



## 不同体色福瑞鲤 2 号的肌肉品质

龚雅婷<sup>1</sup>, 王兰梅<sup>2</sup>, 朱文彬<sup>2</sup>, 傅建军<sup>2</sup>, 罗明坤<sup>2</sup>, 董在杰<sup>1,2\*</sup>

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部淡水渔业与种质资源利用重点实验室, 江苏 无锡 214081)

**摘要:** 为探究鲤不同体色个体肌肉品质的差异, 本研究以福瑞鲤 2 号青灰色个体 (BG) 和全红个体 (WR) 为对象, 通过检测其肌肉色泽、氨基酸、脂肪酸和质构指标, 评价这 2 种体色福瑞鲤 2 号肌肉品质的差异。结果显示, BG 的  $b^*$  值显著高于 WR; 出肉率以及肌肉的水分、粗脂肪、粗蛋白和灰分无显著差异; 不同体色福瑞鲤 2 号的肌肉中均能检测出 17 种氨基酸, 其中人体必需氨基酸 7 种, 非必需氨基酸 10 种。甘氨酸 (Gly)、脯氨酸 (Pro)、组氨酸 (His) 和半胱氨酸 (Cys) 在 2 组间差异不显著, 其他氨基酸在 2 组间存在显著或极显著差异, 两种体色福瑞鲤 2 号之间  $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{TAA}$  没有显著差异; BG 肉豆蔻酸 (C14:0) 显著高于 WR, BG 的饱和脂肪酸含量较 WR 稍高, WR 的单不饱和脂肪酸含量较 BG 稍高, 二者多不饱和脂肪酸含量相近; WR 的弹性和咀嚼性显著高于 BG。研究表明, 体色对福瑞鲤 2 号的肌肉品质有影响。本研究为鱼类肉质性状改良提供基础数据和参照依据。

**关键词:** 福瑞鲤 2 号; 色泽; 氨基酸; 脂肪酸; 质构

**中图分类号:** S 965.1

**文献标志码:** A

随着生活水平的提高, 人们对食品营养价值的关注度也逐渐增加, 鱼类这一优质蛋白源成为关注的重点。鲤 (*Cyprinus carpio*) 是世界上养殖范围最广的经济鱼类, 适应池塘、稻田、网箱等多种养殖模式, 经济和社会效益较高, 是我国重要的大宗淡水鱼养殖对象<sup>[1]</sup>。我国鲤资源丰富, 重要的地方品种有黄河鲤 (*C. carpio haematopterus* Temminck et Schlegel)、黑龙江鲤 (*C. carpio haematopterus*)、荷包红鲤 (*C. carpio* var. *wuyuanensis*)、兴国红鲤 (*C. carpio* var. *xingguonensis*) 和瓯江彩鲤 (*C. carpio* var. *color*) 等<sup>[2]</sup>。针对不同的鲤品种开展的肌肉营养品质的研究较多<sup>[3-7]</sup>, 有文献报道, 红体色的鲤肉质比普通的青灰色的好, 如万安玻

璃红鲤 (*C. carpio* var. *wanannensis*) 肉质较普通鲤细嫩<sup>[8-9]</sup>, 但由于是不同品种之间的比较, 并不能确定玻璃红鲤肉质上的差异是品种还是体色差异所造成的。

福瑞鲤 2 号是以建鲤 (*C. carpio* var. *jian*)、黄河鲤和黑龙江鲤为原始亲本, 通过完全双列杂交建立基础选育群体, 以生长速率和成活率作为主要指标选育而成的国审水产新品种<sup>[1-2, 10]</sup>。但在繁育过程中, 会出现少量的红色个体<sup>[11]</sup>, 这为研究体色对肉质的影响提供了很好的材料。鱼类的品质一般体现在肉质、表观、气味和营养价值方面, 目前对鱼肉肉质的检测指标主要有: 常规营养成分、氨基酸、脂肪酸、质构、色泽、矿物元素、

收稿日期: 2023-09-21 修回日期: 2023-11-20

资助项目: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-45); 江苏省自然科学基金 (BK20231139); 中国水产科学研究院基  
本科研业务费 (2023TD40)

第一作者: 龚雅婷 (照片), 从事鱼类遗传育种研究, E-mail: 937156738@qq.com

通信作者: 董在杰, 从事水产遗传育种、繁殖及分子生物学研究, E-mail: dongzj@ffrc.cn



挥发性气味、核苷酸等<sup>[12-24]</sup>。刘婧懿等<sup>[25]</sup>指出, 肌肉质构特性受养殖方式、饲料配方、捕获季节及处死方式等外在因素的影响。另外, 捕获前停食暂养也能使鱼肉中脂肪含量下降, 从而提升鱼肉的硬度和咀嚼性<sup>[26]</sup>。因此, 在人工养殖过程中, 可通过优化养殖方式、饲料成分、捕获时间、停食暂养等调控养殖鱼类的肌肉质构特性, 使之符合消费者的最佳口感要求。但目前还缺乏体色对鱼类肉质影响的研究报道。本研究采集福瑞鲤2号青灰色个体和全红个体二者肌肉样本, 对其色泽、常规营养成分、脂肪酸、氨基酸和质构进行分析比较, 旨在探明福瑞鲤2号青灰色个体和全红个体的肌肉品质特点, 从而为鱼类肉质性状改良提供基础数据和参照依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验用 鱼

