)7种,

表3 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉气味活性物质的气味活度值对比

Tab. 3 Comparison of odor activity values (OAVs) of odor active substances in the muscles of triploid rainbow trout cultured under different modes

气味活性物质 Odor-active compound	气味描述Odor description	阈值 Threshold ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAVs		
			网箱养殖 模式 Cage culture	工厂化循环 水养殖模式 Recirculating aquaculture system	流水池塘养殖 模式 Flowing pond
1-庚醇1-Heptanol	青绿味、坚果味、发酵味 ^[32] Green, nutty, fermented	5.4 ^[33]	6.84±0.45 ^a	12.35±1.17 ^b	14.39±0.87 ^b
1-辛烯-3-醇1-Octen-3-ol	泥土味、蘑菇味、发酵味 ^[34,35] Earthly, mushroom, fermented	1.5 ^[36]	99.57±5.86 ^a	129.35±12.27 ^a	203.40±13.57 ^b
2-辛烯-1-醇2-Octen-1-ol	泥土味、蘑菇味 ^[37] Earthly, mushroom	40 ^[38]	nd.	1.21±0.00	1.46±0.09
2,3-戊二酮 2,3-Pentanedione	黄油味、焦糖味、果香 ^[32] Buttery, caramel, fruity	30 ^[35]	nd.	1.18±0.00	1.28±0.10
2,3-辛二酮2,3-Octanedione	金属味 ^[39] Metallic	12 ^[40]	8.05±0.61 ^a	11.00±0.74 ^a	18.14±1.57 ^b
3,5-辛二烯-2-酮 3,5-Octadien-2-one	青绿味、花香味、类黄瓜味 ^[35] Green, floral, cucumber	150 ^[40]	nd.	1.22±0.16	1.30±0.10
戊醛Pentanal	辛辣味、类乙醛味 ^[32] Pungent, acetaldehyde-like	9 ^[40]	2.42±0.15 ^a	2.97±0.31 ^a	4.26±0.33 ^b
己醛Hexanal	青草味、鱼腥味、脂香、辛辣味 ^[32] Grassy, fishy, fatty, pungent	4.5 ^[38]	102.88±2.97 ^a	118.13±10.50 ^a	183.05±12.74 ^b
(Z)-4-庚烯醛 (Z)-4-Heptenal	鱼腥味、煮土豆味 ^[34] Fishy, boiled potato	4.2 ^[40]	6.96±0.65	7.00±0.95	6.24±0.64
庚醛Heptanal	青绿味、鱼腥味、可可味、坚果味、脂香、蘑菇味 ^[32,41] Green, fishy, floral, chocolate, nutty, fatty, mushroom	2.8 ^[36]	20.66±1.60 ^a	35.19±3.12 ^b	54.43±3.25 ^c
(E)-2-庚烯醛 (E)-2-Heptenal	烤肉味、熟鱼味 ^[39,41] Roast meat, cooked fish	13 ^[36]	1.61±0.21	nd.	3.87±0.79
辛醛Octanal	青绿味、花香、橙香、脂香 ^[32] Green, floral, orange, fatty	0.7 ^[38]	165.64±8.49 ^a	257.36±21.52 ^b	354.60±17.98 ^c
(E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-Heptadienal	青草味、鱼腥味 ^[42] Grassy, fishy,	15.4 ^[36]	1.87±0.10	nd.	1.38±0.34
(E)-2-辛烯醛 (E)-2-Octenal	类黄瓜味、辛辣味、脂香、蘑菇味 ^[41,43] Cucumber, pungent, fatty, mushroom	3 ^[38]	12.13±1.10 ^{ab}	10.05±0.99 ^a	15.08±1.20 ^b
壬醛Nonanal	青绿味、鱼腥味、脂香、橙香 ^[41] Green, fishy, fatty, orange	1.1 ^[36]	126.56±8.98 ^a	305.23±41.16 ^b	314.01±47.69 ^b
(E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-Nonadienal	类黄瓜味、花香 ^[35] Cucumber, floral	0.8 ^[40]	31.57±3.01	31.82±5.43	34.42±3.75
(E)-2-壬烯醛 (E)-2-Nonenal	青绿味、木质味、花香、果香 ^[41,43] Green, woody, floral, fruity	0.08 ^[38]	168.51±20.15 ^a	207.08±35.73 ^{ab}	376.06±68.64 ^b
癸醛Decanal	青绿味、花香、脂香、类黄瓜味 ^[32] Green, floral, fatty, cucumber	2 ^[38]	4.80±0.54 ^a	8.70±1.15 ^{ab}	12.68±1.52 ^b
(E,E)-2,4-壬二烯醛 (E,E)-2,4-Nonadienal	脂香 ^[39] Fatty	0.09 ^[38]	87.35±10.18 ^{ab}	51.26±8.73 ^a	105.17±13.01 ^b
(E)-2-癸烯醛 (E)-2-Decenal	脂香、橙香 ^[39] Fatty, orange	0.3 ^[38]	28.81±0.34 ^a	36.39±3.99 ^a	112.94±14.76 ^b
十一醛Undecanal	青绿味、果香、薄荷味 ^[32,43] Green, fruity, minty	5 ^[40]	1.33±0.17 ^a	1.86±0.25 ^{ab}	2.60±0.32 ^b
2-乙基呋喃 2-Ethyl-furan	橡胶味、辛辣味、绿豆味 ^[36,41] Rubber, pungent, green bean	2.3 ^[36]	2.88±0.45	2.86±0.54	3.86±0.55
2-戊基呋喃 2-Pentyl-furan	甘草味、橙香 ^[39] Liquorice, orange	6 ^[38]	1.32±0.14	1.55±0.17	2.75±0.47
气味活度总值 Total OAVs			780.74±8.77 ^a	1029.90±85.53 ^b	1602.66±182.54 ^c

注: nd. 表示没有检测出; 下同

Note: nd. not detected; the same applies below

单不饱和脂肪酸(MUFA)6种, 多不饱和脂肪酸(PUFA)7种。W组和C组三倍体虹鳟鱼肉的C12:0、C16:0、C18:1n-9(Z)、C20:1n-9、C22:1n-9、饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)、总脂肪酸含量(TFA)及n-3/n-6的比值差异不显著($P>0.05$), 但均显著低于G组($P<0.05$); 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉的C14:0、C24:1n-9、C20:5n-3(EPA)、C22:6n-3(DHA)和n-3系列脂肪酸(n-3)含量差异显著($P<0.05$), 从大到小分别是G>W>C; G组和C组三倍体虹鳟鱼肉的C18:0含量和W组差异不显著($P>0.05$), 但G组三倍体虹鳟鱼肉的C18:0含量显著高于C组

