

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16188

低盐碱池塘养殖雅罗鱼及其杂交种肌肉营养成分分析

常玉梅¹, 闫浩^{1,2}, 苏宝锋¹, 孙博¹, 张立民¹, 梁利群¹

1. 淡水鱼类育种国家地方联合工程实验室, 农业部淡水水产生物技术与遗传育种重点实验室, 中国水产科学研究院 特殊生境鱼类种质特性与抗逆育种重点实验室, 中国水产科学研究院 黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070;
2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306

摘要: 本研究旨在为池养雅罗鱼肌肉营养成分的评定和规模化配合饲料的配制提供基础数据。选取达里湖瓦氏雅罗鱼(*Leuciscus waleckii*, 简称 DL)、松花江瓦氏雅罗鱼(*L. waleckii*, 简称 SHJ)、高体雅罗鱼(*L. idus*, 简称 GT)以及种内杂交种(达里湖瓦氏雅罗鱼♀×松花江瓦氏雅罗鱼♂, 简称 DS)和种间杂交种(达里湖瓦氏雅罗鱼♀×高体雅罗鱼♂, 简称 DG)各 15 尾, 每种鱼等量分成 3 组, 测定其背部肌肉的一般营养成分、氨基酸和脂肪酸含量。结果显示: 1) 除水分含量无明显差异外, 5 种养殖雅罗鱼的灰分、粗蛋白和粗脂肪的含量均出现明显差异($P<0.05$)。其中 DS 杂交的灰分(1.77%)含量显著高于其他 4 种雅罗鱼(1.16%~1.22%), 粗脂肪含量(7.23%)显著高于其双亲组合(DL 4.31%, SHJ 4.22%)及含量最低的 DG 杂交(3.32%), 表现出超亲的杂种优势; 5 种养殖雅罗鱼具有较高的蛋白质含量(17.05%~18.80%), 其中 DG 和 DL 的蛋白质含量明显高于其他 3 种养殖群体($P<0.05$), 显示出较强的杂种优势; 2) 5 种雅罗鱼肌肉中均测定出 18 种氨基酸, 氨基酸总量(TAA)介于 73.058%~79.289%, DG 和 DL 的 TAA 含量、AAS、CS 及 EAAI 指数均高于其他 3 种雅罗鱼, 与其粗蛋白的测定结果相符, 表明母本 DL 将其高蛋白的遗传特性很好地遗传给了子代, 进一步证明了杂种优势; 3) 5 种雅罗鱼肌肉中均检测到 23 种脂肪酸, 饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)含量分别为 15.03%~19.06%、49.15%~53.92%和 27.54%~29.40%, PUFA/SFA 比值介于 1.53~1.83; SFA 和 PUFA 含量较高的是 GT 和 DL, 而 MUFA 含量较高的是 DG 和 DS 两个杂交种。综上所述, 5 种盐碱池塘养殖雅罗鱼的肌肉营养成分较均衡, 属优质蛋白质; 杂交选育可以有效改善杂交种的肌肉营养品质, 获得的高脂高蛋白的 DS 杂交和低脂高蛋白的 DG 杂交可以满足不同的市场需求。

关键词: 盐碱池塘; 雅罗鱼; 营养成分; 耐盐碱; 营养品质

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)02-0332-09

鱼类是人类膳食营养所需的优质蛋白质和多不饱和脂肪酸(PUFA)的主要来源。近几年, 尤其是 PUFA 对人类健康的益处被广泛报道, 涉及疾病防治(癌症、心血管疾病等)、生长、视力及其他身体要素^[1-3]。但是鱼类的营养品质则因不同物种、遗传、性别、水环境、饵料以及季节等内在和外在因素的影响而发生变化^[4-6], 因此, 对养殖或野生上市鱼类的营养品质进行科学检测是非常必要的。