实验期间, 操作者严格遵守实验动物福利伦理规范, 并按照中国科学院淡水渔业研究中心学术委员会制定的规章制度进行。本研究采用的实验鱼为2龄的福瑞鲤2号青灰色个体(BG, blue-gray)和全红个体(WR, whole red)(图1), 均取自中国水产科学研究院淡水渔业研究中心南泉基地, 在相同条件下饲养。投喂的饲料从无锡通威生物科技有限公司购买, 为蛋白含量29%, 直径6~7 mm的182型号鱼用膨化配合饲料。

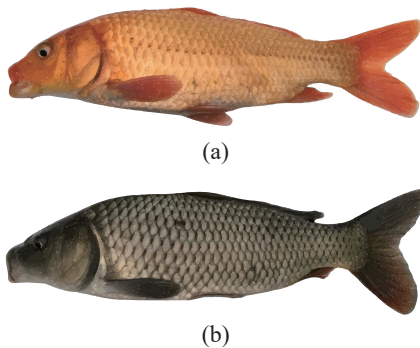


图1 福瑞鲤2号全红个体(a)和青灰色个体(b)

Fig. 1 Freshwater Fisheries Research Center (FFRC) no. 2 stain *C. carpio* whole red individual (a) and blue-gray individual (b)

### 1.2 样品采集与指标检测

从福瑞鲤2号养殖池塘中随机捞取BG和WR各3尾体表无异常的健康个体作为实验鱼。

将实验鱼经丁香油充分麻醉后, 自鱼体两侧头盖骨后至尾鳍前取背部肌肉样本, 然后用色差计(NR110)测量其色泽, 取平均值。测量福瑞鲤2号肌肉色泽, 包括 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ , 其中 $L^*$ 表示亮度,  $L^*=0$ 时为黑色,  $L^*=100$ 时为白色,  $L^*$ 值越大, 颜色越亮, 否则颜色越暗;  $a^*$ 值越大表示颜色越红, 否则颜色越绿;  $b^*$ 值越大表示颜色越黄, 否则颜色越蓝。

将采集的一部分背部肌肉切成2.0~3.0 cm的块状, 混匀后每尾实验鱼称取200 g肌肉组织块, 分装于50 mL离心管中用于脂肪酸和氨基酸的检测。另取50 g用于实验室常规营养成分的检测。

将每尾实验鱼的剩余部分背部肌肉组织分别切成约2.0 cm×2.0 cm×1.5 cm的小块后再平均分成3份, 采用质构剖面分析法(texture profile analysis, TPA)进行肌肉质构相关指标的检测。采用TA.XT.Plus(英国Stable Micro Systems公司)物性测试仪, 探头类型为P50, 测试前速度、测试后速度和测试速度均设定为5 mm/s, 测定间隔为5 s; 压缩比50%。TPA特征值参照郑鑫禹等<sup>[19]</sup>分析法, 测定的7个参数为硬度、黏附性、弹性、粘聚力、胶着度、咀嚼性和回复力。鱼肉切取由一人完成, 减少因操作而造成的误差。

**常规营养成分** 水分含量采用直接干燥法(GB 5009.3—2016)测定。粗蛋白含量使用全自动凯氏定氮仪(GB 5009.5—2016)测定。粗脂肪含量采用全自动脂肪测定仪(GB 5009.6—2016)测定。灰分含量采用高温灰化法(GB 5009.4—2016)测定。

**氨基酸含量** 酸水解法处理肌肉, 使用全自动氨基酸分析仪(日本日立公司L-8800)(GB/T 5009.124—2003)测定。

**脂肪酸含量** 水解提取肌肉中脂肪酸, 使用气相色谱仪(美国安捷伦公司7890A)(GB 5009.168—2016)测定。

**出肉率** 使用精度为0.01 g的电子秤测量体重( $W_1$ )。去除鱼体两侧鱼鳞后, 沿背鳍基部横切, 然后以脊柱为界, 切取鱼体两侧的肌肉, 用滤纸吸干表面水分后称取得到净肉重( $W_2$ ), 并计算出肉率。

$$\text{出肉率} = W_2 / W_1 \times 100\%$$

### 1.3 数据分析

两种体色福瑞鲤2号肌肉的营养相关指标结

果均用 Excel 软件计算, 并以平均值±标准差 (mean±SD) 的形式表示。采用 SPSS 25.0 统计软件对各检测指标进行独立样本 *t* 检验, 显著性水平 *P* 设定为 0.05 和 0.01。

## 2 结果

### 2.1 色泽

由表 1 可看出, BG 肌肉的 *b*\* 值显著高于 WR (*P*<0.05), 其他色泽无显著差异 (*P*>0.05)。

### 2.2 常规营养成分

两种体色福瑞鲤 2 号肌肉常规营养组成见表 2。2 种体色福瑞鲤 2 号的出肉率以及肌肉的水分、粗脂肪、粗蛋白和灰分无显著差异 (*P*>0.05)。

### 2.3 氨基酸结果

BG 和 WR 肌肉中均能检测出 17 种氨基酸, 其中人体必需氨基酸 7 种, 非必需氨基酸 10 种 (表 3)。两种体色福瑞鲤 2 号的非必需氨基酸中谷氨酸的含量最高, 半胱氨酸的含量最低。*t* 检验发现, 甘氨酸 (Gly)、脯氨酸 (Pro)、组氨酸 (His)、半胱氨酸 (Cys) 在两组间差异不显著 (*P*>0.05), 精氨酸在两组间存在显著差异 (*P*<0.05), 其他氨基酸在两组间均存在极显著差异 (*P*<0.01)。两种体色福瑞鲤 2 号间  $\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ TAA 差异不显著 (*P*>0.05)。