表 4 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉结合态氨基酸含量对比

Tab. 4 Comparison of fillet bound amino acids contents of triploid rainbow trout cultured under different modes (mg/100g)

氨基酸 Amino acid	网箱养殖模式 Cage culture	工厂化循环水 养殖模式 Recirculating aquaculture system	流水池塘 养殖模式 Flowing pond
必需氨基酸 Essential amino acid			
组氨酸 His	547.71± 94.86 ^b	278.90± 32.06 ^a	490.49± 25.61 ^{ab}
异亮氨酸 Ile	786.61± 25.98	748.40± 56.87	760.48± 6.69
亮氨酸 Leu	1323.88± 34.85	1257.51± 104.26	1283.39± 19.49
赖氨酸 Lys	1467.77± 34.55	1453.17± 110.92	1464.08± 15.57
蛋氨酸 Met	550.88± 15.81	475.00± 33.40	508.71± 14.02
苯丙氨酸 Phe	753.48± 17.03	699.03± 63.83	708.69± 4.47
苏氨酸 Thr	794.92± 19.31	738.59± 57.52	763.98± 13.10
缬氨酸 Val	946.59± 31.93	872.81± 72.66	892.77± 15.61
总必需氨基酸 Total essential amino acids	7171.84± 239.90	6511.12± 394.19	6872.59± 95.45
非必需氨基酸 Non-essential amino acid			
丙氨酸 Ala	1158.05± 33.59	994.43± 83.64	1019.78± 17.29
精氨酸 Arg	1268.84± 30.32 ^b	977.43± 82.25 ^a	995.46± 18.93 ^a
天冬氨酸 Asp	1720.26± 56.34	1578.91± 91.58	1669.87± 31.07
胱氨酸 Cys	1201.85± 82.39 ^a	1716.80± 108.74 ^b	1693.81± 88.37 ^b
谷氨酸 Glu	2425.12± 49.71	2288.63± 154.93	6300.06± 3940.64
甘氨酸 Gly	1034.27± 80.58	929.99± 54.85	935.57± 39.11
丝氨酸 Ser	711.12± 10.51	644.98± 53.45	662.35± 11.82
酪氨酸 Tyr	626.25± 17.42	556.05± 47.31	570.16± 9.28
脯氨酸 Pro	936.95± 11.78 ^b	526.27± 24.17 ^a	564.66± 26.12 ^a
非必需氨基酸 Total non-essential amino acids	11082.70± 213.38	10182.32± 612.32	10471.16± 193.33
总氨基酸 Total amino acids	18254.54± 328.89	16661.60± 1069.71	17343.74± 265.86

表 5 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉脂肪酸含量对比

Tab. 5 Comparison of fillet fatty acids contents of triploid rainbow trout cultured under different modes (mg/100g)

脂肪酸 Fatty acid	网箱养殖模式 Cage culture	工厂化循环水 养殖模式 Recirculating aquaculture system	流水池塘 养殖模式 Flowing pond
C12:0	1.76±0.10 ^a	2.82±0.03 ^b	1.51±0.11 ^a
C14:0	113.90±6.77 ^b	138.06±3.73 ^c	87.16±2.33 ^a
C16:0	882.87±40.40 ^a	1022.16±13.39 ^b	791.47±17.87 ^a
C18:0	413.95± 28.92 ^{ab}	478.59± 5.40 ^b	346.86± 10.88 ^b
C20:0	19.68± 5.15 ^a	34.38± 0.51 ^b	24.94± 2.34 ^{ab}
C22:0	15.64± 0.76 ^b	17.38± 0.14 ^b	11.22± 0.83 ^a
C24:0	5.12± 0.33 ^b	4.49± 0.30 ^b	2.84± 0.24 ^a
C16:1n-7	226.57± 12.25 ^a	290.38± 4.76 ^b	266.97± 7.49 ^b
C18:1n-9(Z)	1967.25± 28.93 ^a	2896.49± 102.61 ^b	2445.83± 164.53 ^{ab}
C18:1n-9(E)	230.32± 17.70 ^a	340.69± 8.16 ^b	255.98± 11.65 ^a
C20:1n-9	236.45± 10.19 ^a	357.67± 7.84 ^b	232.38± 20.26 ^a
C22:1n-9	25.80± 0.90 ^a	37.14± 1.20 ^b	24.77± 2.39 ^a
C24:1n-9	19.56± 0.98 ^b	30.24± 0.97 ^c	13.04± 0.91 ^a
C18:2n-6	1508.88± 56.43 ^b	1554.06± 41.23 ^b	1166.24± 49.30 ^b
C20:2n-6	121.46± 8.38 ^b	140.23± 1.64 ^b	85.95± 9.29 ^a
C20:3n-6	30.94± 2.41 ^a	44.04± 0.33 ^b	46.24± 3.47 ^b
C20:4n-6(ARA)	51.55± 1.47 ^a	60.71± 2.38 ^b	66.90± 1.15 ^b
C18:3n-3	20.05± 0.26 ^a	20.86± 0.97 ^a	42.90± 0.31 ^b
C20:5n-3(EPA)	85.07± 3.35 ^b	122.95± 3.69 ^c	65.18± 4.52 ^a
C22:6n-3(DHA)	349.09± 23.52 ^b	489± 9.34 ^c	258.58± 7.38 ^a
SFA	1452.92± 80.10 ^a	1697.87± 16.00 ^b	1266.00± 29.74 ^a
MUFA	2705.95± 60.85 ^a	3952.61± 120.73 ^b	3238.97± 197.57 ^a
PUFA	2448.86± 100.26 ^b	2856.89± 47.30 ^b	1927.53± 141.07 ^a
PUFA/SFA	1.69± 0.04	1.68± 0.03	1.52± 0.08
n-3	454.21± 27.01 ^b	632.81± 13.30 ^c	366.66± 9.57 ^a
n-6	1712.84± 67.37 ^b	1799.03± 40.15 ^b	1365.33± 52.25 ^a
n-3/n-6	0.27± 0.01 ^a	0.35± 0.00 ^b	0.27± 0.02 ^a
TFA	6325.92± 220.81 ^a	8082.32± 153.27 ^b	6236.96± 266.44 ^a
AI	0.26± 0.01 ^b	0.23± 0.00 ^{ab}	0.22± 0.01 ^a
TI	0.41± 0.01 ^{ab}	0.38± 0.01 ^a	0.44± 0.00 ^b

