

doi: 10.7541/2023.2022.0381

六个虹鳟代表性繁育群体肌肉营养成分分析

李文文^{1,2} 黄天晴¹ 谷伟¹ 刘恩慧¹ 王高超¹ 周金鑫^{1,2} 董福霖^{1,2}
纪凯^{1,3} 刘雪峰⁴ 王宪策⁵ 焦文龙¹ 王炳谦¹ 徐革锋¹

(1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 冷水性鱼类产业技术创新战略联盟, 哈尔滨 150070; 2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 3. 哈尔滨师范大学生命科学与技术学院, 哈尔滨 150025; 4. 杭州千岛湖股份有限公司, 杭州 310000; 5. 甘肃省水产研究所, 兰州 730030)

摘要: 研究主要通过分析虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)不同繁育群体间肌肉品质和营养成分的种质特性, 为虹鳟遗传资源的保护利用、优良性状的筛选及新品种选育提供基础数据资料。采用凯氏定氮、索氏抽提和水解氨基酸等现行国家标准测定肌肉中的营养成分、氨基酸和脂肪酸的含量, 对国内6个不同地区虹鳟代表性繁育群体进行肌肉营养成分和品质的系统分析和评价。结果表明, 各繁育群体水分含量(66.50%—77.00%)、灰分含量(1.12%—1.43%)、粗蛋白含量(19.00%—21.84%)和粗脂肪含量(2.04%—9.08%)有显著差异($P < 0.05$); 17种氨基酸总量(TAA)为15.27%—18.90%, 各群体氨基酸指数(AAS)、化学指数(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)均高于联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization, FAO)标准; 23种脂肪酸中包括8种饱和脂肪酸(SFA)、4种单不饱和脂肪酸(MUFA)和11种多不饱和脂肪酸(PUFA), 其含量分别为17.81%—31.75%、27.86%—30.35%和40.25%—54.32%, PUFA/SFA的比值介于1.34—3.05。综上所述, 6个虹鳟代表性繁育群体肌肉营养成分较均衡, 符合FAO/WHO标准, 均为符合人们营养需求优质蛋白质, 可作为虹鳟繁育及新品种培育的优异资源。

关键词: 营养成分; 氨基酸; 脂肪酸; 繁育群体; 虹鳟

中图分类号: S917 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2023)09-1425-10



虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)属鲑形目(Salmoniformes), 鲑科(Salmonidae), 白鲑亚科(Coregoninae), 大麻哈鱼属(*Oncorhynchus*), 原产于北美洲, 是最早开始养殖的鲑鳟鱼类品种之一^[1,2]。虹鳟具有非常高的营养价值, 其肌肉富含人体所需的必需氨基酸及多不饱和脂肪酸, 特别是omega-3(Ω -3, n-3)脂肪酸, 其中的EPA(二十碳五烯酸)和DHA(二十二碳六烯酸)是功能性高端保健品的主要成分, 具有提高智力、降低心脑血管发病概率、增强免疫力等功效, 是符合当今我国现代饮食文化的高档水产品^[3-8]。虹鳟自1959年引入我国以来, 在东北、西北、华北和西南等主养地区以流水池塘、网箱等模式被广泛养殖^[9-11], 是我国鲑鳟产业的主导品种, 因其肉

质细腻、味道鲜爽且烹饪方便, 广受消费者青睐, 近年来产量一直维持在4万吨左右^[12], 养殖投资回报率, 供不应求。

提升鱼类肌肉品质是水产养殖业的重要目标之一, 鱼肉中富含多种氨基酸、脂肪酸、维生素及必需元素等^[13-16], 随着人们生活水平的提高及膳食结构的改变, 对水产品的需求量显著增长, 对其品质提出了更高的要求。目前关于鱼肉品质的研究主要集中在环境、养殖水体、地理来源和季节等因素^[17-20]。虹鳟是全世界特别是发展中国家重要的蛋白质来源, 在营养学范畴, 国内外对虹鳟的研究主要集中在改善日粮组成^[21,22]、提高饲料利用率^[23]及调节生长^[24]等方面。虹鳟肌肉的营养成分

收稿日期: 2022-09-08; 修订日期: 2022-11-02

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-46); 中国水产科学研究院科研业务费项目(2020TD32); 农业农村部东北、西北和青藏高原区域水产养殖资源调查资助 [Supported by China Agriculture Research System of MOF and MARA(CARS-46); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund CAFS(2020TD32); Survey on Aquaculture Resources in Northeast, Northwest and Qinghai-Tibet Plateau Regions, Ministry of Agriculture and Rural Affairs]

作者简介: 李文文(1996—), 女, 硕士研究生; 研究方向为水产遗传育种与生物技术。E-mail: 115253562610@163.com

通信作者: 徐革锋(1979—), 男, 研究员; 主要从事虹鳟鱼类遗传育种与繁殖。E-mail: xugefeng@hrfri.ac.cn

与含量随品系、遗传、生长速度和地理环境等因素的不同而出现差异^[25],国内学者曾针对不同品系的虹鳟^[26]、对云南地区5个虹鳟养殖品种进行营养分析^[27],但仍缺乏从肌肉营养品质的种质特性着手对不同繁育群体的系统性分析。近年来我国对虹鳟新品种培育工作高度重视,其生长、育性和肌肉品质性状的测定是种质评价的基本资料,但总体来说优良品种的育种进程还比较缓慢,目前仅有中国水产科学研究院黑龙江水产研究所培育的虹鳟“水科1号”和“全雌1号”通过了新品种审定。本研究通过对我国5个地区(黑龙江、甘肃、新疆、辽宁和吉林)的优良繁育群体进行肌肉营养成分分析与品质评价,系统开展虹鳟种质特性研究,为有效利用虹鳟资源、推动不同种质资源的创新利用及加快优良品种的培育工作提供基础数据参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验依托国家水产养殖品种种质资源普查项目,对来自东北和西北5个地区的6个虹鳟代表性群体进行了肌肉营养成分分析和品质评价。采样对象覆盖了鲑鳟鱼国家遗传育种中心、国家级虹鳟原良种场和龙头企业等,包括中国水产科学研究院黑龙江水产研究所渤海冷水性鱼类试验基地(黑龙江省牡丹江市,简称HM)、黑龙江省牡丹江市宁安县(简称HN)、甘肃省临夏市(简称GL)、新疆伊犁(简称XY)、辽宁省本溪市(简称LB)和吉林省白山市(简称JB)。除新疆伊犁为大网箱养殖外,实验所用虹鳟均采用流水池塘养殖,每个地区随机选择鲜活、体质健壮的2—3龄虹鳟各30尾(6N=180),体重(1123.23±283.68)g,所有实验鱼每天饲喂商用颗粒饲料两次(HM、HN、JB和LB饲喂国产山东汉业饲料,GL和XY饲喂丹麦爱乐银牌饲料),饲料产品信息、组成及成分配比如表1所示。样品采集时水温(14.00±0.20)℃,pH为7.20—7.40。

1.2 肌肉营养品质测定

实验鱼剪鳃放血后去皮取背部肌肉,用滤纸将水分吸干,各地区虹鳟肌肉样品均放置液氮中迅速冷却后置于-20℃冷冻保存,每10尾实验鱼肌肉混为一组,用剪刀剪碎并混匀,随后进行随机取样用于肌肉营养品质测定。

粗蛋白含量按照GB 5009.5-2016凯氏定氮法测定;粗脂肪含量按照GB 5009.6-2019索氏抽提法测定;水分含量按照GB 5009.3-2016用105℃恒温干燥法测定;粗灰分含量按照GB 5009.4-2016用550℃灼烧法测定;氨基酸含量按照GB 5009.124-2016水解