雅罗鱼隶属于鲤科(Cyprinidae)、雅罗鱼亚科(Leuciscinae)、雅罗鱼属(*Leuciscus*)。在中国主要有 5 种, 包括瓦氏雅罗鱼(*L. waleckii*)、图们雅罗鱼(*L. waleckii tumensis*)以及来自新疆的准噶尔雅罗鱼(*L. merzbacheri*)、高体雅罗鱼(*L. idus*)和贝加尔雅罗鱼(*L. leuciscus baicalensis*)^[7]。20 世纪 50~60 年代, 雅罗鱼为原产地的主要经济鱼类, 后随着捕捞强度的增加和生态环境的破坏, 资源量明显下降, 准噶尔雅罗鱼甚至出现濒危态势^[8-9]。近

收稿日期: 2016-07-01; 修订日期: 2016-10-09.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31461163004); 黑龙江省科技攻关项目(GCI2B307).

作者简介: 常玉梅(1978-), 女, 副研究员, 专业方向为鱼类分子生物学. E-mail: changyumei@hrfri.ac.cn

通信作者: 梁利群(1963-), 女, 研究员, 博士生导师, 研究方向为水产动物基因工程育种. E-mail: liangliqun@hrfri.ac.cn

几年,随着雅罗鱼超强耐盐碱性分子机制的深入解析^[10-11],挖掘这一优异种质资源的增养殖和育种潜能,将对其资源量的恢复以及中国大面积荒废盐碱水域的开发利用具有重要的战略意义。

中国水产科学研究院黑龙江水产研究所自2007年开始从事雅罗鱼耐盐碱种质的筛选及育种潜力评估的相关工作,完成了不同雅罗鱼种的种质鉴定^[12-14],引种驯化和池塘培育,实现了雅罗鱼在淡水及低盐碱水域的全人工繁殖,开展了不同种内及种间杂交组合的生长对比研究,筛选出两个生长速度快、盐碱耐受力高的雅罗鱼杂交种。目前,关于海水和淡水野生及养殖鱼类的肌肉营养成分的相关研究报道较多^[15-17],张利等^[18]对盐碱湖泊达里湖野生瓦氏雅罗鱼的肌肉营养成分进行了报道,但是对于盐碱水养殖条件下的鱼类营养成分研究鲜有报道。本研究通过比较和分析低盐碱池塘养殖条件下,5种雅罗鱼的肌肉营养成分、氨基酸和脂肪酸含量,为雅罗鱼肌肉营养成分的评定及规模化配合饲料的配制提供基础数据,同时为更好地评价池养雅罗鱼的生产性能和经济价值提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验鱼均为鲜活、无损伤、体质健壮的4龄成鱼,它们分别为达里湖瓦氏雅罗鱼(简称DL)、松花江瓦氏雅罗鱼(简称SHJ)、高体雅罗鱼(简称GT)以及种内杂交种(达里湖瓦氏雅罗鱼♀×松花江瓦氏雅罗鱼♂,简称DS)和种间杂交种(达里湖瓦氏雅罗鱼♀×高体雅罗鱼♂,简称DG),每种15尾,体重(180±35)g,所有实验用鱼都采自黑龙江水产研究所呼兰养殖试验站B59#实验鱼池。实验鱼养殖期间每天定期饲喂商用颗粒饲料2次(长春通威)。样品采集时的池塘水质指标: pH 8.02,盐度 0.38 g/L,水温(10±2)℃,氨氮 4.8 mg/L,碱度 10 mmol/L(滴定法)。

1.2 肌肉营养成分分析

将实验鱼洗净、去皮,取两侧背部肌肉,然后用滤纸将水吸干,用剪刀剪成小碎片,分装于封口袋中。每种实验鱼分成3组,每5尾鱼的肌肉

混样为1组。所有样品保存于-20℃备用。用组织捣碎机充分捣碎搅拌均匀,然后随机取样用于肌肉营养成分(水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分、氨基酸和脂肪酸)分析。