注: SFA. 饱和脂肪酸; MUFA. 单不饱和脂肪酸; PUFA. 多不饱和脂肪酸; n-3. n-3系列脂肪酸; n-6. n-6系列脂肪酸; TFA. 总脂肪酸; AI. 动脉粥样硬化指数; TI. 致血栓指数

Note: SFA. Saturated fatty acids. MUFA. Mono-unsaturated fatty acids. PUFA. Poly-unsaturated fatty acids. n-3. n-3 fatty acids. n-6. n-6 fatty acids. TFA. Total fatty acids. AI: Atherosclerosis index. TI. Thrombosis index

($P < 0.05$); W组和G组三倍体虹鳟鱼肉的C20:0、C18:1n-9(E)含量和C组差异不显著($P > 0.05$), 但G组三倍体虹鳟鱼肉的C20:0、C18:1n-9(E)含量显著高于W组($P < 0.05$); W组和G组三倍体虹鳟鱼肉的C22:0、C24:0、C18:2n-6、C20:2n-6、多不饱和脂肪酸(PUFA)和n-6系列脂肪酸(n-6)含量差异不显著($P > 0.05$), 但均显著高于C组($P < 0.05$); G组和C组三倍体虹鳟鱼肉的C16:1n-7、C20:3n-6和C20:4n-6(ARA)含量差异不显著($P > 0.05$), 但均显著高于W组($P < 0.05$); W组和G组三倍体虹鳟鱼肉的C18:3n-3含量差异不显著($P > 0.05$), 但均显著低于C组($P < 0.05$); W组和C组三倍体虹鳟鱼肉的动脉粥样硬化指数(AI)和G组差异不显著($P > 0.05$), 但W组三倍体虹鳟鱼肉的动脉粥样硬化指数(AI)显著高于C组($P < 0.05$); G组和C组三倍体虹鳟鱼肉的致血栓指数(TI)和W组差异不显著($P > 0.05$), 但C组三倍体虹鳟鱼肉的致血栓指数(TI)显著高于G组($P < 0.05$)。

由表6可知, 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉中均检测出8种矿物元素。不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉的钾、磷、镁、钙、锌和铜含量差异不显著($P > 0.05$); W组和G组三倍体虹鳟鱼肉的铁含量和C组差异不显著($P > 0.05$), 但W组三倍体虹鳟鱼肉的铁含量显著高于G组($P < 0.05$); 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉的硒含量差异显著($P < 0.05$), 从大到小分别是W>G>C。

2.5 主成分分析

图2所示, 本研究将111个品质指标的数据进行主成分分析。图2a中每个箭头代表一个品质指标, 箭头与箭头之间越近表示它们之间存在正相关关系, 而箭头与箭头方向相反表示它们之间存在负相关关系。由图2b可知, 网箱养殖、工厂化循环水养殖和流水池塘养殖三倍体虹鳟鱼肉品质轮廓差异

表6 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉矿物元素含量对比

Tab. 6 Comparison of fillet mineral elements contents in muscle of triploid rainbow trout cultured under different modes (mg/100g)

矿物元素 Mineral element	网箱养殖模式 Cage culture	工厂化循环水养殖模式 Recirculating aquaculture system	流水池塘养殖模式 Flowing pond
钾K	367.92±5.43	367.87±3.70	368.65±0.04
磷P	83.80±4.08	72.90±0.01	76.81±1.92
镁Mg	16.30±1.06	13.99±0.75	15.82±1.05
钙Ca	3.99±0.85	1.64±0.16	3.56±0.04
铁Fe	1.00±0.09 ^b	0.49±0.10 ^a	0.60±0.04 ^{ab}
锌Zn	0.27±0.01	0.24±0.01	0.23±0.01
铜Cu	0.04±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00
硒Se	0.04±0.00 ^c	0.02±0.00 ^b	0.02±0.00 ^a

明显, 均能独立成组。

3 讨论

3.1 表观方面

鱼类的表观品质指标不仅取决于遗传因素, 更与其养殖环境具有紧密联系^[44]。肥满度是衡量形体的重要指标, 可以一定程度反映鱼类的肥瘦程度和生长情况。出肉率是衡量鱼类生产能力的重要指标, 可以反映鱼类可食用部分的商用价值。研究表明鱼肉脂肪含量越高, 肥满度越大, 出肉率越小^[45]。本研究通过主成分分析也发现脂肪含量和肥满度呈正相关, 而和出肉率呈负相关关系。在本研究中, 流水池塘养殖三倍体虹鳟出肉率具有明显优势, 可能的原因与该养殖模式下鱼呈现细长的体型, 便于鱼片剖取有关。

肉色和“大理石”纹理是感知鲑科鱼类品质的最重要属性之一, 与消费者接受或拒绝产品直接相关^[46]。其中鱼类肉色可以通过色差仪 L^* 、 a^* 、 b^* 值衡量, L^* 表示亮度值, L^* 值越大表明颜色越明亮; a^* 表示红绿程度($-a^*$ 表示绿, $+a^*$ 表示红); b^* 表示黄蓝程度($-b^*$ 表示蓝, $+b^*$ 表示黄)^[44]。在本研究中, 循环水养殖的三倍体虹鳟鱼肉具有较高的红色值和黄色值, 这可能由于循环水箱内水体积较小, 饲料中色素类物质不易流失^[47], 同时脂肪含量高, 有利于虾青素的沉积^[24]。色度值(Cab^*)表示颜色的饱和度、密度或亮度, 是颜色的强度和清晰度的表达; 色调角(Hab°)是鱼片的红色和黄色之间的关系, 红色调 0° , 黄色调在 90° , 绿色调在 180° 和蓝色调在 270° ^[48]。一般来说, 色度值(Cab^*)越大、色调角(Hab°)越大, 表示鱼肉饱和度高, 肉色偏橘。研究表明呈现高饱和度且肉色偏橘色的鲑科鱼肉更具有商业价值^[49]。在本研究中, 工厂化循环水养殖和网箱养殖三倍体虹鳟鱼肉均呈现出的偏橘色, 其中网箱养殖鱼鱼肉在此基础上饱和度更高, 因此具有更高的商业价值。“大理石”纹理主要指鲑鳟鱼肉片红白相间的排布, 本研究通过测定肌间隔宽度作为衡量鱼肉白色纹理的品质指标, 结果表明不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉肌间隔宽度无显著差异。在陆生动物中肌间隔宽度可以在一定程度上反应动物胴体品质, 与肌肉脂肪含量呈正相关^[50, 51]。本研究中网箱养殖和工厂化循环水养殖三倍体虹鳟鱼肉具有较高的脂肪含量, 但肌间隔宽度并没有增加, 可能的原因与养殖环境影响了鱼肉脂肪沉积, 需进一步研究。