表 1 2 种福瑞鲤 2 号肌肉色泽

Tab. 1 Muscle color of two types of FFRC no 2 strain *C. carpio*

色泽 color	BG	WR
亮度值 <i>L</i> *	36.60±2.36	39.41±2.72
红色值 <i>a</i> *	1.87±0.99	2.58±0.49
黄色值 <i>b</i> *	3.49±0.92*	2.52±0.33*

注: 数值上的“\*”表示指标间存在显著差异 (*P*<0.05)。BG. 青灰色个体, WR. 全红个体, 下同。  
Notes: “\*” on the numbers indicates significant difference (*P*<0.05) between indicators. BG. blue-gray, WR. whole red, the same below.

表 2 福瑞鲤 2 号的常规肌肉指标测试结果

Tab. 2 Routine muscle index test results of the FFRC no 2 strain *C. carpio* %

营养成分 nutritional composition	BG	WR
出肉率 fillet yield	34.91±2.83	35.66±2.67
水分 moisture	81.17±0.49	83.30±2.4
粗脂肪 crude lipid	2.11±0.05	2.58±0.59
粗蛋白 crude protein	16.38±0.34	13.63±1.77
灰分 ash	0.98±0.06	1.04±0.05

表 3 2 种福瑞鲤 2 号肌肉氨基酸组成

Tab. 3 Amino acid composition of muscle of two types of FFRC no 2 strain *C. carpio* g/100 g

氨基酸种类 amino acids	BG	WR
谷氨酸 Glu	13.76±0.05**	12.66±0.34**
天冬氨酸 Asp	8.47±0.14**	7.77±0.12**
甘氨酸 Gly	4.49±0.04	4.66±0.51
苏氨酸 <sup>1)</sup> Thr	3.87±0.05**	3.52±0.03**
丝氨酸 Ser	3.04±0.08**	3.12±0.05**
丙氨酸 Ala	4.95±0.03**	4.62±0.11**
赖氨酸 <sup>1)</sup> Lys	8.49±0.08**	7.52±0.20**
脯氨酸 Pro	3.00±0.33	2.86±0.29
缬氨酸 <sup>1)</sup> Val	4.35±0.02**	3.91±0.05**
蛋氨酸 <sup>1)</sup> Met	2.35±0.19**	1.93±0.13**
异亮氨酸 <sup>1)</sup> Ile	1.85±0.02**	1.63±0.07**
亮氨酸 <sup>1)</sup> Leu	6.71±0.08**	6.01±0.10**
酪氨酸 <sup>2)</sup> Tyr	2.55±0.09**	2.26±0.10**
苯丙氨酸 <sup>1)</sup> Phe	3.48±0.10**	3.12±0.04**
组氨酸 His	2.44±0.35	2.03±0.15
精氨酸 Arg	5.01±0.03*	4.71±0.19*
半胱氨酸 <sup>2)</sup> Cys	0.42±0.09	0.34±0.06
$\Sigma$ TAA	81.55±0.44**	74.40±0.67**
$\Sigma$ EAA	33.05±0.04**	29.38±0.51**
$\Sigma$ NEAA	48.50±0.40**	45.01±0.96**
$\Sigma$ SEAA	2.97±0.17*	2.60±0.06*
$\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ TAA	0.41±0.00	0.40±0.01
$\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ NEAA	0.68±0.01	0.65±0.02

注:  $\Sigma$ TAA 为氨基酸总量,  $\Sigma$ EAA 为必需氨基酸总量,  $\Sigma$ NEAA 为非必需氨基酸总量,  $\Sigma$ SEAA 为半必需氨基酸总量。\* 和 \*\* 分别表示指标间存在显著 (*P*<0.05) 和极显著 (*P*<0.01) 差异, 下同。1) 表示必需氨基酸, 2) 表示半必需氨基酸。  
Notes:  $\Sigma$ TAA is the total amount of amino acids,  $\Sigma$ EAA is the total amount of essential amino acids,  $\Sigma$ NEAA is the total amount of non-essential amino acids, and  $\Sigma$ SEAA is the total amount of semi-essential amino acids. \* and \*\* indicates significant (*P*<0.05) and extremely significant (*P*<0.01) difference between indicators, respectively; the same below. 1) represents essential amino acids, and 2) represents semi-essential amino acids.

### 2.4 脂肪酸

BG 和 WR 肌肉中各检测出 14 种脂肪酸 (表 4), 包括 5 种饱和脂肪酸、4 种单不饱和脂肪酸和 5 种多不饱和脂肪酸。BG 的饱和脂肪酸含量较 WR 更高, WR 的单不饱和脂肪酸含量较 BG 更高, 二者多不饱和脂肪酸含量相近。二者的亚油酸 (C18:2n6c) 含量均最高, 并且 BG 的肉豆蔻酸 (C14:0) 含量显著高于 WR (*P*<0.05)。