采用105℃烘干称重法(GB 5009.3-2010)测定水分,凯氏定氮法(GB 5009.5-2010)测定粗蛋白质,550℃马福炉灼烧法(GB 5009.4-2010)测定灰分,索氏抽提法(GB/T 9695.7-2008)测定总脂肪,岛津GC2010 plus气相色谱仪测定脂肪酸(GB/T 9695.2-2008,谱尼测试有限公司,北京),日立835-50型氨基酸自动分析仪测定17种氨基酸含量,BioTek酶标仪测定色氨酸。

1.3 营养评价

根据联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)1973年提出的每克氮氨基酸评分标准模式和中国疾病预防控制中心营养与食品安全所提出的鸡蛋蛋白模式进行营养价值评定。蛋白质的氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)^[19]按以下公式计算:

$$\text{AAS} = \text{待测蛋白质氨基酸含量}(\%) / [\text{FAO/WHO评分模式氨基酸含量}(\%)] \times 100;$$

$$\text{CS} = \text{待评蛋白质氨基酸含量}(\%) / \text{鸡蛋蛋白质氨基酸含量}(\%) \times 100;$$

$$\text{EAAI} = [(100A/AE) \times (100B/BE) \times (100C/CE) \times \dots \times (100J/JE)]^{1/n} \times 100。$$

式中, n 为比较的必需氨基酸(EAA)数目; $A, B, C, \dots, J$ 为雅罗鱼肌肉蛋白质的EAA含量; $AE, BE, CE, \dots, JE$ 为全鸡蛋蛋白质的EAA含量。

1.4 数据处理

实验数据采用平均值±标准差($\bar{x} \pm \text{SD}$)表示,利用Excel和SPASS 19.0软件进行数据统计分析。采用单因素方差分析(one-way ANOVA, LSD)和Duncan氏多重比较对数据进行统计比较,显著水平为0.05。

2 结果与分析

2.1 粗蛋白和粗脂肪

由表1可知,池养雅罗鱼与野生雅罗鱼肌肉营养成分除水分含量无明显差异外,5种养殖雅罗鱼在灰分、粗蛋白和粗脂肪的含量均出现明显差异($P < 0.05$)。DS的灰分含量显著高于其他4种养殖及野生群体($P < 0.05$);粗脂肪含量在5种养殖

表 1 5 种池养雅罗鱼及野生雅罗鱼肌肉营养成分比较
Tab. 1 Comparison of nutritional components in muscle of five cultured *Leuciscus* fishes and wild *L. waleckii*
%; n=3; $\bar{x} \pm SD$; FW

种类 species	GT	SHJ	DS	DG	DL	DL (Wild) ^[18]
灰分 ash	1.20±0.09 ^a	1.16±0.04 ^a	1.77±0.09 ^b	1.20±0.05 ^a	1.22±0.01 ^a	1.34
水分 moisture	77.30±1.37	77.20±0.25	76.70±1.00	78.20±1.38	77.50±0.06	79.46
粗脂肪 crude fat	6.66±1.56 ^{bc}	4.22±0.43 ^{ab}	7.23±1.26 ^c	3.32±0.84 ^a	4.31±1.84 ^{ab}	1.23
粗蛋白 crude protein	17.26±0.03 ^a	17.05±0.07 ^a	17.12±0.10 ^a	18.80±0.00 ^b	18.40±0.28 ^b	17.54

注：同行数据无字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: In the same row, values without superscript mean no significant difference ($P>0.05$), while values with different superscripts mean statistically significant differences ($P<0.05$).