3.2 肉质方面

水产品品质构是鱼类组织特性的一项重要指标^[52]。

硬度是鲑鳟鱼肉品质的重要组成部分, 消费者倾向于坚实度较高的鱼肉^[53, 54]。本研究结果表明, 网箱养殖三倍体虹鳟鱼肉的硬度、咀嚼性、内聚性、弹性最大而黏附性最小, 因此其鱼肉较为坚实。通过主成分分析发现, 三倍体虹鳟坚实度与鱼肉胶原蛋白成正相关, 与鱼肉水溶性蛋白负相关。但网箱养殖的三倍体虹鳟肌肉中羟脯氨酸含量与其他养殖模式没有显著性差异。质地的影响因素可能较多, Ma等^[30]在研究大黄鱼中同样发现鱼肉坚实度

与羟脯氨酸含量没有存在显著线性关系。

在鱼死后, 鱼肉中糖原无氧降解产生大量乳酸进而降低pH^[55], 因此pH是判断肉质的重要指标^[56]。此外, 研究表明, pH的迅速降低会显著影响鱼肉的坚韧度、持水力和感官品质^[53]。本研究通过主成分分析发现鱼肉pH与糖原含量呈负相关关系, 但本研究中流水池塘养殖三倍体虹鳟肌糖原含量最高, 工厂化循环水最低, 但不同养殖模式鱼肉并未表现出pH的差异, 其原因可能与鱼肉pH的影响因素较多有关。

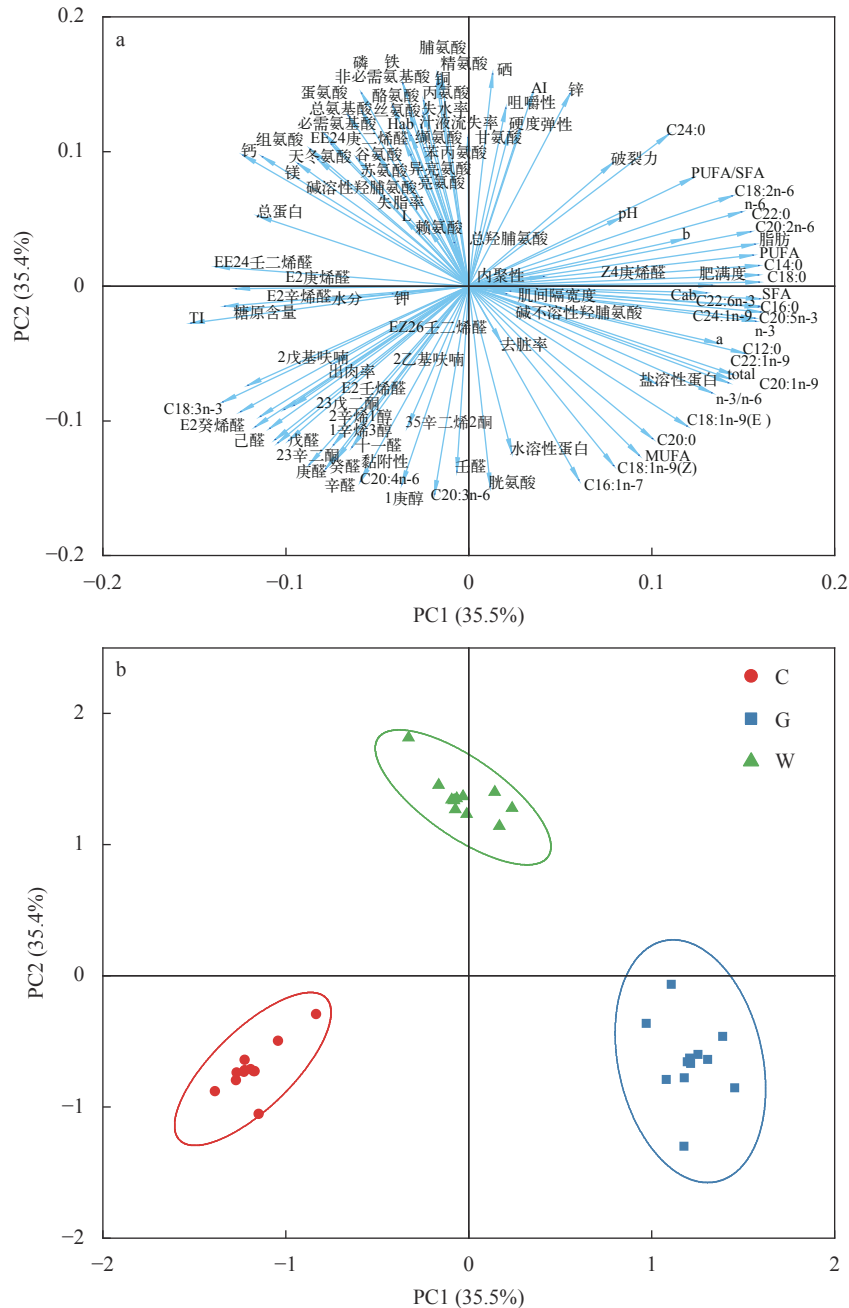


图 2 不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉品质指标主成分分析

Fig. 2 Principal component analysis of fillet quality indexes of triploid rainbow trout cultured under different modes

W. 网箱养殖模式; G. 工厂化循环水养殖模式; C. 流水池塘养殖模式
W. Cage culture; G. Recirculating aquaculture system; C. Flowing pond

持水力可以体现鱼肉保持其本身水分的能力,对鱼类的质构和风味等指标有着重要的影响^[57]。持水力越高则汁液流失率、失脂率和失水率越低。研究表明,鱼类鱼肉盐溶性蛋白含量与鱼肉保水力呈正相关^[58]。本研究通过主成分分析也发现鱼肉盐溶性蛋白与汁液流失率和失水率均呈负相关关系。因此,网箱养殖三倍体虹鳟汁液流失率和失水率较高原因可能与盐溶性蛋白含量较低相关。