表 4 2 种福瑞鲤 2 号肌肉脂肪酸组成

**Tab. 4 Fatty acid composition of muscle of two types of FFRC no 2 strain *C. carpio* %**

脂肪酸 fatty acid	BG	WR
肉豆蔻酸 C14:0	0.93±0.07*	0.67±0.09*
棕榈酸 C16:0	19.05±1.01	18.13±0.61
硬脂酸 C18:0	9.29±0.65	8.66±0.51
二十一碳酸 C21:0	1.35±0.15	1.63±0.10
二十三烷酸 C23:0	8.32±0.85	7.72±0.58
ΣSFA	38.94±2.43	36.81±1.48
棕榈油酸 C16:1	1.58±0.22	1.75±0.20
油酸 C18:1n9c	19.94±1.48	20.79±1.29
二十碳烯酸 C20:1	1.39±0.07	1.52±0.11
神经酸 C24:1	1.03±0.03	1.01±0.33
ΣMUFA	23.94±1.78	25.08±1.88
亚油酸 C18:2n6c	23.86±2.06	25.39±2.02
二十碳二烯酸 C20:2	1.28±0.02	1.32±0.05
二十碳三烯酸 C20:3n6	2.16±0.33	1.91±0.23
二十碳五烯酸 C20:5n3	1.36±0.31	1.09±0.63
二十二碳六烯酸 C22:6n3	9.80±1.91	8.42±1.74
ΣPUFA	38.45±0.53	38.12±0.78
(ΣMUFA+ΣPUFA)/ΣSFA	1.61±0.14	1.72±0.11
n-3	11.15±2.22	9.50±2.33
n-6	26.02±1.72	27.30±1.83
n-3/n-6	0.43±0.11	0.35±0.11
EPA+DHA	11.15±2.22	9.50±2.33

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。n-3. n-3 系列脂肪酸; n-6. n-6 系列脂肪酸; EPA+DHA. 二十碳五烯酸+二十二碳六烯酸。  
Notes: ΣSFA is the total amount of saturated fatty acids, ΣMUFA is the total amount of monounsaturated fatty acids, and ΣPUFA is the total amount of polyunsaturated fatty acids. n-3: n-3 fatty acids. n-6: n-6 fatty acids. EPA+DHA: C20:5n-3+C22:6n-3.

2.5 全质构

福瑞鲤 2 号两种体色个体肌肉的弹性和咀嚼性有显著差异 ( $P < 0.05$ ), WR 肌肉的弹性和咀嚼性均高于 BG, 其他性状无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (表 5)。

3 讨论

本研究中, 福瑞鲤 2 号两种体色个体肌肉的  $b^*$  值有显著差异, 其他色泽无显著差异。此结果与二者表观性状呼应, 可见鱼类体色的差异不仅表现在外观皮肤上, 在皮下肌肉中也有相应表现。在有些鱼类中, 鱼肉色泽决定了其市场价值, 如大西洋鲑 (*Salmo salar*) 的肌肉越红其价值越高, 这一性状是由沉积在肉中的膳食类胡萝卜素引起的,

表 5 2 种福瑞鲤 2 号肌肉质构特性结果

**Tab. 5 Muscle texture characteristics result of two types of FFRC no 2 strain *C. carpio***

项目 item	BG	WR
硬度/g hardness	3 476.66±225.46	4 242.45±834.44
黏附性/(g·s) adhesiveness	-16.12±12.97	-26.85±16.46
弹性/mm springiness	0.57±0.07*	0.67±0.06*
粘聚力 cohesiveness	0.36±0.06	0.39±0.24
胶着度/g gumminess	1 239.21±223.63	1 665.17±424.62
咀嚼性/g chewiness	719.45±202.23*	1 121.40±332.23*
回复力 resilience	0.17±0.03	0.18±0.03

而颜色强度则受饮食和遗传的影响<sup>[27]</sup>。有研究证明, 通过外源添加类胡萝卜素在饲料中, 可增加鱼体色泽<sup>[28-29]</sup>。并且, 有研究指出 β-胡萝卜素加氧酶 1 样 (*bco1l*) 基因对肉色起关键作用<sup>[27]</sup>。所以, 可以后续开展在饲料中添加外源类胡萝卜素对福瑞鲤 2 号肌肉色泽的影响实验, 并深入探讨体色相关基因对福瑞鲤 2 号肌肉色泽的作用, 从而提高福瑞鲤 2 号的市场价值。两种体色福瑞鲤 2 号之间肌肉常规营养成分没有显著差异, 尽管在氨基酸组成上存在差异, 但二者的必需氨基酸与总氨基酸含量的比值并无显著差异, 这可以说明两种体色的福瑞鲤 2 号肌肉营养物质的均衡性是一致的。在本研究中, BG 酪氨酸含量显著高于 WR, 由于酪氨酸酶是黑色素合成通路的限速酶, 其活性对鱼类体色具有重要调控作用<sup>[11]</sup>, 此结果说明在 BG 中较高的酪氨酸含量, 一部分用于生命活动所需营养, 另一部分则用于表观体色。