表1 实验饲料配方及主要营养物质

Tab. 1 Ingredients and proximate compositions of the experimental diets

主要营养物质 Proximate compositions (%)	爱乐银牌(90003232) Aller Sliver (90003232)	山东汉业(163-6) Shandong Hanye (163-6)
粗蛋白质Crude protein	≥41	≥42
粗脂肪 Crude fat	≥24	≥8
粗纤维 Crude fiber	≤3	≤5
粗灰分 Crude ash	≤9	≤14
水分 Ash	≤8.5	≤12
氨基酸 Amino acid	≥3	≥2.6
总磷Total phosphorus	≥2.0	≥0.9

氨基酸方法,使用日本株式会社日立高新技术科学LA8080氨基酸自动分析仪测定;脂肪酸含量参照GB 5009.168-2016,应用Agilent气相色谱仪7890A测定。各营养成分含量按照鲜重计算。

1.3 虹鳟肌肉营养价值评价

参照联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization, FAO)和世界卫生组织(World Health Organization, WHO)1973年建议的氨基酸评分标准和鸡蛋蛋白质模式,对虹鳟肌肉的营养价值进行评定,计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)及必需氨基酸指数(EAAI),计算公式如下:

$$AAS = \frac{\text{待测样品蛋白质中氨基酸含量(mg/g N)}}{\text{FAO评分标准相应必需氨基酸含量(mg/g N)}}$$

$$CS = \frac{\text{待测样品蛋白质中氨基酸含量(mg/g N)}}{\text{鸡蛋蛋白质中相应必需氨基酸含量(mg/g N)}}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{\text{Lys}(t)}{\text{Lys}(s)} \times 100 \times \frac{\text{Met}(t)}{\text{Met}(s)} \times 100 \times \dots \times \frac{\text{Val}(t)}{\text{Val}(s)} \times 100}$$

式中, n 为参与计算的必需氨基酸数, t 为待测氨基酸含量, s 为鸡蛋蛋白质含量。

1.4 数据处理

实验数据采用平均值±标准差(mean±SD)表示,用Excel和SPSS 26软件对数据进行统计分析,采用单因素方差分析(One-way ANOVA, LSD)和Duncan多重比较对数据进行统计比较,差异显著度为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 肌肉常规营养成分组成

6个虹鳟代表性群体肌肉中水分、灰分、粗蛋白和粗脂肪含量见表2,分别为66.50%—77.00%、1.12%—1.43%、17.84%—21.84%和2.04%—9.08%。

表 2 六个虹鳟代表性繁育群体肌肉中营养成分比较(平均值±标准误, $n=30$, 鲜重%)

Tab. 2 Comparison of chemical compositions in the muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) between 6 representative breeding population (mean±SE, $n=30$, fresh weight %)

组别Group	水分 Moisture	灰分 Ash	粗脂肪 Crude fat	粗蛋白 Crude protein
黑龙江牡丹江 Mudanjiang, Heilongjiang	76.43± 0.49 ^a	1.40± 0.27 ^{ab}	2.04± 0.05 ^d	19.07± 0.72 ^b
黑龙江宁安 Ningan, Heilongjiang	71.53± 0.90 ^{bc}	1.40± 0.10 ^{ab}	4.48± 1.00 ^c	21.26± 1.01 ^a
甘肃Gansu	66.50± 0.82 ^d	1.40± 0.10 ^{ab}	9.08± 0.89 ^a	21.84± 0.82 ^a
新疆Xinjiang	77.00± 0.95 ^a	1.43± 0.15 ^a	2.96± 0.28 ^d	17.84± 0.90 ^b
吉林Jilin	72.77± 0.65 ^b	1.14± 0.07 ^b	6.05± 1.30 ^b	19.00± 0.63 ^b
辽宁Liaoning	70.44± 0.13 ^c	1.12± 0.12 ^b	8.16± 0.71 ^a	19.17± 1.00 ^b

注: 同列数据后右上角不同字母代表差异显著($P<0.05$)

Note: Different letters in the upper right corner of the same column indicate significant differences ($P<0.05$)

XY和HM的水分含量(77.00%和75.43%)显著高于其他4个群体($P<0.05$), 但粗脂肪含量(2.96%和2.04%)显著低于其他4个群体($P<0.05$); GL粗蛋白含量(21.84%)显著高于HM、XY、JB和LB四个群体($P<0.05$), 而与HN无显著差异($P>0.05$)。

2.2 肌肉氨基酸组成分析及营养价值评定

氨基酸组成分析 6个虹鳟代表性群体肌肉的氨基酸组成和含量检测结果见表3。除Trp被酸水解未测定外, 本次共检测出17种氨基酸, 其中含有6种必需氨基酸(EAA): 苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、苯丙氨酸(Phe)和赖氨酸(Lys); 11种非必需氨基酸(NEAA): 天冬氨酸(Asp)、丝氨酸(Ser)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、胱氨酸(Cys)、蛋氨酸(Met)、酪氨酸(Tyr)、组氨酸(His)、精氨酸(Arg)和脯氨酸(Pro)。

由表3可知, 氨基酸总量(TAA)为15.27%—18.90%, 其中LB和JB的TAA(18.87%和18.90%)含量显著高于其他群体($P<0.05$)。在所测17种氨基酸中Glu(2.64%—2.88%)含量最高, 其次是Asp(1.58%—2.03%)。Asp和Glu是呈味氨基酸中的鲜味氨基酸, Asp+Glu含量高达4.23—4.91 g/100 g, 占氨基酸总量的25.34%—27.69%, 说明该6个虹鳟群体肌肉鲜味较强, 口感鲜嫩; 另外, Gly和Ala是呈味氨基酸中的甘味氨基酸, Gly+Ala的含量为1.72—2.18 g/100 g, 占氨基酸总量的11.25%—11.79%, 说明6个群体肌肉甘味较鲜味次之。各群体呈味氨基酸总量与必需氨基酸的比值(W_{DAA}/W_{EAA})为36.77%—39.08%, HM群体比值最高, 表明其肌肉最为鲜美。

EAA含量为6.67%—8.56%, 占氨基酸总量

(W_{EAA}/W_{TAA})的43.11%—45.39%, 必需氨基酸和非必需氨基酸含量比值(W_{EAA}/W_{NEAA})为75.79%—83.11%, 均超过FAO/WHO建议的理想模式40%和60%, 表明6个虹鳟群体肌肉都适用营养学意义上的优质蛋白质, 可作为选育优良虹鳟新品种的亲本群体。

肌肉营养价值评价 6个虹鳟代表性群体肌肉中含有6种EAA, 通过EAA的含量和组成对肌肉蛋白质营养价值进行评价(表4)。

根据氨基酸评分结果, 6种EAA中除含硫氨基酸(Met+Cys)外各必需氨基酸评分(AAS)均大于或接近等于1, 符合FAO/WHO要求。HM、HN、GL和XY的Thr AAS最高(1.02—1.16), JB和LB的Lys评分最高(1.82和1.81), 除JB外其余五个地区第一限制性氨基酸均为含硫氨基酸(Met+Cys), AAS为0.14—0.69; JB的第一限制性氨基酸为Val, AAS为1.14; HM、HN、GL和XY的第二限制性氨基酸为Lys, AAS为0.56—0.70, LB的第二限制性氨基酸为Val, JB的第二限制性氨基酸为含硫氨基酸; 化学评分CS结果与AAS结果相似, 不同在于JB群体第一和第二限制性氨基酸种类正好与AAS评分结果相反。JB和LB的AAS和CS评分结果均显示Lys评分最高, 各必需氨基酸评分均高于其他群体, 表明其肌肉中富含Lys, 各必需氨基酸含量较其他群体更为丰富, 这与氨基酸含量结果一致。必需氨基酸指数(EAAI)为49.54—94.16, 依次为JB>LB>XY>HM>HN>GL。