3.3 气味方面

风味是鱼类品质的重要组成部分,挥发性气味物质不仅是风味的重要组成部分,也是鱼类品质的重要衡量标准^[59]。气味的形成与人类嗅觉阈值有关。嗅觉阈值是指引起人嗅觉最小刺激的物质浓度,嗅觉阈值越低的化合物越容易被感知,而在挥发性气味物质中,酮类和醛类化合物的嗅觉阈值相对较低^[60],容易被人类感知。此外研究表明,三倍体虹鳟鱼肉中醛类物质的种类和含量都远高于其他几类物质,可能是影响其气味的主要物质种类^[1,61]。气味活度值(OAV)用来描述单个挥发性气味物质对整体气味的贡献,当OAV \geq 1时,对鱼肉整体风味有贡献^[41]。本团队之前已通过气味活度值(OAV)构建了网箱养殖三倍体虹鳟气味轮廓并确定了主体气味化合物,主要包括醇类、酮类和醛类等21种气味活性物质^[1]。本研究发现工厂化循环水养殖和流水池塘养殖三倍体虹鳟鱼肉比之前研究多了3,5-辛二烯-2-酮和2-辛烯-1-醇两种气味活性物质,但OAV较低,不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉仍以青绿味、脂香和果香为主。在所有气味活性物质中,按对三倍体虹鳟气味贡献较大的前五种分别是1-辛烯-3-醇、己醛、辛醛、壬醛及(E)-2-壬烯醛,与本团队之前所得出的结论一致^[1],通过查阅文献发现,这些物质主要是通过油酸和亚油酸氧化裂解产生^[62-64]。此外,本研究测定鱼肉中脂肪酸组成也发现三倍体虹鳟鱼肉中油酸和亚油酸含量占总脂肪酸含量50%以上,因此油酸和亚油酸的氧化产物可能是形成虹鳟气味的重要原因,其作用机制有待进一步研究。本研究中流水池塘养殖三倍体虹鳟鱼肉气味活性物质的总OAV最高,主要对鱼肉气味有贡献的物质为(E)-2-壬烯醛、辛醛、壬醛、1-辛烯-3醇和己醛,其OAV占总值的80%以上,主要呈现为青绿味、果香和脂香。网箱和工厂化循环水养殖三倍体虹鳟气味强度较低,但对鱼肉整体气味有贡献的主要气味活性物质相同,故不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉的气味特征一致。

3.4 营养价值方面

鱼类鱼肉营养价值主要与总蛋白含量、脂肪

含量、氨基酸组成及含量、脂肪酸组成及含量、矿物元素组成及含量等有关。必需氨基酸的组成及含量对于蛋白质营养价值起重要作用,3个养殖模式三倍体虹鳟鱼肉必需氨基酸组成相对均衡,含量丰富,具有较高营养价值,为优质的动物蛋白源。在本研究中,不同养殖模式三倍体虹鳟鱼肉中总氨基酸及总蛋白含量无显著性差异,且含量与张殿福等^[65]和朱龙等^[10]研究结果相近。

脂肪含量对于鱼肉风味及适口性影响巨大^[66]。而鱼肉中的不饱和脂肪酸,尤其是n-3 PUFA包括EPA和DHA具有很多生理学功能,例如抗心血管疾病、促进发育和免疫调节作用^[67]。在本研究中,三个养殖模式三倍体虹鳟鱼肉中MUFA含量最高,其次是PUFA和SFA,类似结果在Celik等^[68]的研究中发现。AI和TI用于评估三倍体虹鳟鱼肉对人类心血管疾病发生的影响,AI和TI值越高,危险性越高。在本研究中,三组三倍体虹鳟鱼肉的AI和TI均远低于牛肉、羊肉及猪肉(AI为0.72、1.00、0.60;TI为1.06、1.58、1.37)^[31],说明三倍体虹鳟鱼肉具有较高的食用和保健价值。对比不同养殖模式发现,工厂化循环水养殖三倍体虹鳟鱼肉中粗脂肪、TFA、SFA、MUFA、PUFA、n-3、n-6、n-3/n-6、EPA、DHA、ARA及C18:1n-9含量最高,其原因可能受到养殖环境的影响。由于工厂化循环水系统场地有限,三倍体虹鳟运动受限因此脂肪更易沉积于肌肉中。脂肪酸组成与含量和张雯等^[69]对养殖虹鳟的研究结果相近。

4 结论

通过评估表观品质、肉质、气味和营养价值相关111个品质指标发现网箱养殖、工厂化循环水养殖及流水池塘养殖三倍体虹鳟鱼肉品质存在明显差异,各具特色:网箱养殖三倍体虹鳟鱼肉质坚实富有弹性,工厂化循环水养殖三倍体虹鳟具有较红的肉色并富含不饱和脂肪酸,流水池塘养殖三倍体虹鳟形体优美且出肉率相对较高,挥发性风味物质含量丰富。

参考文献:

- [1] Ma R, Liu X H, Tian H N, *et al.* Odor-active volatile compounds profile of triploid rainbow trout with different marketable sizes [J]. *Aquaculture Reports*, 2020(17): 100312.
- [2] Grigorakis K. Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: A review [J]. *Aquaculture*, 2007, 272(1-4): 55-75.