研究发现, 膳食中多不饱和脂肪酸对心脑血管疾病、肠道健康、抗炎和视力保护方面具有一定的调节作用<sup>[20]</sup>。多不饱和脂肪酸是指含有 2 个或多个双键的长链脂肪酸, 是一种具有独特生理功能的生物活性物质, 不饱和程度越高, 营养价值也越高<sup>[30]</sup>。BG (38.45%) 和 WR (38.12%) 二者多不饱和脂肪酸含量相近, 且高于大口黑鲈 (*Micropopterus salmoides*)<sup>[31]</sup>、草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)<sup>[32]</sup>、翘嘴鲌 (*Culter alburnus*)<sup>[33]</sup>、青石斑鱼 (*Epinephelus awoara*)<sup>[34]</sup> 等经济鱼类, 具有较好的营养保健作用。脂肪酸的营养价值主要体现在一些重要的多不饱和脂肪酸含量上, 如 DHA、EPA 等 n-3 系列脂肪酸。研究表明, 食物中 n-6 PUFA 含量过高会造成营养不良, 但 n-3 PUFA 能够在一定范围内消除 n-6 PUFA 的负面效应<sup>[17]</sup>。在日常饮食中,

n-3 PUFA 的摄入量通常远低于 n-6 PUFA, 根据 WHO 推荐, 食物中 n-3/n-6 大于 0.1 对人体健康有益<sup>[35-36]</sup>, 两种体色福瑞鲤 2 号 n-3/n-6 (0.35~0.43) 大于该参考值, 说明该鱼能够改善人类日常膳食中 n-3 和 n-6 系列脂肪酸摄入的不均衡, 满足人们对食品营养的需求。EPA 和 DHA 是人类生长发育的必需脂肪酸, 人体不能合成, 需从食物中摄取。这两种不饱和脂肪酸对人体的生理机能具有重要作用, 可促进生长发育, 预防心血管疾病和神经退化, 减少炎症发生, 能够软化血管, 提高记忆力和视力<sup>[37]</sup>。本研究中, 两种体色福瑞鲤 2 号的 EPA 和 DHA 含量丰富, 其含量高于异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*)<sup>[38]</sup>、黄河鲤<sup>[7]</sup>、翘嘴鲌 (*Siniperca chuatsi*)<sup>[39]</sup>、广东鲂 (*Megalobrama hoffmanni*)<sup>[40]</sup> 等, 为人类的膳食提供丰富的 EPA 和 DHA。因此, 两种体色福瑞鲤 2 号肌肉的营养价值均较高, 是优良的水产养殖品种。

质构分析法 (TPA) 是通过质构仪模拟人口腔的咀嚼动作来分析样品硬度、黏附性、弹性、粘聚力、咀嚼性、胶黏性等参数, 在水产品品质分析中广泛应用<sup>[41]</sup>。鉏晓艳等<sup>[41]</sup> 在大口黑鲈肌肉质构研究中指出, 肌肉的鲜嫩度与硬度、弹性和咀嚼性存在显著负相关性。本研究中, 福瑞鲤 2 号两种体色个体肌肉的弹性和咀嚼性有显著差异, 并且 WR 肌肉的弹性和咀嚼性均高于 BG, 揭示了 BG 肌肉鲜嫩程度要高于 WR, WR 的肌肉更富有嚼劲。此结果可说明前言中玻璃红鲤较其他青灰鲤肉质细嫩可能是由于其品种本身特异所致, 不能简单认为红色鲤比青灰色鲤肉质细嫩。陈东清等<sup>[42]</sup> 指出新鲜虾肉硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性越高, 虾肉制品口感越好。结合本研究结果, WR 的弹性和咀嚼性更高, 可能更有利于后续肉制品的加工。在畜禽中, 有研究指出肌纤维特性影响牛肉质构特性, 且提高 I 型纤维比例和降低 II B 型纤维比例能够改善牛肉嫩度<sup>[43]</sup>。在鱼类中, 有研究指出肌肉纤维密度影响大西洋鲑的肌肉质地, 且肌肉纤维密度与最大剪切力呈正相关<sup>[44]</sup>。李迪<sup>[45]</sup> 指出, 胶原蛋白含量的增加可以使肌肉质构得到改善, 胶原蛋白含量与质构指标呈正相关。所以, 后续可从肌纤维特性和肌肉胶原蛋白含量方向开展与福瑞鲤 2 号的弹性和咀嚼性的关联分析。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

## 参考文献 (References):

- [1] 董在杰. 鲤鱼绿色高效养殖技术与实例 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.  
Dong Z J. Green and profitable aquaculture techniques and practices for common carp[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022 (in Chinese).
- [2] 董在杰, 罗明坤. 中国鲤育种的主要方法、遗传解析及展望 [J]. 水产学报, 2023, 47(1): 019604.  
Dong Z J, Luo M K. Main methods, genetic analysis and prospect of common carp (*Cyprinus carpio*) breeding in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(1): 019604 (in Chinese).
- [3] 吕帆, 朱文彬, 王兰梅, 等. 福瑞鲤与黄河鲤、建鲤鱼肉品质的比较及影响肉质的主成分分析 [J]. 食品科学, 2016, 37(5): 28-34.  
Lü F, Zhu W B, Wang L M, et al. Meat quality comparison of FFRC strain common carp with Huanghe carp and Jian carp and factors influencing their meat quality[J]. Food Science, 2016, 37(5): 28-34 (in Chinese).
- [4] 孙文波, 周明瑞, 侯梦丹, 等. 稻田和池塘养殖禾花鲤肌肉营养与品质分析 [J]. 渔业科学进展, 2023, 44(2): 196-204.  
Sun W B, Zhou M R, Hou M D, et al. Comparing the effects of pond and rice field culture methods on muscle quality of rice flower carp[J]. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(2): 196-204 (in Chinese).
- [5] 李玲雪, 高春山, 彭思博, 等. 稻田与池塘养殖瓯江彩鲤肌肉营养成分对比分析 [J]. 水产科技情报, 2023, 50(2): 116-120.  
Li L X, Gao C S, Peng S B, et al. Contrastive analysis on muscle nutrient composition of *Cyprinus carpio* var. color cultured in paddy field and pond[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2023, 50(2): 116-120 (in Chinese).
- [6] 马冬梅, 朱华平, 黄樟翰, 等. 稻田和池塘养殖华南鲤肌肉营养成分比较分析 [J]. 南方农业学报, 2018, 49(12): 2518-2524.  
Ma D M, Zhu H P, Huang Z H, et al. Comparison of nutrient components in muscle of *Cyprinus carpio rubrofusca* cultured in paddy field and pool[J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(12): 2518-2524 (in Chinese).
- [7] 王冰柯, 王延晖, 冯建新, 等. 黄河鲤新品系 F<sub>3</sub> 和 F<sub>4</sub> 群