2.3 脂肪酸的组成与含量

6个虹鳟代表性群体肌肉脂肪酸的组成和含量结果见表5。虹鳟肌肉中一共检测出23种脂肪酸, 包括8种饱和脂肪酸(SFA), 占比17.81%—31.75%; 15种不饱和脂肪酸(UFA), 其中包含4种单不饱和脂肪酸(MUFA), 占比27.86%—30.35%; 11种多不饱和脂肪酸(PUFA), 占比40.25%—54.32%。在23脂肪酸中, HM中未检测出十七烷酸(C17:0), HM和JB未检出山嵛酸(C22:0), HM和LB未检出二十四烷酸(C24:0)。

ΣSFA含量从高到低排序依次为XY>HN>JB>GL>LB>HM; ΣMUFA的含量从高到低排序依次为LB>JB>GL>HN>XY>HM; ΣPUFA的含量从高到低排序依次为HM>GL>LB>JB>HN>XY。PUFA/SFA比值介于1.34—3.05, 其中HM群体比值最高。HM群体只检测出了5种SFA, 含量为17.81%, 显著低于其他5个群体($P<0.05$); MUFA含量无显著差异($P>0.05$), 其中HM的含量最低为27.86%, LB的含量最多为30.33%; PUFA中HM的含量最多为54.32%, PUFA中具有重要生理功能的EPA+DHA的总含量

在HM群体中最高, LB群体中最低, 表明HM群体肌肉中含有丰富的对人体健康有益的脂肪酸。

SFA中棕榈酸(C16:0)含量最多, 占总脂肪酸含量的10.81%—20.04%; HM中未检测出十七烷酸(C17:0)、山嵛酸(C22:0)和二十四烷酸(C24:0), JB中不含山嵛酸(C22:0), LB中不含二十四烷酸(C24:0); 6个虹鳟群体均含有4种MUFA, 其中以油酸(C18:1n9c)含量最多, 占总脂肪酸含量的23.84%—26.66%; 10种PUFA中以亚油酸(C18:2n6c)含量最多, 占总脂肪酸含量的26.28%—33.57%。

3 讨论

3.1 肌肉营养品质分析

水分、灰分、粗脂肪和粗蛋白是评价肌肉营养成分的指标。鱼肉的主要成分是水, 水分通常占鱼肉鲜重的80%左右, 其含量与脂质含量成反比, 含

水量较低鱼肉拥有更高水平的蛋白质和脂肪^[28, 29], 6个代表性虹鳟群体肌肉的含水量均低于80%, 说明虹鳟肌肉中含有更多的蛋白质和脂肪, 而蛋白质和脂肪含量则是体现肌肉营养价值的重要指标。

蛋白质是生物反应过程的重要底物, 是组织生长发育的重要成分, 能提供合成营养物质和其他含氮化合物所需的原料, 蛋白质摄入不足会导致机体蛋白质营养不良(PEM, 或蛋白质-热量营养不良, PCM), 严重影响人们的健康^[30, 31]。鱼肉中蛋白质的含量通常在16.00%—21.00%, 蛋白质不仅是鱼肉拥有高营养价值的主要原因, 还有极好的保水、凝胶、乳化等功能特性^[28]。本研究测定的6个虹鳟群体肌肉蛋白质含量(17.84%—21.84%)均大于16%, 符合FAO/WHO(2013)的蛋白质标准, HN和GL群体蛋白质含量高于印度虹鳟(17.90%)、锦鲤(*Cyprinus carpio*; 17.90%)、石斑鱼(*Epinephelus* spp.;

表3 六个虹鳟代表性繁育群体肌肉的氨基酸组成和含量(平均值±标准误, $n=30$, %)

Tab. 3 Comparison of amino acid in the muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) between 6 representative breeding population (mean±SE, $n=30$, %)

氨基酸 Amino acid	黑龙江牡丹江 Mudanjiang, Heilongjiang	黑龙江宁安 Ning'an, Heilongjiang	甘肃 Gansu	新疆 Xinjiang	吉林 Jilin	辽宁 Liaoning
必需氨基酸EAA						
苏氨酸Thr	0.78±0.01 ^c	0.89±0.02 ^a	0.89±0.04 ^a	0.83±0.02 ^b	0.90±0.03 ^a	0.93±0.05 ^a
缬氨酸Val	0.82±0.01 ^c	0.98±0.02 ^b	0.94±0.05 ^b	0.87±0.03 ^c	1.08±0.04 ^a	1.10±0.05 ^a
异亮氨酸Ile	0.70±0.03 ^c	0.81±0.04 ^b	0.77±0.07 ^{bc}	0.70±0.04 ^c	0.91±0.04 ^a	0.91±0.05 ^a
亮氨酸Leu	1.30±0.06 ^b	1.43±0.06 ^b	1.43±0.13 ^b	1.29±0.05 ^b	1.72±0.06 ^a	1.77±0.09 ^a
苯丙氨酸Phe	0.59±0.02 ^d	0.70±0.02 ^b	0.72±0.04 ^b	0.64±0.03 ^c	0.96±0.03 ^a	0.98±0.04 ^a
赖氨酸Lys	0.59±0.00 ^d	0.74±0.03 ^{bc}	0.78±0.03 ^b	0.68±0.01 ^c	1.88±0.07 ^a	1.88±0.09 ^a
非必需氨基酸NEAA						
天冬氨酸Asp [#]	1.58±0.09 ^c	1.78±0.07 ^b	1.77±0.10 ^b	1.65±0.05 ^{bc}	1.96±0.07 ^a	2.03±0.10 ^a
丝氨酸Ser	0.69±0.02 ^c	0.75±0.01 ^{ab}	0.76±0.04 ^{ab}	0.72±0.01 ^{bc}	0.75±0.02 ^{ab}	0.78±0.04 ^a
谷氨酸Glu [#]	2.65±0.10 ^b	2.80±0.09 ^{ab}	2.74±0.16 ^a	2.64±0.08 ^b	2.82±0.09 ^{ab}	2.88±0.13 ^a
甘氨酸Gly [#]	0.75±0.10 ^b	0.89±0.05 ^a	0.85±0.01 ^{ab}	0.86±0.09 ^{ab}	0.95±0.03 ^a	0.94±0.04 ^a
丙氨酸Ala [#]	0.96±0.07 ^d	1.08±0.05 ^{bc}	1.10±0.04 ^b	0.99±0.04 ^{cd}	1.20±0.04 ^a	1.25±0.06 ^a
胱氨酸Cys	0.10±0.02 ^{ab}	0.13±0.02 ^a	0.11±0.01 ^{ab}	0.09±0.00 ^b	0.13±0.01 ^a	0.11±0.01 ^{ab}
蛋氨酸Met	0.37±0.03 ^b	0.11±0.19 ^c	—	0.19±0.17 ^{bc}	0.65±0.11 ^a	0.36±0.01 ^b
酪氨酸Tyr	0.47±0.02 ^b	0.54±0.04 ^{ab}	0.57±0.04 ^a	0.52±0.06 ^{ab}	0.59±0.03 ^a	0.53±0.03 ^{ab}
组氨酸His	1.53±0.10 ^c	1.69±0.06 ^a	1.68±0.08 ^{ab}	1.57±0.05 ^{bc}	0.47±0.01 ^d	0.50±0.03 ^d
精氨酸Arg	0.96±0.11 ^b	1.04±0.04 ^b	1.02±0.05 ^b	0.98±0.01 ^b	1.15±0.03 ^a	1.21±0.06 ^a
脯氨酸Pro	0.43±0.04 ^b	0.57±0.17 ^b	0.50±0.03 ^b	0.48±0.02 ^b	0.75±0.02 ^a	0.75±0.04 ^a
W_{TAA}	15.27±0.75 ^c	16.91±0.51 ^b	16.63±0.79 ^b	15.72±0.35 ^{bc}	18.87±0.67 ^a	18.90±0.89 ^a
W_{EAA}	6.67±0.25 ^c	7.35±0.14 ^b	7.20±0.40 ^{bc}	6.78±0.26 ^{bc}	8.56±0.36 ^a	8.43±0.37 ^a
W_{NEAA}	8.60±0.51 ^d	9.56±0.48 ^{bc}	9.42±0.44 ^c	8.94±0.11 ^c	10.30±0.33 ^{ab}	10.47±0.52 ^a
W_{DAA}	1.81±1.56 ^d	1.97±1.72 ^{bc}	1.96±1.70 ^{bc}	1.84±1.59 ^{cd}	2.13±1.85 ^{ab}	2.11±1.83 ^a
W_{EAA}/W_{TAA} (%)	43.70	43.45	43.32	43.11	45.39	44.59
W_{EAA}/W_{NEAA} (%)	77.61	76.84	76.43	75.79	83.11	80.46
W_{DAA}/W_{TAA} (%)	38.94	38.70	38.84	39.08	36.77	37.55