- [3] Kumari S, Harikrishna V, Surasani V K R, *et al.* Growth, biochemical indices and carcass quality of red tilapia reared in zero water discharge based biofloc system in various salinities using inland saline ground water [J]. *Aquaculture*, 2021(540): 736730.
- [4] Lü H B, Ma Y, Hu C T, *et al.* The individual and combined effects of hypoxia and high-fat diet feeding on nutrient composition and flesh quality in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Food Chemistry*, 2021(343): 128479.
- [5] Wade N M, Clark T D, Maynard B T, *et al.* Effects of an unprecedented summer heatwave on the growth performance, flesh colour and plasma biochemistry of marine cage-farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2019(80): 64-74.
- [6] Turchini G M, Moretti V M, Hermon K, *et al.* Monola oil versus canola oil as a fish oil replacer in rainbow trout feeds: effects on growth, fatty acid metabolism and final eating quality [J]. *Food Chemistry*, 2013, **141**(2): 1335-1344.
- [7] Lei Y J, Yan J, Tang Z T, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth performance and flesh quality of juvenile *Carassius auratus* var. Dongtingking [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, **32**(12): 5839-5849. [类延菊, 晏锦, 唐忠天, 等. 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼生长性能及肉品质的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, **32**(12): 5839-5849.]
- [8] Quiñones J, Díaz R, Dantagnan P, *et al.* Dietary inclusion of *Durvillaea antarctica* meal and rapeseed (*Brassica napus*) oil on growth, feed utilization and fillet quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2021(530): 735882.
- [9] Cai L, Ao Z P, Tang T, *et al.* Characterization of difference in muscle volatile compounds between triploid and diploid crucian carp [J]. *Aquaculture Reports*, 2021(20): 100641.
- [10] Zhu L, Yuan C, Zhu C K, *et al.* Comparison of nutritional compositions in muscles of diploid and triploid rainbow trouts (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2018, **40**(2): 206-208. [朱龙, 袁聪, 朱成科, 等. 二倍体和三倍体虹鳟肌肉营养成分比较及分析 [J]. *营养学报*, 2018, **40**(2): 206-208.]
- [11] Manor M L, Weber G M, Cleveland B M, *et al.* Effects of feeding level and sexual maturation on fatty acid composition of energy stores in diploid and triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2014(418): 17-25.
- [12] Kayan A, Boontan I, Jaturssitha S, *et al.* Effect of slaughter weight on meat quality of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2015(5): 159-163.
- [13] Liu S N, Wang S Y, Cao R, *et al.* Nutritional composition analysis and quality evaluation of different sizes of *Ammodytes personatus* [J]. *Progress in Fishery Sciences*: 1-7 [2021-09-16]. <https://doi.org/10.19663/j.issn2095-9869.20200825001>. [刘胜男, 王善宇, 曹荣, 等. 不同规格玉筋鱼的营养分析与评价 [J]. *渔业科学进展*: 1-7 [2021-09-16]. <https://doi.org/10.19663/j.issn2095-9869.20200825001>.]
- [14] Duan Z L, Zhou Y G, Liu W J, *et al.* Variations in flavor according to fish size in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2020(526): 735398.
- [15] Bermejo-Poza R, Fernández-Muela M, De la Fuente J, *et al.* Effect of ice stunning versus electronarcosis on stress response and flesh quality of rainbow trout [J]. *Aquaculture*, 2021(**538**): doi: 10.1016/J.AQUACULTURE.2021.736586.
- [16] Digre H, Erikson U, Skaret J, *et al.* Biochemical, physical and sensory quality of ice-stored Atlantic cod (*Gadus morhua*) as affected by pre-slaughter stress, percussion stunning and AQUIS-STM anaesthesia [J]. *European Food Research and Technology*, 2011, **233**(3): 447-456.
- [17] Acerete L, Reig L, Alvarez D, *et al.* Comparison of two stunning/slaughtering methods on stress response and quality indicators of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquaculture*, 2009, **287**(1-2): 139-144.
- [18] Guo Z B, Xiao R, Huang H, *et al.* Comparative analysis and evaluation of nutritional quality of tilapia in three aquaculture modes [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, **52**(1): 206-212. [郭忠宝, 肖蕊, 黄卉, 等. 3种养殖模式罗非鱼品质比较分析与评价 [J]. *南方农业学报*, 2021, **52**(1): 206-212.]
- [19] Zhao H Y, Chen Z, Xu H F, *et al.* Muscular nutritional components and texture profile of marine cultured and fresh water cultured Guam red tilapia (*Oreochromis* spp.) [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, **49**(7): 1396-1402. [赵何勇, 陈诏, 徐鸿飞, 等. 海水和淡水养殖关岛红罗非鱼肌肉营养成分及品质特性分析 [J]. *南方农业学报*, 2018, **49**(7): 1396-1402.]
- [20] Zhang Y X, Xie C M, Zhou F, *et al.* Evaluation of muscle nutritional value and differences in main flavor substances of *Pseudosciaena crocea* in two cultivation modes [J]. *Food Science*, 2020, **41**(8): 220-227. [张艳霞, 谢成民, 周纷, 等. 两种养殖模式大黄鱼肌肉营养价值评价及主体风味物质差异性分析 [J]. *食品科学*, 2020, **41**(8): 220-227.]
- [21] Guo Y Q, Xing X L, Jiang C J, *et al.* Quality characteristics and differences of wild and cultured large yellow croakers (*Larimichthys crocea*) [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, **35**(10): 92-101. [郭全友, 邢晓亮, 姜朝军, 等. 野生和养殖大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 品质特征与差异性探究 [J]. *现代食品科技*, 2019, **35**(10): 92-101.]
- [22] Kuang W M, Tang R J, Xue Y, *et al.* Preliminary evaluation of nutritional differences of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) under two pond culture models [J]. *Journal*