雅罗鱼中变动较大, DS 含量最高(7.23%), 其次为 GT(6.66%)、DL(4.31%)、SHJ(4.22%)及 DG(3.32%), 野生群体含量最少(1.23%), DS 与 SHJ、DL 和 DG 之间存在显著差异($P<0.05$); 5 种养殖雅罗鱼具有较高的蛋白质含量, 与野生群体蛋白质含量相近, 其中 DG 和 DL 的蛋白质含量明显高于其他 3 种养殖群体($P<0.05$)。

2.2 氨基酸

由表 2 可知, 5 种雅罗鱼肌肉蛋白质中共检测出 18 种氨基酸, 其氨基酸总量(TAA)分别为 73.792%、73.058%、73.069%、79.289%和 78.637%, 其中 DG 和 DL 的 TAA 显著高于其他 3 种雅罗鱼($P<0.05$), 且与野生群体的 79.345%相当。在所测的 18 种氨基酸中, Glu 含量最高(9.476%~10.236%), 其次为 Asp、Lys、Ile 和 Leu, Cys 含量最低(1.017%~1.234%)。同样地, 在所测的 8 种必需氨基酸中(EAA: Thr、Val、Met、Ile、Leu、Phe、Lys 和 Trp), DG 和 DL 的 EAA 总量略高于 GT、SHJ 和 DS, 但差异不显著($P>0.05$); 除 Trp 外, DG 和 DL 群体中 7 种 EAA 总量亦高于野生群体。5 种池养雅罗鱼的 W_{EAA}/W_{TAA} 比值在 0.45~0.46, W_{EAA}/W_{NEAA} 比值在 0.81~0.84, 均高于野生雅罗鱼的 0.40 和 0.66。

鱼肉味道鲜美的程度与鱼肉中鲜味氨基酸的组成和含量有关。由表 2 可知, 5 种雅罗鱼的呈味氨基酸(DAA: Glu、Asp、Gly 和 Ala)含量较高, 占氨基酸总量的 24.838%~27.836%, 略低于野生群体的 30.879%。4 种 DAA 中, Glu 和 Asp 的含量排在 18 种氨基酸含量的前 2 位, 其中, 在 DG 和 DL 中的含量明显高于其他 3 种雅罗鱼($P<0.05$)。

2.3 肌肉营养品质评价

食物蛋白质营养价值的高低, 主要取决于所

含 EAA 的种类、数量和组成比例。由表 3 可知, 5 种养殖雅罗鱼的 Thr 和 Val 低于 FAO 评分外, 其余 6 种 EAA 含量接近或超过 FAO/WHO 模式和鸡蛋蛋白氨基酸含量。由 AAS 评分可以看出, 5 种雅罗鱼的第一限制氨基酸为 Val, 其值为 0.69~0.76, 第二限制氨基酸为 Thr, 其他 EAA 的 AAS 接近或大于 1(表 4); CS 评分与 AAS 评分略有不同, 其第一限制氨基酸为 Met+Cys, 其值为 0.50~0.56, 第二限制氨基酸为 Val, 但所有氨基酸 CS 值均大于 0.5。从 5 种养殖群体来看, DG 和 DL 群体的 AAS 评分、CS 评分和 EAAI 指数(92.38 和 92.72)均高于其他 3 种养殖群体。

2.4 脂肪酸

5 种养殖雅罗鱼共检测到 23 种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸(SFA)7 种, 总量分别为 15.03%~19.06%, 含量最高的是 C16:0 (13.40~15.23), 其次为 C18:0 (0.20~2.22); 单不饱和脂肪酸(MUFA)有 6 种, 总量为 49.15%~53.92%, C18:1n9 在 MUFA 和总脂肪酸含量中含量最高(40.50~44.15); 共检测到 10 种 PUFA, 总量为 27.54%~29.40%, C18:2n6 含量最高(18.60~20.55), 其次为 C22:6n3(DHA, 2.49~3.51), n-6 含量高于 n-3 含量(表 5)。在 23 种脂肪酸中, 除有 6 种脂肪酸 (C20:0、C24:0、C18:3n6、C20:2、C20:3n3 和 C20:5n3) 在 5 种养殖雅罗鱼中无明显差异外, 其余 17 种在不同群体均有明显变化($P<0.05$)。就总量上来讲, SFA 和 PUFA 含量较高的是 GT 和 DL, MUFA 含量较高的是两个杂交种, DS 和 DG; EPA+DHA 含量较高的是 DS 和 DL, 其中 DL 的 DHA 含量最高(3.51), 并显著高于 GT 和 DG 两个养殖群体($P<0.05$); PUFA/SFA 比值介于 1.53~1.83 (表 5)。