注: W_{TAA} 为氨基酸总量, W_{EAA} 为必需氨基酸总量; W_{NEAA} 为非必需氨基酸总量; W_{DAA} 为呈味氨基酸总量; [#]表示呈味氨基酸。同行数据不同字母代表差异显著($P<0.05$)

Note: W_{TAA} is the total amount of amino acids; W_{EAA} is the total amount of essential amino acids; W_{NEAA} is the total amount of non-essential amino acids; W_{DAA} is the total amount of flavour amino acids. [#] represents delicious amino acids. Different letters in peer data represent the significant difference ($P<0.05$)

18.10%)和银鲟(*Pampus argentius*; 19.60%)等淡水鱼^[17], 其他群体蛋白含量也与之类似。

冷水性鱼类通常需要储存更多的脂肪来维持正常的生理活动, 肌肉中适宜的脂肪含量也能够为肉质增加鲜嫩的口感, 6个群体间脂肪含量(2.04%—9.08%)普遍高于翘嘴鲌(*Culter alburnus*; 1.89%)^[32]、野生大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*; 1.14%)^[33]、中华鲟(*Acipenser sinensis*; 1.1%)^[34]和梭鲈(*Sander lucio-perca*; 0.63%)^[35]等, 这可能是虹鳟肉质更加细嫩鲜美的原因之一。HM、HN和XY群体脂肪含量偏低, 极可能是因为这3个群体选自于道氏虹鳟, 道氏虹鳟肌肉脂肪含量(2.06%)^[27]低于其他品种, 也可能与捕捞时间、养殖环境、饲料、食性特征和采样环

境等因素有关, 是最容易发生波动的一个指标。XY群体选择爱乐高能饲料但肌肉中脂肪含量与使用低能饲料的HM群体差别不大, 可能是因为该试验值测量了肌肉中脂肪酸的含量, 而脂肪酸摄入过多会储存在肌肉或者内脏中。新疆地区环境温度更低, 摄入的过多脂肪可能储存在内脏中, 起到保温作用, 在解剖过程中也验证了这点猜想, 内脏外覆盖脂肪层较其他群体更厚。

HM表现为典型高蛋白(19.07%)、低脂肪(2.04%)的特点, 表明HM繁育群体的营养水平优于其他繁育群体, 而脂肪含量与养殖环境、饲料和食性特征等因素有关, 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所渤海冷水性鱼类试验站为保证虹鳟“水科1号”选

表 4 六个虹鳟代表性繁育群体肌肉必需氨基酸营养价值评价(平均值±标准误, n=30)

Tab. 4 Comparison on evaluation of amino acids traits in the muscle of of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) between 6 representative breeding population (mean±SE, n=30)

必需氨基酸 EAA Essential amino-acid	FAO/WHO 标准 FAO/WHO standard	鸡蛋蛋 白质 Egg protein	黑龙江牡丹江 Mudanjiang, Heilongjiang			黑龙江宁安 Ning'an, Heilongjiang			甘肃 Gansu		
			含量 Content (mg/g N)	蛋白质的 氨基酸 评分 Amino acid score (AAS)	化学评分 Chemical score (CS)	含量 Content (mg/g N)	蛋白质的 氨基酸 评分 Amino acid score (AAS)	化学评分 Chemical score (CS)	含量 Content (mg/g N)	蛋白质的 氨基酸 评分 Amino acid score (AAS)	化学评分 Chemical score (CS)
异亮氨酸Ile	250	331	230.51	0.92	0.70	236.89	0.95	0.72	219.17	0.88	0.66
亮氨酸Leu	440	534	426.05	0.97	0.80	421.64	0.96	0.79	407.97	0.93	0.76
苏氨酸Thr	250	292	255.25	1.02	0.87	262.64	1.05	0.90	255.27	1.02	0.87
缬氨酸Val	310	441	269.23	0.86	0.61	287.02	0.93	0.65	269.29	0.87	0.61
蛋氨酸+胱 氨酸 Met+Cys	220	386	153.50	0.15	0.40	69.64	0.32	0.18	31.70	0.14	0.08
苯丙氨 酸+酪氨酸 Phe+Tyr	380	565	346.47	0.92	0.61	363.71	0.96	0.64	369.02	0.97	0.65
赖氨酸Lys	340	441	193.04	0.56	0.44	217.08	0.64	0.49	222.81	0.66	0.51
必需氨基酸 指数EAAI				61.06			56.73			49.54	

必需氨基酸 EAA Essential amino-acid	FAO/WHO 标准 FAO/WHO standard	鸡蛋蛋 白质 Egg protein	新疆Xinjiang			吉林Jilin			辽宁Liaoning		
			含量 Content (mg/g N)	蛋白质的 氨基酸 评分 Amino acid score (AAS)	化学评分 Chemical score (CS)	含量 Content (mg/g N)	蛋白质的 氨基酸 评分 Amino acid score (AAS)	化学评分 Chemical score (CS)	含量 Content (mg/g N)	蛋白质的 氨基酸 评分 Amino acid score (AAS)	化学评分 Chemical score (CS)
异亮氨酸Ile	250	331	244.90	0.98	0.74	300.38	1.20	0.91	297.75	1.19	0.90
亮氨酸Leu	440	534	451.98	1.03	0.85	566.77	1.29	1.06	575.94	1.31	1.08
苏氨酸Thr	250	292	290.47	1.16	0.99	295.99	1.18	1.01	304.27	1.22	1.04
缬氨酸Val	310	441	305.38	0.99	0.69	354.10	1.14	0.80	357.52	1.15	0.81
蛋氨酸+胱 氨酸 Met+Cys	220	386	100.31	0.46	0.26	255.43	1.16	0.66	151.05	0.69	0.39
苯丙氨 酸+酪氨酸 Phe+Tyr	380	565	408.16	1.07	0.72	510.86	1.34	0.90	493.35	1.30	0.87
赖氨酸Lys	340	441	237.80	0.70	0.54	617.20	1.82	1.40	613.97	1.81	1.39
必需氨基酸 指数EAAI				63.94			94.16			87.41	