- of Fisheries of China*, 2020, **44**(12): 2028-2036. [况文明, 唐仁军, 薛洋, 等. 池塘两种养殖方式下草鱼的营养差异 [J]. 水产学报, 2020, **44**(12): 2028-2036.]
- [23] Zhang A F, Zhang H X, Xiao J, *et al.* Comparison of nutritional components and amino acid composition in the muscles of grass carp under different pond culture models [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, **47**(6): 91-93+96. [张爱芳, 章海鑫, 肖俊, 等. 不同池塘养殖模式下草鱼肌肉营养成分及氨基酸组成的比较 [J]. 安徽农业科学, 2019, **47**(6): 91-93+96.]
- [24] Nickell D C, Bromage N R. The effect of dietary lipid level on variation of flesh pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1998, **161**(1-4): 237-251.
- [25] Yeşilayer N, Mutlu G, Yıldırım A. Effect of nettle (*Urtica* spp.), marigold (*Tagetes erecta*), alfalfa (*Medicago sativa*) extracts and synthetic xanthophyll (zeaxanthin) carotenoid supplementations into diets on skin pigmentation and growth parameters of electric yellow cichlid (*Labidochromis caeruleus*) [J]. *Aquaculture*, 2020(520): 734964.
- [26] Schubring R, Meyer C, Schlüter O, *et al.* Impact of high pressure assisted thawing on the quality of fillets from various fish species [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2003, **4**(3): 257-267.
- [27] Cunniff P. Official methods of analysis of AOAC international. Volume I agricultural chemicals, contaminants, drugs. Volume II food composition, additives, natural contaminants [J]. *Gaithersburg Md Aoac International Appendix D*, 1995, **6**(11): 382-382.
- [28] Folch J, Lees M, Stanley G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1957, **226**(1): 497-509.
- [29] Ma R. Preliminary study on relationship between nutrition and fish quality of farmed large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014: 24-28. [马睿. 营养与养殖大黄鱼品质之间关系的初步研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 24-28.]
- [30] Ma R, Meng Y Q, Zhang W B, *et al.* Comparative study on the organoleptic quality of wild and farmed large yellow croaker *Larimichthys crocea* [J]. *Journal of Oceanology and Limnology*, 2020, **38**(1): 260-274.
- [31] Ulbricht T L V, Southgate D A T. Coronary heart disease: seven dietary factors [J]. *The Lancet*, 1991, **338**(8773): 985-992.
- [32] Mu H, Wei Z H, Yi L N, *et al.* Effects of low dietary fish meal on the volatile compounds in muscle of large yellow croaker *Larimichthys crocea* [J]. *Aquaculture Research*, 2017, **48**(9): 5179-5191.
- [33] Giri A, Osako K, Ohshima T. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing [J]. *Food Chemistry*, 2010, **120**(2): 621-631.
- [34] Selli S, Cayhan G G. Analysis of volatile compounds of wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by simultaneous distillation-extraction (SDE) and GC-MS [J]. *Microchemical Journal*, 2009, **93**(2): 232-235.
- [35] Frank D, Poole S, Kirchhoff S, *et al.* Investigation of sensory and volatile characteristics of farmed and wild barramundi (*Lates calcarifer*) using gas chromatography-olfactometry mass spectrometry and descriptive sensory analysis [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, **57**(21): 10302-10312.
- [36] Zhou X X, Chong Y Q, Ding Y T, *et al.* Determination of the effects of different washing processes on aroma characteristics in silver carp mince by MMSE-GC-MS, e-nose and sensory evaluation [J]. *Food Chemistry*, 2016(207): 205-213.
- [37] Karahadian C, Josephson D B, Lindsay R C. Contribution of *Penicillium* sp. to the flavors of Brie and Camembert cheese [J]. *Journal of Dairy Science*, 1985, **68**(8): 1865-1877.
- [38] Wang H L, Zhang J J, Zhu Y Z, *et al.* Volatile components present in different parts of grass carp [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2018, **42**(6): e12668.
- [39] Turchini G M, Mentasti T, Caprino F, *et al.* Effects of dietary lipid sources on flavour volatile compounds of brown trout (*Salmo trutta* L.) fillet [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2004, **20**(1): 71-75.
- [40] Gu S Q, Wang X C, Tao N P, *et al.* Characterization of volatile compounds in different edible parts of steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Food Research International*, 2013, **54**(1): 81-92.
- [41] Wu N, Gu S Q, Tao N P, *et al.* Characterization of important odorants in steamed male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) using gas chromatography - mass spectrometry - olfactometry [J]. *Journal of Food Science*, 2014, **79**(7): C1250-C1259.
- [42] Fu X J, Xu S Y, Wang Z. Kinetics of lipid oxidation and off-odor formation in silver carp mince: The effect of lipoxigenase and hemoglobin [J]. *Food Research International*, 2009, **42**(1): 85-90.
- [43] Varlet V, Knockaert C, Prost C, *et al.* Comparison of odor-active volatile compounds of fresh and smoked salmon [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, **54**(9): 3391-3401.
- [44] Gu Z F, Huang F S, Wang Hai, *et al.* Comparison of nacre color of *Pinctada martensii* cultured in different marine areas [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, **33**(5): 91-94. [顾志峰, 黄锋绍, 王海, 等. 不同海区养殖的马氏珠母贝珍珠质颜色比较 [J]. 渔业科学进展, 2012, **33**(5): 91-94.]
- [45] Merino G E, Piedrahita R H, Conklin D E. Effect of wa-