- 体的生长和肌肉营养成分差异分析 [J]. 水产科学, 2023, 42(3): 488-495.
- Wang B K, Wang Y H, Feng J X, *et al.* Analysis of difference in growth and muscle nutrient composition between F<sub>3</sub> and F<sub>4</sub> populations of Yellow River common carp *Cyprinus carpio* new strain[J]. Fisheries Science, 2023, 42(3): 488-495 (in Chinese).
- [ 8 ] 楼允东, 孙景春. 江西三种红鲤起源与遗传多样性研究的进展 [J]. 水产学报, 2001, 25(6): 570-575.
- Lou Y D, Sun J C. Progress on studies of origin and genetic diversity of three breeds of red carp in Jiangxi Province[J]. Journal of Fisheries of China, 2001, 25(6): 570-575 (in Chinese).
- [ 9 ] 楼允东. 万安与玻璃红鲤 [J]. 科学养鱼, 2010(5): 71.
- Lou Y D. Wan'an and *Cyprinus carpio* var. *wanannensis*[J]. Scientific Fish Farming, 2010(5): 71 (in Chinese).
- [10] Dong Z, Nguyen N H, Zhu W. Genetic evaluation of a selective breeding program for common carp *Cyprinus carpio* conducted from 2004 to 2014[J]. BMC Genetics, 2015, 16(1): 94.
- [11] 傅建军, 朱文彬, 罗文韬, 等. 不同体色鲤的生长、酪氨酸酶活性、黑色素含量及基因表达比较 [J]. 中国水产科学, 2021, 28(8): 939-947.
- Fu J J, Zhu W B, Luo W T, *et al.* Comparison of growth, tyrosinase activity, melanin content, and gene expression between common carps with different pigmentations[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(8): 939-947 (in Chinese).
- [12] 管玲玲, 刘小红, 田海宁, 等. 不同养殖模式下三倍体虹鳟鱼肉品质差异的研究 [J]. 水生生物学报, 2022, 46(7): 1016-1028.
- Guan L L, Liu X H, Tian H N, *et al.* Fillet quality difference of triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured under different modes[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2022, 46(7): 1016-1028 (in Chinese).
- [13] 施永海, 徐嘉波, 袁新程, 等. 半咸水和淡水养殖模式下刀鲚肌肉的营养成分 [J]. 水产学报, 2023, 47(12): 129606.
- Shi Y H, Xu J B, Yuan X C, *et al.* Muscle nutrient composition of *Coilia nasus* under brackish water and fresh water cultured model[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(12): 129606 (in Chinese).
- [14] 杨育凯, 黄小林, 舒琥, 等. 不同生境下黄斑篮子鱼肌肉营养成分比较分析 [J]. 南方水产科学, 2023, 19(1): 128-135.
- Yang Y K, Huang X L, Shu H, *et al.* Comparative analysis of nutritional composition of muscle from *Siganus oramin* living in different habitats[J]. South China Fisheries Science, 2023, 19(1): 128-135 (in Chinese).
- [15] 樊海平, 薛凌展, 秦志清, 等. 不同品种稻花鲤肌肉中脂肪酸组成比较分析 [J]. 中国农学通报, 2019, 35(31): 139-143.
- Fan H P, Xue L Z, Qin Z Q, *et al.* Muscle fatty acid composition of paddy field carp varieties: a comparison[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(31): 139-143 (in Chinese).
- [16] 徐永江, 王开杰, 姜燕, 等. 三种鲷属鱼类肌肉质构特性及营养成分比较分析 [J]. 中国水产科学, 2022, 29(7): 1022-1032.
- Xu Y J, Wang K J, Jiang Y, *et al.* Comparative analysis of the muscle texture characteristics and nutrient compositions among three *Seriola* fishes[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(7): 1022-1032 (in Chinese).
- [17] 郭晓东. 循环水暂养处理对团头鲂肌肉品质的提升作用 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- Guo X D. Quality improvement of circulating water starvation treatment on the muscle of blunt snout bream[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019 (in Chinese).
- [18] 周彬, 唐洪玉, 朱成科, 等. 循环流水槽养殖草鱼与池塘精养草鱼营养品质比较 [J]. 动物营养学报, 2020, 32(2): 948-958.
- Zhou B, Tang H Y, Zhu C K, *et al.* Analysis on nutritional quality between grass carp cultured in circulating flume and intensive culture pond[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(2): 948-958 (in Chinese).
- [19] 郑鑫禹, 张峻铭, 谢骏, 等. 蚕豆水提取物及维生素 C 和 E 对草鱼肌肉质构、营养成分以及氧化应激的影响 [J]. 水产学报, 2023, 47(6): 069610.
- Zheng X Y, Zhang J M, Xie J, *et al.* Effects of faba bean water extract and vitamin C/E on muscle texture, nutrition composition and oxidative stress in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(6): 069610 (in Chinese).
- [20] Lu Q, Liu F F, Bao J Q. Volatile components of American silver carp analyzed by electronic nose and MMSE-