育群体获得更好的繁殖性能,在定制的亲鱼饲料配方中减少了脂肪的添加量,避免选育群体体内富集过多脂肪影响精卵发育质量和人工繁殖操作。因此,在选育群体培育过程中,可通过选择优良种质、优化养殖环境、蛋能配比和投喂策略等调控虹鳟亲鱼的营养状况,使参与繁殖的亲本具有更高的配子质量,提升苗种生产质量和新品种选育效率。

3.2 肌肉氨基酸组成和含量分析

氨基酸既是蛋白质的组成成分,又是各种代谢途径的中间体,此外,在信号转导、基因表达、蛋白质磷酸化、营养运输与代谢及免疫应答等过程中发挥重要的调节作用,了解膳食中的氨基酸组成和含量是评估食品营养价值的基础,与畜牧产品相比,鱼肉纤维较短,结缔组织较少,故而鱼类肌肉蛋白更好消化,氨基酸成分更加均衡^[36,37]。

表 5 六个虹鳟代表性繁育群体肌肉脂肪酸组成与含量(平均值±标准误, $n=30$, g/100 g)

Tab. 5 Comparison of fatty acid profiles in the muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) between 6 representative breeding population (mean±SE, $n=30$, g/100 g)

脂肪酸 Fatty acid	黑龙江牡丹江 Mudanjiang, Heilongjiang	黑龙江宁安 Ning'an, Heilongjiang	甘肃 Gansu	新疆 Xinjiang	吉林 Jilin	辽宁 Liaoning
饱和脂肪酸SFA						
肉豆蔻酸C14:0	1.01±0.05 ^c	1.45±0.04 ^b	1.03±0.02 ^c	1.78±0.39 ^a	1.33±0.13 ^{bc}	1.04±0.04 ^c
十五烷酸C15:0	0.20±0.01 ^{bc}	0.22±0.01 ^b	0.16±0.01 ^{bcd}	0.32±0.08 ^a	0.15±0.02 ^{cd}	0.13±0.01 ^d
棕榈酸C16:0	10.81±0.47 ^c	17.66±0.22 ^{ab}	16.06±0.13 ^b	20.04±4.52 ^a	16.82±1.74 ^{ab}	16.46±0.72 ^{ab}
十七烷酸C17:0	—	0.30±0.01 ^a	0.19±0.01 ^b	0.38±0.12 ^a	0.19±0.02 ^b	0.16±0.01 ^b
硬脂酸C18:0	5.33±0.19 ^b	6.31±0.27 ^{ab}	5.83±0.18 ^b	7.68±2.22 ^a	5.47±0.49 ^b	5.42±0.19 ^b
花生酸C20:0	0.46±0.09 ^b	0.40±0.04 ^{bc}	0.37±0.02 ^{bc}	0.71±0.30 ^a	0.18±0.02 ^c	0.17±0.01 ^c
山嵛酸C22:0	—	0.30±0.02 ^b	0.30±0.03 ^b	0.55±0.19 ^a	—	0.03±0.06 ^c
二十四烷酸C24:0	—	0.12±0.11 ^{ab}	0.18±0.01 ^{ab}	0.28±0.27 ^a	0.06±0.11 ^{ab}	—
ΣSFA	17.81±0.53 ^c	26.76±0.36 ^{ab}	24.12±0.38 ^{bc}	31.75±8.05 ^a	24.20±2.52 ^{bc}	23.41±0.95 ^{bc}
单不饱和脂肪酸MUFA						
棕榈油酸C16:1	1.38±0.04 ^c	2.63±0.07 ^a	1.71±0.02 ^d	1.95±0.13 ^c	2.43±0.18 ^b	2.52±0.09 ^{ab}
油酸C18:1n9c	23.84±0.59	24.05±0.49	25.17±0.58	23.97±3.33	26.58±1.15	26.66±0.57
顺-11-二十碳烯酸C20:1	1.76±0.08 ^a	1.21±0.02 ^{bc}	1.24±0.03 ^b	1.25±0.28 ^b	1.00±0.05 ^c	1.03±0.01 ^{bc}
神经酸C24:1	0.88±0.03 ^a	0.49±0.06 ^b	0.30±0.02 ^c	0.84±0.19 ^a	0.18±0.02 ^{cd}	0.13±0.02 ^d
ΣMUFA	27.86±0.68	28.39±0.54	28.43±0.61	28.00±3.92	30.19±1.40	30.35±0.65
多不饱和脂肪酸PUFA						
亚油酸C18:2n6c	33.57±0.33 ^a	28.80±0.49 ^{ab}	33.13±0.27 ^a	26.28±5.85 ^b	32.60±1.98 ^a	32.94±0.77 ^a
γ-亚麻酸C18:3n6	0.49±0.11 ^c	0.40±0.05 ^{cd}	0.54±0.02 ^{bc}	0.27±0.23 ^d	0.78±0.11 ^a	0.72±0.03 ^{ab}
α-亚麻酸C18:3n3	1.97±0.05 ^b	2.52±0.09 ^{ab}	2.88±0.10 ^a	1.98±0.76 ^b	2.80±0.36 ^a	3.07±0.14 ^a
顺-11,14-二十碳二烯酸C20:2	1.76±0.05 ^b	1.40±0.07 ^c	2.01±0.02 ^a	1.16±0.05 ^d	1.41±0.03 ^c	1.79±0.11 ^b
顺-8,11,14-二十碳三烯酸C20:3n6	1.66±0.14 ^a	0.90±0.05 ^c	1.21±0.05 ^b	0.65±0.19 ^c	1.24±0.20 ^b	1.49±0.11 ^a
顺-11,14,17-二十碳三烯酸C20:3n3	0.25±0.02 ^a	0.21±0.01 ^b	0.20±0.00 ^b	0.22±0.05 ^{ab}	0.10±0.01 ^c	0.11±0.02 ^c
花生四烯酸C20:4n6	1.76±0.16 ^a	1.07±0.10 ^{bc}	0.90±0.12 ^{cd}	0.76±0.26 ^d	1.21±0.05 ^b	1.20±0.01 ^b
芥酸C22:1n9	0.97±0.11 ^a	0.53±0.20 ^b	0.35±0.02 ^{bc}	1.21±0.33 ^a	0.22±0.05 ^c	0.17±0.01 ^c
顺-13,16-二十二碳二烯酸C22:2	0.27±0.01 ^a	0.22±0.01 ^b	0.23±0.00 ^b	0.21±0.01 ^b	0.14±0.01 ^c	0.15±0.04 ^c
EPAC20:5n3	1.40±0.12 ^a	1.35±0.07 ^a	0.81±0.04 ^{ab}	1.40±0.77 ^a	0.77±0.16 ^{ab}	0.55±0.09 ^b
DHAC22:6n3	10.22±0.23 ^a	7.46±0.68 ^{ab}	5.20±0.53 ^b	6.11±4.68 ^b	4.34±1.09 ^b	4.06±0.33 ^b
ΣPUFA	54.32±0.32 ^a	44.85±0.89 ^{ab}	47.45±0.99 ^{ab}	40.25±11.90 ^b	45.61±3.90 ^{ab}	46.24±1.54 ^{ab}
Σn6	37.48±0.23 ^a	31.16±0.39 ^{bc}	35.78±0.43 ^{ab}	27.96±6.49 ^c	35.83±2.31 ^{ab}	36.35±0.91 ^{ab}
Σn3	13.85±0.33 ^a	11.54±0.78 ^{ab}	9.09±0.66 ^{ab}	9.70±6.09 ^{ab}	8.01±1.61 ^b	7.79±0.52 ^b
EPA+DHA	11.62±0.32 ^a	8.81±0.75 ^{ab}	6.01±0.57 ^b	7.50±5.44 ^{ab}	5.11±1.25 ^b	4.61±0.35 ^b
n3/n6	0.37	0.37	0.24	0.33	0.22	0.21
PUFA/SFA	3.05	1.67	1.97	1.34	1.92	1.98