- ter velocity on the growth of California halibut (*Paralichthys californicus*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2007, **271**(1-4): 206-215.
- [46] Trullàs C, Tres A, Saldo J, *et al.* Quality characteristics of fillets of rainbow trout fed acid or re-esterified rapeseed oils as dietary fat sources [J]. *Aquaculture*, 2017(480): 22-31.
- [47] Van der Salm A L, Spanings F A T, Gresnigt R, *et al.* Background adaptation and water acidification affect pigmentation and stress physiology of tilapia, *Oreochromis mossambicus* [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2005, **144**(1): 51-59.
- [48] Rosas V T, Monserrat J M, Bessonart M, *et al.* Comparison of β -carotene and Spirulina (*Arthrospira platensis*) in mullet (*Mugil liza*) diets and effects on antioxidant performance and fillet colouration [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2019, **31**(4): 2391-2399.
- [49] Sánchez E G T, Fuenmayor C A, Mejía S M V, *et al.* Effect of bee pollen extract as a source of natural carotenoids on the growth performance and pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2020(514): 734490.
- [50] Kouba M, Bonneau M. Compared development of intermuscular and subcutaneous fat in carcass and primal cuts of growing pigs from 30 to 140 kg body weight [J]. *Meat science*, 2009, **81**(1): 270-274.
- [51] Yang X Z, Hu R Z, He J H, *et al.* Main factors affecting porcine intermuscular fat deposition and potential regulation mechanism [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, **33**(3): 1266-1276. [杨茜梓, 胡睿智, 贺建华, 等. 影响猪肌间脂肪沉积的主要因素及潜在调控机理 [J]. *动物营养学报*, 2021, **33**(3): 1266-1276.]
- [52] Qu Z H, Zheng Y, Wang X C. Effects of thawing methods on water holding capacity and texture of frozen farmed *Takifugu obscurus* [J]. *Food Science*: 1-13 [2021-09-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210816.1317.052.html>. [邱泽慧, 郑尧, 王锡昌. 解冻方式对养殖暗纹东方鲀持水性及质构特性的影响 [J]. *食品科学*: 1-13 [2021-09-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210816.1317.052.html>.]
- [53] Lu Y Z, Pang H P, Wang S, *et al.* A comparative study of muscle quality of adult Chinese black sleeper (*Bostrychus sinensis*) from three different sources [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, **49**(10): 2047-2054. [陆宇哲, 潘红平, 王帅, 等. 3种不同来源中华乌塘鳢成鱼肉质比较分析 [J]. *南方农业学报*, 2018, **49**(10): 2047-2054.]
- [54] Hu F, Li X D, Xiong S B, *et al.* Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components [J]. *Food Science*, 2011, **32**(11): 69-73. [胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析 [J]. *食品科学*, 2011, **32**(11): 69-73.]
- [55] Zhang W, Shi N, Xiong G Q, *et al.* Correlation analysis between energy metabolism and processing quality of channel catfish with different prechilling durations [J]. *Food Science*, 2020, **41**(3): 55-61. [章蔚, 石柳, 熊光权, 等. 不同预冷时间下鲶鱼能量代谢和加工品质的相关性分析 [J]. *食品科学*, 2020, **41**(3): 55-61.]
- [56] Yang Y H, He Y L, Zhou J S, *et al.* Quality evaluation of the meat of *Silurus lanzhouensis*, *Silurus asotus* and *Cyrinus carpio* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, **37**(1): 54-61. [杨元昊, 贺玉良, 周继术, 等. 兰州鲇与鲇、黄河鲤鱼肌肉品质比较研究 [J]. *水生生物学报*, 2013, **37**(1): 54-61.]
- [57] Li M Y, Zhao G M, Zhang Q H, *et al.* Optimization of compound phosphates on water holding capacity in processing of meat products [J]. *Food Science*, 2009, **30**(8): 80-85. [李苗云, 赵改名, 张秋会, 等. 复合磷酸盐对肉制品加工中的保水性优化研究 [J]. *食品科学*, 2009, **30**(8): 80-85.]
- [58] Mørkøre T, Rørvik K A. Seasonal variations in growth, feed utilisation and product quality of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) transferred to seawater as 0+ smolts or 1+ smolts [J]. *Aquaculture*, 2001, **199**(1-2): 145-157.
- [59] Wu Y J, Wang Y T, *et al.* Comparison of flavor substances of different parts of rainbow trout in different regions [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, **26**(6): 888-899. [吴永俊, 王玉涛, 施文正, 等. 不同产地虹鳟鱼肉风味物质的比较 [J]. *上海海洋大学学报*, 2017, **26**(6): 888-899.]
- [60] Zhang J J, Wang X C, Shi W Z. Identification of volatile compounds in white croaker and small yellow croaker [J]. *Food Science*, 2019, **40**(14): 206-213. [张晶晶, 王锡昌, 施文正. 白姑鱼和小黄鱼中挥发性风味物质的鉴定 [J]. *食品科学*, 2019, **40**(14): 206-213.]
- [61] Guillén M D, Errecalde M C. Volatile components of raw and smoked black bream (*Brama raii*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) studied by means of solid phase microextraction and gas chromatography/mass spectrometry [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2002, **82**(9): 945-952.
- [62] Caprino F, Moretti V M, Bellagamba F, *et al.* Fatty acid composition and volatile compounds of caviar from farmed white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2008, **617**(1-2): 139-147.
- [63] Josephson D B, Lindsay R C, Stuibler D A. Identification of compounds characterizing the aroma of fresh whitefish (*Coregonus clupeaformis*) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1983, **31**(2): 326-330.
- [64] Hsieh R J, Kinsella J E. Oxidation of polyunsaturated fatty acids: mechanisms, products, and inhibition with emphasis on fish [J]. *Advances in Food and Nutrition Research*, 1989, **33**: 233-341.
- [65] Zhang D F, Wu L, Zhang X Z, *et al.* Nutrient components and texture profiles in the flesh of Atlantic salmon, triploid rainbow trout, and golden trout [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, **27**(2): 186-194. [张殿

- 福, 吴雷, 张学振, 等. 大西洋鲑、三倍体虹鳟和金鳟的肌肉营养成分与品质特性 [J]. 中国水产科学, 2020, 27(2): 186-194.]
- [66] Bryant R J, McClung A M. Volatile profiles of aromatic and non-aromatic rice cultivars using SPME/GC-MS [J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(2): 501-513.
- [67] Tocher D R, Betancor M B, Sprague M, *et al.* Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: bridging the gap between supply and demand [J]. *Nutrients*, 2019, 11(1): 89.
- [68] Celik M, Goekce M A, BAŞUSTA N, *et al.* Nutritional quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) caught from the Atatürk Dam Lake in Turkey [J]. *Journal of Muscle Foods*, 2008, 19(1): 50-61.
- [69] Zhang W, Wei L D, Zhang Y M, *et al.* Comparative analysis of the fillet quality and composition between cultured rainbow trout and atlantic salmon [J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2021, 42(1): 74-78. [张雯, 韦玲冬, 张玉明, 等. 养殖虹鳟与大西洋鲑肉质和营养成分比较研究 [J]. 家畜生态学报, 2021, 42(1): 74-78.]

FILLET QUALITY DIFFERENCE OF TRIPLOID RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) CULTURED UNDER DIFFERENT MODES

GUAN Ling-Ling^{1,2}, LIU Xiao-Hong², TIAN Hai-Ning³, LI Jian-Rong⁴, MENG Yu-Qiong³ and MA Rui²

(1. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China; 2. State Key Laboratory of Plateau Ecology and Agriculture, Qinghai University, Xining 810016, China; 3. College of Eco-Environmental Engineering, Qinghai University, Xining 810016, China; 4. College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

Abstract: To investigate the fillet quality differences of triploid rainbow trout cultured under different modes, about 4 kg commercial fish cultured under cage culture (W), recirculating aquaculture system (G) and flowing pond (C) were used to analyze 111 quality indicators related to biometrical parameters, fillet texture, odor and nutritional quality. Results showed that there were significant quality differences between three groups. Fish cultured in cages obtained the highest value of hue (Hab°), hardness, cohesiveness, springiness, chewiness, liquid losses and water losses ($P < 0.05$) and the lowest level of 1-heptanol, heptanal, octanal, nonanal odor activity value (OAV) and total OAVs ($P < 0.05$). The condition factor, red/green chromaticity, lightness, salt soluble protein content, total fatty acids content and n-3 fatty acid content of triploid rainbow trout cultured in recirculating system were significantly higher than those in other groups ($P < 0.05$). Fish cultured in flowing pond showed the lowest value of the condition factor, yellow/blue chromaticity, chroma (Cab^*), moisture content, lipid content, n-3 fatty acid content, poly-unsaturated fatty acids ($P < 0.05$) and the highest level of fillet yield, adhesiveness, fillet glycogen, 1-octen-3-ol, 2,3-octanedione, pentanal, heptanal, octanal, (E)-2-decenal OAV and total OAVs ($P < 0.05$). In summary, cage cultured fish obtained firm and springy fillet with low content of volatile flavor compounds, recirculating system cultured fish had a reddish fillet color and high content of poly-unsaturated fatty acids, flowing pond cultured fish had a slender body shape, relatively high fillet yield and high content of volatile flavor compounds.

Key words: Cage culture mode; Recirculating aquaculture system mode; Flowing pond mode; Flesh quality; Nutrition value; Triploid rainbow trout