- GC-MS-O[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2019, 43(11): e13006.
- [21] 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.
- [22] Pérez-Palacios T, Petisca C, Henriques R, *et al.* Impact of cooking and handling conditions on furanic compounds in breaded fish products[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2013, 55: 222-228.
- [23] Zhang N L, Ayed C, Wang W L, *et al.* Sensory-guided analysis of key taste-active compounds in pufferfish (*Takifugu obscurus*)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(50): 13809-13816.
- [24] 叶春艳, 刘志平, 孙森, 等. 松花江鲤鱼肌肉肌苷酸含量和鱼肉保鲜时间的研究 [J]. *水产科学*, 1995, 14(5): 15-17.
- Ye C Y, Liu Z P, Sun S, *et al.* A study on the amount of inosinic acid in the muscle of Songhuajiang River carps and the meet keeping time[J]. *Fisheries Science*, 1995, 14(5): 15-17 (in Chinese).
- [25] 刘婧懿, 赵前程, 程少峰, 等. 鱼肉质构的影响因素及测定方法研究进展 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(9): 3035-3043.
- Liu J Y, Zhao Q C, Cheng S F, *et al.* Research progress on the influencing factors and determination methods of fish muscle texture[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(9): 3035-3043 (in Chinese).
- [26] 夏耘, 余德光, 谢骏, 等. 短期饥饿对草鱼肌肉质构的影响 [J]. *食品工业科技*, 2017, 38(9): 102-107.
- Xia Y, Yu D G, Xie J, *et al.* Influence of short-term starvation on the muscle quality of commercial-sized grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(9): 102-107 (in Chinese).
- [27] Helgeland H, Sodeland M, Zoric N, *et al.* Genomic and functional gene studies suggest a key role of *beta-carotene oxygenase 1 like (bco1l)* gene in salmon flesh color[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 20061.
- [28] Storebakken T, Foss P, Schiedt K, *et al.* Carotenoids in diets for salmonids: IV. Pigmentation of Atlantic salmon with astaxanthin, astaxanthin dipalmitate and canthaxanthin[J]. *Aquaculture*, 1987, 65(3-4): 279-292.
- [29] 孟玉琼, 马睿, 申屠基康, 等. 野生和配合饲料养殖大黄鱼品质的比较研究 [J]. *中国海洋大学学报*, 2016, 46(11): 108-116.
- Meng Y Q, Ma R, Shentu J K, *et al.* Comparative studies on the quality of wild and formulated diet-fed large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2016, 46(11): 108-116 (in Chinese).
- [30] 邹盈, 李彦坡, 戴志远, 等. 三种金枪鱼营养成分分析与评价 [J]. *农产品加工*, 2018(5): 43-47.
- Zou Y, Li Y P, Dai Z Y, *et al.* Analysis and evaluation on nutritional components of three kinds of tuna[J]. *Farm Products Processing*, 2018(5): 43-47 (in Chinese).
- [31] 樊佳佳, 白俊杰, 李胜杰, 等. 大口黑鲈“优鲈 1 号”选育群体肌肉营养成分和品质评价 [J]. *中国水产科学*, 2012, 19(3): 423-429.
- Fan J J, Bai J J, Li S J, *et al.* Nutrient composition and nutritive quality of the muscle of *Micropterus salmoides*, “Youlu No. 1”[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(3): 423-429 (in Chinese).
- [32] 程汉良, 蒋飞, 彭永兴, 等. 野生与养殖草鱼肌肉营养成分比较分析 [J]. *食品科学*, 2013, 34(13): 266-270.
- Cheng H L, Jiang F, Peng Y X, *et al.* Comparison of nutrient composition of muscles of wild and farmed grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*[J]. *Food Science*, 2013, 34(13): 266-270 (in Chinese).
- [33] 周陆, 张国奇, 张友良. 不同水系翘嘴鲌群体肌肉营养成分分析与评价 [J]. *水产科技情报*, 2022, 49(5): 278-283.
- Zhou L, Zhang G Q, Zhang Y L. Evaluation on nutritional components of *Culter alburnus* collected from different basins[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2022, 49(5): 278-283 (in Chinese).
- [34] 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.
- 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 (in Chinese).
- [35] Sánchez-Machado D I, López-Cervantes J, López-Hernández J, *et al.* Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds[J]. *Food*