注: EPA. 花生五烯酸; DHA. 二十二碳六烯酸; 同行数据后右上角不同字母代表差异显著($P<0.05$)

Note: EPA. eicosapentaenoic acid; DHA. docosahexaenoic acid; Different letters in the upper right corner after the peer data represent significant differences ($P<0.05$)

本研究发现6个虹鳟繁育群体肌肉中含有丰富的氨基酸, 在17种氨基酸中Glu含量最高, 其次是Asp, Cys含量最低(0.09%—0.13%), 这与乌苏里白鲑(*Coregonus ussuriensis*)^[38]、雅罗鱼(*Leuciscus*)^[40]和东方鲀(*Tetraodon fluviatilis*)^[40]等已报道的硬骨鱼基本一致。Glu主要在骨骼肌中合成, 不仅是重要的呈味氨基酸, 也是肝脏、肠道、肌肉和肾脏等组织的主要能量来源, 在鱼类的代谢、基因表达和免疫等过程中发挥着重要的调节作用^[41]。Glu和Asp是呈味氨基酸中呈鲜味的特征氨基酸, 呈味氨基酸总量占氨基酸总量36.77%—39.08%, 高于乌苏里白鲑^[38]、石斑鱼^[42]和金鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[43]等, 表明虹鳟味道更加鲜美。根据FAO/WHO的标准, 优质蛋白质的 W_{EAA}/W_{TAA} 、 W_{EAA}/W_{NEAA} 在40%和60%以上, 本研究中的6个虹鳟繁育群体 W_{EAA}/W_{TAA} 为43.11%—45.39%, W_{EAA}/W_{NEAA} 为75.79%—83.10%, 属于优质蛋白质。Lys是谷物中的第一限制性氨基酸, 能够参与调节人体代谢平衡, 在促进人体生长发育、增强机体免疫力、提高蛋白质和某些营养素的利用率、促进脂肪氧化等方面发挥着重要作用, 适当摄入鱼肉能弥补植物蛋白的不足, 提高膳食蛋白的营养价值, 对维持人类身体健康具有重要意义^[28], JB和LB的Lys的含量最丰富, 这可能与所摄食饲料中添加赖氨酸有关, EAAI为94.16和87.41, 明显高于其他繁育群体, 也高于鳙(*Aristichthys nobilis*; 52.85)^[44]、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*; 53.14)^[44]、大麻哈鱼(61.31)^[33]和乌苏里白鲑(60.36)^[38]等, 说明其肌肉中EAA种类和含量更为均衡。通过对不同虹鳟繁育群体肌肉必需氨基酸成分的研究和评价, 可以在生产研究中调整亲鱼产卵时期饲料中必需氨基酸的添加量, 开发虹鳟亲鱼配合饲料, 为推进虹鳟新品种选育工作提供基本资料。

3.3 肌肉脂肪酸组成和含量分析

脂肪酸不仅是细胞膜的主要成分, 在生物体代谢过程中也扮演重要角色。根据碳链的不饱和程度可以将其分为饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)三大类, 化学结构的差异使得脂肪酸拥有不同的功能^[45]。

本研究共检测出23种脂肪酸。8种SFA中棕榈酸的含量最多, 它能够诱导骨骼肌细胞脂质沉积, 在骨骼肌的增殖和分化方面具有良好的应用价值^[46]; 4种MUFA中油酸含量最为丰富, 它是MUFA的主要成分, 能够有效降低血脂、维持均衡体重、减弱炎症反应和预防粥样动脉硬化疾病等^[47]; 11种PUFA含量几乎占脂肪酸总量的一半, 高水平的多不饱和脂肪酸能够提升肌肉风味, 并具有降血脂血

压、增强生物膜流动性和维持免疫系统稳态等作用^[48]; 这与雅罗鱼^[39]和乌苏里白鲑^[38]的肌肉脂肪酸组成结果一致。

鱼类肌肉中含有丰富的、高质量的营养物质, 尤其是含有大量的n-3脂肪酸, 能有效降低血压和血液中甘油三酯的浓度、增强免疫系统的功能、能很好预防心脑血管疾病和肥胖, 甚至可以预防癌症, 包括 α -亚麻酸、二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)^[49, 50]。EPA和DHA是人和动物生长发育过程中的必须脂肪酸, 具有促进大脑发育和增强记忆力等功能, 虹鳟肌肉中DHA和EPA总量为4.61%—11.62%, HM繁育群体显著高于其他群体($P<0.05$), 也高于大西洋鲑(*Salmo salar*; 2.08%)^[51]、细鳞(*Brachymystax lenok*; 2.54%)^[52]和哲罗鲑(*Hucho taimen*; 2.36%)^[52]等, 反应出虹鳟肌肉的多汁性。随生活水平的提高, 高水平的多不饱和脂肪酸以及丰富的EPA和DHA对人们均衡健康饮食十分重要, 虹鳟肌肉可以作为开发富含不饱和脂肪酸营养食品的原料。

综上所述, 本研究对国内代表性群体肌肉营养成分进行全面分析, 反映了国内虹鳟资源现状及其营养价值。JB和LB繁育群体比其他虹鳟群体含有更多的蛋白质和氨基酸; XY繁育群体的特点是脂肪酸含量最高; HM繁育群体肌肉中含有充足的粗蛋白和粗脂肪, EAA比例适中, 优于FAO/WHO标准, 较其他群体最显著的特点是SFA含量低而PUFA含量高, SFA/PUFA的比值在6个代表性群体中最高, n-3含量、EPA+DHA含量及n-3/n-6的比例最高, 对预防心脑血管疾病非常重要。本研究对国内虹鳟的营养价值进行全面科学的研究, 为虹鳟品质性状筛选及新品种培育提供基础数据资料。

参考文献:

- [1] Wilson R P. Handbook of Nutrient Requirements of Finfish [M]. Boca Raton: CRC Press, 1991: 184-202.
- [2] MacCrimmon H R. World distribution of rainbow trout (*Salmo gairdneri*: Further Observations) [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1971, 28(5): 663-704.
- [3] Arostegui M C. Nonanadromous life history diversity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [D]. Washington: University of Washington, 2019: 146-158.
- [4] Corapci B, Guneri N. Comparative assessment of nutritional composition and physicochemical properties of fresh, freeze-dried and rehydrated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) mince [J]. *Food Science and Technology*, 2019, 40(suppl 1): 163-169.
- [5] Cotta R M, Batista K C, Reis R S, et al. Social-sanitary and lifestyle profile of hypertense and/or diabetics, users