- Chemistry, 2004, 85(3): 439-444.
- [36] 王思婷, 李鹏, 陈淑吟, 等. 黑鲷与真鲷及其杂交子一代脂肪含量测定与脂肪酸成分分析 [J]. 食品科学, 2016, 37(20): 81-85.  
Wang S T, Li P, Chen S Y, *et al.* Lipid content and fatty acid profile of *Acanthopagrus schlegeli*, *Pagrosomus major* and their hybrids[J]. Food Science, 2016, 37(20): 81-85 (in Chinese).
- [37] 吴洪号, 张慧, 贾佳, 等. 功能性多不饱和脂肪酸的生理功能及应用研究进展 [J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(8): 134-140.  
Wu H H, Zhang H, Jia J, *et al.* Research progress of physiologic function and application of functional polyunsaturated fatty acids[J]. China Food Additives, 2021, 32(8): 134-140 (in Chinese).
- [38] 高攀, 李晓东, 焦飞, 等. 野生和养殖额尔齐斯河银鲫肌肉营养成分及品质的比较分析 [J]. 饲料研究, 2021, 44(10): 88-92.  
Gao P, Li X D, Jiao F, *et al.* Comparative analysis on nutritional components and quality of wild and cultured gibel carp (*Carassius auratus gibelio* Block)[J]. Feed Research, 2021, 44(10): 88-92 (in Chinese).
- [39] 马林, 李明泽, 毕相东, 等. 摄食不同饵料对翘嘴鳊生长性能、肌肉营养成分及消化酶活性的影响 [J]. 饲料研究, 2023, 46(6): 44-49.  
Ma L, Li M Z, Bi X D, *et al.* Effect of different diets on growth performance, muscle nutrient composition and digestive enzyme activity of *Siniperca chuatsi*[J]. Feed Research, 2023, 46(6): 44-49 (in Chinese).
- [40] 刘亚秋, 刘明典, 李新辉, 等. 3 个广东鲂地理种群肌肉营养成分及能量密度比较研究 [J]. 南方水产科学, 2022, 18(4): 163-169.  
Liu Y Q, Liu M D, Li X H, *et al.* Comparative analysis of nutritional composition and energy density of muscle in three geographical populations of *Megalobrama terminalis*[J]. South China Fisheries Science, 2022, 18(4): 163-169 (in Chinese).
- [41] 鉏晓艳, 李湃, 李海蓝, 等. 加州鲈禁食暂养过程中肌肉水分与质构特性相关性分析 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 45-50.  
Zu X Y, Li P, Li H L, *et al.* Correlation analysis between moisture and texture in muscles of *Micropterus salmoides* during fasting temporary cultivation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 45-50 (in Chinese).
- [42] 陈东清, 汪兰, 熊光权, 等. 不同规格小龙虾原料加工特性研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(8): 2156-2161.  
Chen D Q, Wang L, Xiong G Q, *et al.* Study on processing characteristics of the crayfish with different specifications[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(8): 2156-2161 (in Chinese).
- [43] 郎玉苗, 王勇峰, 李敬, 等. 中国西门塔尔牛肌肉肌纤维类型和肉质特性研究 [J]. 中国畜牧兽医, 2016, 43(6): 1489-1493.  
Lang Y M, Wang Y F, Li J, *et al.* Study on muscle fiber types and meat quality traits of Chinese Simmental cattle[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2016, 43(6): 1489-1493 (in Chinese).
- [44] Beattie C. Environmental influences on muscle growth and flesh quality in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[D]. Scotland: University of St Andrews, 2000.
- [45] 李迪. 草鱼(♀)×赤眼鳟(♂)F<sub>1</sub>及其亲本的肌肉营养和质构特性比较研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.  
Li D. Comparative research on muscle nutritional and texture characteristic between the crossbred F<sub>1</sub> from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)(♀)×barbel chub (*Squaliobarbus curriculus*)(♂) and their parents[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016 (in Chinese).



## Muscle quality of the FFRC no. 2 strain *Cyprinus carpio* with different body colors

GONG Yating<sup>1</sup>, WANG Lanmei<sup>2</sup>, ZHU Wenbin<sup>2</sup>, FU Jianjun<sup>2</sup>, LUO Mingkun<sup>2</sup>, DONG Zaijie<sup>1,2\*</sup>

(1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

**Abstract:** To investigate the differences in muscle quality between common carp (*Cyprinus carpio*) with different body colors, the present study focused on the blue-gray (BG) and whole red (WR) individuals of the FFRC no. 2 strain *C. carpio*. The objective was to evaluate the disparities in muscle quality between these two color variants of the *C. carpio*. Muscle quality variations were assessed by examining parameters such as muscle color, amino acid composition, fatty acid content, and texture characteristics. The results showed that the  $b^*$  value of BG was significantly higher than that of WR ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference in fillet yield, moisture, crude lipid, crude protein, and ash content of the muscle between the two color groups ( $P > 0.05$ ); seventeen amino acids were detected in the muscles of different body color *C. carpio*, including 7 essential amino acids and 10 non-essential amino acids. Comparisons of glycine (Gly), proline (Pro), histidine (His), and cysteine (Cys) showed no significant difference between the two groups ( $P > 0.05$ ), while those of other amino acids showed significant ( $P < 0.05$ ) or extremely significant ( $P < 0.01$ ) differences between the two groups. There was no significant difference in  $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{TAA}$  between the two groups ( $P > 0.05$ ); the content of myristic acid (C14:0) in BG was significantly higher than that in WR ( $P < 0.05$ ). BG exhibited higher levels of saturated fatty acids compared to WR, while WR had higher levels of monounsaturated fatty acids than BG. Both BG and WR showed similar levels of polyunsaturated fatty acids. The springiness and chewiness of the muscle in WR were significantly higher than those in BG ( $P < 0.05$ ). The research results show that body color has an impact on the muscle quality of *C. carpio*. This study provides basic data and reference for the improvement of meat quality traits in fish.

**Key words:** *Cyprinus carpio*; color; amino acid; fatty acid; texture

**Corresponding author:** DONG Zaijie. E-mail: [dongzj@ffrc.cn](mailto:dongzj@ffrc.cn)

**Funding projects:** Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-45); Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK20231139); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (2023TD40)