- of the Family Health Program in the city of Teixeira, Minas Gerais State [J]. *Ciencia & Saude Coletiva*, 2009, **14**(4): 1251-1260.
- [6] Mahan L K, Escott-Stump S. Alimentos, nutrição e dietoterapia [J]. *Sã o Paulo: Roca*, 2005(10): 1157.
- [7] Nazzaro J, Martin D S, Perez-Vendrell A M, *et al.* Apparent digestibility coefficients of brewer's by-products used in feeds for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. *Aquaculture*, 2021(530): 735796.
- [8] Lagouri V. Functional Foods [M]. London: IntechOpen, 2019: 77-97.
- [9] Du J X. Rainbow trout culture in China [J]. *Fisheries Science and Technology Information*, 1991, **5**(18): 151. [杜久香. 中国虹鳟鱼养殖 [J]. *水产科技情报*, 1991, **5**(18): 151.]
- [10] Sun D J, Wang B Q. Aquaculture of salmonids in China [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2010, **23**(2): 56-63. [孙大江, 王炳谦. 鲑科鱼类及其养殖状况 [J]. *水产学杂志*, 2010, **23**(2): 56-63.]
- [11] Zhao Z X, Xu J, Bai Q L, *et al.* Genome-wide genetic analysis of cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) populations in China [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, **25**(3): 485-493. [赵紫霞, 许建, 白庆利, 等. 国内虹鳟代表性养殖群体的高通量SNP芯片检测及遗传分析 [J]. *中国水产科学*, 2018, **25**(3): 485-493.]
- [12] Wang D, Wu F X. China Fishery Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022: 21-26. [王丹, 吴反修. 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2022: 21-26.]
- [13] Mozaffarian D, Longstreth W T, Lemaitre R N, *et al.* Fish consumption and stroke risk in elderly individuals: the cardiovascular health study [J]. *Archives of Internal Medicine*, 2005, **165**(2): 200-206.
- [14] Mohanty B P, Mahanty A, Ganguly S, *et al.* Nutritional composition of food fishes and their importance in providing food and nutritional security [J]. *Food Chemistry*, 2019(293): 561-570.
- [15] Chen C, Sander J E, Dale N M. The effect of dietary lysine deficiency on the immune response to Newcastle disease vaccination in chickens [J]. *Avian Diseases*, 2003, **47**(4): 1346-1351.
- [16] Béné C. Small-scale Fisheries: Assessing their Contribution to Rural Livelihoods in Developing Countries [M]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006: 29-34.
- [17] Hu B, Zhou J, Qiu H, *et al.* Comparison of nutritional quality and volatile flavor compounds among bighead carp from three aquaculture systems [J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2021, **28**(8): 4291-4299.
- [18] Usydus Z, Szlinder-Richert J, Adamczyk M, *et al.* Marine and farmed fish in the Polish market: Comparison of the nutritional value [J]. *Food Chemistry*, 2011, **126**(1): 78-84.
- [19] Jia S P, Wang L, Zhang J, *et al.* Comparative study on the morphological characteristics and nutritional quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) cultured in an aquaculture system using land-based container with recycling water and a traditional pond system [J]. *Aquaculture*, 2022(549): 737721.
- [20] Aas T S, Åsgård T, Ytrestøyl T. Chemical composition of whole body and fillet of slaughter sized Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in Norway in 2020 [J]. *Aquaculture Reports*, 2022(25): 101252.
- [21] Roy J, Mercier Y, Tonnet L, *et al.* Rainbow trout prefer diets rich in omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids DHA and EPA [J]. *Physiology & Behavior*, 2020(213): 112692.
- [22] Manor M L, Cleveland B M, Weber G M, *et al.* Effects of sexual maturation and feeding level on fatty acid metabolism gene expression in muscle, liver, and visceral adipose tissue of diploid and triploid rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2015(179): 17-26.
- [23] Callet T, Médale F, Larroquet L, *et al.* Successful selection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on their ability to grow with a diet completely devoid of fishmeal and fish oil, and correlated changes in nutritional traits [J]. *PLoS One*, 2017, **12**(10): e0186705.
- [24] Cleveland B M, Weber G M. Ploidy effects on genes regulating growth mechanisms during fasting and refeeding in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 2014, **382**(1): 139-149.
- [25] Austreng E, Storebakken T, Åsgård T. Growth rate estimates for cultured Atlantic salmon and rainbow trout [J]. *Aquaculture*, 1987, **60**(2): 157-160.
- [26] Sun Z W, Li C, Yin H B, *et al.* Analysis of the nutritional composition in muscle of five varieties of *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2008, **30**(3): 298-302. [孙中武, 李超, 尹洪滨, 等. 不同品系虹鳟的肌肉营养成分分析 [J]. *营养学报*, 2008, **30**(3): 298-302.]
- [27] Cui L L, Lu S X, Gao H T, *et al.* Analysis and evaluation of muscle nutritional components of five principal strains of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in China [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2021, **34**(6): 1-10. [崔丽莉, 鲁绍雄, 高海涛, 等. 5个养殖虹鳟品种肌肉的营养成分分析与评价 [J]. *水产学杂志*, 2021, **34**(6): 1-10.]
- [28] Pal J, Shukla B N, Maurya A K, *et al.* A review on role of fish in human nutrition with special emphasis to essential fatty acid [J]. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2018, **6**(2): 427-430.
- [29] Jacquot R. Organic Constituents of Fish and Other Aquatic Animal Foods [M]. Fish as Food. Amsterdam: Elsevier, 1961: 145-209.
- [30] Hoffer L J. Human protein and amino acid requirements [J]. *JPEN Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 2016, **40**(4): 460-474.

- [31] Herring C M, Bazer F W, Wu G. Amino acid nutrition for optimum growth, development, reproduction, and health of zoo animals [J]. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2021(1285): 233-253.
- [32] Ge Y X, Zou H B, Xia B H, *et al.* Comparative analysis of muscle texture and nutritional components in five groups of *Culter alburnus* in Heilongjiang [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2022. DOI:10.16535/j.cnki.dlhyxb.2022-023. [葛一笑, 邹昊博, 夏邦华, 等. 黑龙江5个群体翘嘴鲌肌肉质构及营养成分比较分析 [J]. 大连海洋大学学报, 2022. DOI:10.16535/j.cnki.dlhyxb.2022-023.]
- [33] Wang J L, Liu W, Li P L, *et al.* Evaluation of nutritive quality and nutrient components in the muscles of wild and farmed chum salmon (*Oncorhynchus keta*) [J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2019, 39(2): 126-132. [王继隆, 刘伟, 李培伦, 等. 野生和养殖大麻哈鱼肌肉营养成分与品质评价 [J]. 广东海洋大学学报, 2019, 39(2): 126-132.]
- [34] Song C, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Comparison of nutritive components in muscles between wild and farmed juveniles of Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* [J]. *Current Zoology*, 2007, 53(3): 502-510. [宋超, 庄平, 章龙珍, 等. 野生及人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的比较 [J]. 动物学报, 2007, 53(3): 502-510.]
- [35] Wang T, Shen Y, Sun L S, *et al.* Comparison of muscle quality among Pikeperch, Largemouth bass and Mandarin fish [J]. *Journal of Aquaculture*, 2020, 41(7): 17-23. [汪涛, 沈勇, 孙龙生, 等. 梭鲈与加州鲈、鳊鱼的肌肉品质比较 [J]. 水产养殖, 2020, 41(7): 17-23.]
- [36] Wu G. Functional amino acids in growth, reproduction, and health [J]. *Advances in Nutrition*, 2010, 1(1): 31-37.
- [37] Wang W, Wu Z, Dai Z, *et al.* Glycine metabolism in animals and humans: implications for nutrition and health [J]. *Amino Acids*, 2013, 45(3): 463-477.
- [38] Wang J L, Liu W, Li P L, *et al.* Evaluation of nutritive quality and nutrient components in the muscle of *Coregonus ussuriensis* [J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2018, 38(5): 35-40. [王继隆, 刘伟, 李培伦, 等. 乌苏里白鲑肌肉营养成分与品质评价 [J]. 广东海洋大学学报, 2018, 38(5): 35-40.]
- [39] Chang Y M, Yan H, Su B F, *et al.* Analysis of muscular nutritional composition in farmed *Leuciscus* spp. and their hybrids in a low saline-alkaline pond [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(2): 332-340. [常玉梅, 闫浩, 苏宝锋, 等. 低盐碱池塘养殖雅罗鱼及其杂交种肌肉营养成分分析 [J]. 中国水产科学, 2017, 24(2): 332-340.]
- [40] Lu M D, Ge Z L, Zhang J S, *et al.* Nutrition evaluation of 4 Chinese species of Fugu [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999(4): 90-94. [卢敏德, 葛志亮, 张纪顺, 等. 对我国4种东方鲀营养价值的评价 [J]. 中国水产科学, 1999(4): 90-94.]
- [41] Li X, Zheng S, Wu G. Nutrition and metabolism of glutamate and glutamine in fish [J]. *Amino Acids*, 2020, 52(5): 671-691.
- [42] Wang L N, Tian Y S, Tang J, *et al.* Analysis and quality evaluation of nutritional components in the muscle of *Epinephelus moara*, *E. lanceolatus* and hybrid “Yunlong grouper” [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(7): 1085-1093. [王林娜, 田永胜, 唐江, 等. 云纹石斑鱼、鞍带石斑鱼及杂交“云龙斑”肌肉营养成分分析及品质评价 [J]. 水产学报, 2018, 42(7): 1085-1093.]
- [43] 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.]
- [44] Liu J L, Xiong B X, Lü G J, *et al.* Comparison on muscle composition of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys mobilis* in two reservoirs with different trophic levels [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(7): 1098-1104. [刘俊利, 熊邦喜, 吕光俊, 等. 两种不同营养类型水库鲢、鳙肌肉营养成分的比较 [J]. 水产学报, 2011, 35(7): 1098-1104.]
- [45] Jeromson S, Gallagher I J, Galloway S D, *et al.* Omega-3 fatty acids and skeletal muscle health [J]. *Marine Drugs*, 2015, 13(11): 6977-7004.
- [46] He Y, Hong L, Huang G T, *et al.* Effect of palmitic acid on induction of lipid deposition in skeletal muscle cells [J]. *Journal of Jilin University (Medicine Edition)*, 2021, 47(6): 1380-1385. [何勇, 洪莉, 黄国涛, 等. 棕榈酸对骨骼肌细胞脂质沉积的诱导作用 [J]. 吉林大学学报(医学版), 2021, 47(6): 1380-1385.]
- [47] Jones P J H, MacKay D S, Senanayake V K, *et al.* High-oleic canola oil consumption enriches LDL particle cholesteryl oleate content and reduces LDL proteoglycan binding in humans [J]. *Atherosclerosis*, 2015, 238(2): 231-238.
- [48] Harayama T, Shimizu T. Roles of polyunsaturated fatty acids, from mediators to membranes [J]. *Journal of lipid research*, 2020, 61(8): 1150-1160.
- [49] Vandongen R, Mori T A, Burke V, *et al.* Effects on blood pressure of omega 3 fats in subjects at increased risk of cardiovascular disease [J]. *Medicine, Health Care and Philosophy*, 1993, 22(3): 371-379.
- [50] Adkins Y, Kelley D S. Mechanisms underlying the cardioprotective effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids [J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2010, 21(9): 781-792.
- [51] Horn S S, Ruyter B, Meuwissen T H E, *et al.* Genetic effects of fatty acid composition in muscle of Atlantic salmon [J]. *Genetics Selection Evolution*, 2018, 50(1): 23.
- [52] Du N N, Huang X L, Hao Q R, *et al.* Analysis of nutritional components and evaluation of nutritive quality in muscle of eight members in Salmonidae [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2022, 35(4): 9-18. [杜宁宁, 黄晓丽, 郝其睿, 等. 八种鲑科鱼类肌肉营养成分分析与营养价值评价 [J]. 水产学杂志, 2022, 35(4): 9-18.]

THE ANALYSIS OF MUSCLE NUTRIENT COMPOSITION OF SIX REPRESENTATIVE BREEDING POPULATION OF RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)

LI Wen-Wen^{1,2}, HUANG Tian-Qing¹, GU Wei¹, LIU En-Hui¹, WANG Gao-Chao¹, ZHOU Jin-Xin^{1,2}, DONG Fu-Lin^{1,2}, JI Kai^{1,3}, LIU Xue-Feng⁴, WANG Xian-Ce⁵, JIAO Wen-Long¹, WANG Bing-Qian¹ and XU Ge-Feng¹

(1. Cold Water Fish Industry Technology Innovation Strategic Alliance, Heilongjiang Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China; 2. College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Department of Life Science and Technology, Harbin Normal University, Harbin 150025, China; 4. Qiandaohu Xunlong Sci-tech Co., Ltd., Hangzhou 310000, China; 5. Gansu Fisheries Research Institute, Lanzhou 730030, China)

Abstract: Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is an important cold-water fish with high nutritional and economic value in China, however, less researches of high-quality rainbow trout germplasm resources populations were reported. This study aimed to provide essential data for assessing the nutrient composition of rainbow trout muscle, trait screening and the breeding process of new species by comprehensively evaluating the muscle nutritional components and quality of representative breeding populations of rainbow trout in six different regions. The 2—3 years old rainbow trout originally from Mudanjiang, Heilongjiang (HM), Ningan, Heilongjiang (HN), Gansu (GL), Xinjiang (XY), Jilin (JB) and Liaoning (LB). Thirty fish from each population were divided equally into three replicates, and the composition and content of moisture, crude protein, crude fat, ash content, amino acids and fatty acids in muscle were measured according to the national standard. The results showed that there were significant differences ($P<0.05$) in moisture (66.50%—77.00%), ash (1.12%—1.43%), crude protein (19.00%—21.84%) and crude fat (2.04%—9.08%) among the breeding groups, and the crude protein content of HN (21.26%) and GL (21.84%) was significantly higher than the other populations ($P<0.05$). In addition, the protein content of arious groups was greater than 16.00% and met the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/World Health Organization (WHO) Standard (2013). Seventeen amino acids were detected in the six breeding populations with a total amino acid contents (TAA) were 15.27%—18.90%. The total amino acid components were significantly higher in LB and JB than those in the other four breeding populations ($P<0.05$), and also had higher essential amino acid index scores (EAAI). Among the 17 amino acids, Glu had the highest content (2.64%—2.88%), followed by Asp (1.58%—2.03%). The content of fresh amino acids was as high as 11.25%—11.79%, indicating that rainbow trout muscles were fresh and tender, and the amino acid index (AAS), chemical index (CS) and EAAI of all populations were higher than the standard of FAO. Twenty-three fatty acids were detected in the six breeding populations, containing eight saturated fatty acid (SFA), four monounsaturated fatty acids (MUFA) and eleven polyunsaturated fatty acids (PUFA), with contents of 17.81%—31.75%, 27.86%—30.35% and 40.25%—54.32%. The PUFA to SFA ratio was between 1.34 to 3.05. HN and XY had higher SFA than other populations, while HM and GL had higher PUFA than other populations. Additionally, JB and LB had relatively higher MUFA than other populations. Taken together, six representative breeding groups of rainbow trout have balanced muscular nutrients and meet the FAO/WHO standard, which provides germplasm resources for rainbow trout breeding.

Key words: Nutritional composition; Amino acids; Fatty acid; Breeding populations; *Oncorhynchus mykiss*