表 2 5 种池养雅罗鱼及野生雅罗鱼肌肉氨基酸含量比较

Tab. 2 Comparison of amino acids in muscle of five cultured *Leuciscus* fishes and wild *L. waleckii*

%; n=3; $\bar{x} \pm \text{SD}$; DW

氨基酸 amino acids	GT	SHJ	DS	DG	DL	DL(Wild) ^[18]
Glu	9.476±0.013 ^a	9.834±0.146 ^a	9.564±0.132 ^a	10.636±0.029 ^c	10.236±0.206 ^b	13.159
Asp	7.253±0.099 ^a	6.768±0.000 ^d	7.289±0.050 ^a	8.051±0.086 ^{bc}	7.781±0.135 ^b	8.094
Gly	4.298±0.377 ^b	3.810±0.230 ^a	3.917±0.019 ^{ab}	4.393±0.103 ^b	4.284±0.137 ^b	4.772
Ala	4.496±0.085 ^{ab}	4.426±0.250 ^a	4.486±0.061 ^{ab}	4.756±0.276 ^{ab}	4.800±0.044 ^{ab}	4.854
Ser	2.661±0.106 ^{ac}	2.629±0.133 ^a	2.645±0.016 ^{ab}	2.926±0.022 ^d	2.829±0.041 ^{bcd}	3.152
Cys	1.147±0.035 ^{ab}	1.124±0.228 ^{ab}	1.017±0.003 ^a	1.200±0.154 ^{ab}	1.234±0.015 ^{ab}	1.048
Tyr	2.446±0.038 ^a	2.487±0.153 ^{ab}	2.671±0.123 ^{bc}	2.861±0.006 ^c	2.810±0.053 ^c	2.826
His	1.835±0.048 ^a	1.758±0.136 ^a	1.808±0.150 ^a	1.892±0.107 ^a	1.902±0.056 ^a	1.866
Arg	4.387±0.066 ^{ab}	4.323±0.216 ^a	4.500±0.182 ^{ab}	4.700±0.223 ^{bc}	4.718±0.089 ^{bc}	4.890
Pro	2.278±0.072 ^a	2.203±0.271 ^a	2.218±0.059 ^a	2.430±0.191 ^a	2.452±0.020 ^a	3.002
Thr	2.853±0.056 ^a	2.808±0.135 ^a	2.888±0.048 ^{ab}	3.109±0.168 ^c	3.100±0.057 ^{bc}	3.629
Val	3.499±0.019 ^{ab}	3.441±0.300 ^{ab}	3.399±0.004 ^a	3.706±0.253 ^{ab}	3.766±0.009 ^{ab}	4.089
Met	2.219±0.134 ^{ab}	2.197±0.081 ^{ab}	2.062±0.004 ^a	2.267±0.146 ^{ab}	2.255±0.003 ^{ab}	2.839
Ile	6.449±0.361 ^{ac}	6.296±0.112 ^{ab}	6.185±0.028 ^a	6.533±0.280 ^{ad}	6.718±0.087 ^{bcd}	3.518
Leu	6.113±0.052 ^a	6.251±0.045 ^{ab}	6.235±0.345 ^a	6.484±0.340 ^{ab}	6.511±0.088 ^{ab}	6.418
Phe	3.525±0.100 ^a	3.697±0.025 ^a	3.611±0.271 ^a	3.713±0.278 ^a	3.759±0.010 ^a	3.574
Lys	6.760±0.274 ^{ab}	6.879±0.074 ^{ac}	6.661±0.155 ^a	7.514±0.193 ^c	7.089±0.109 ^{bcd}	7.615
Trp	2.093±0.034 ^b	1.839±0.065 ^a	1.908±0.039 ^a	2.113±0.083 ^b	2.389±0.025 ^c	—
TAA	73.792±0.800 ^a	73.058±0.800 ^a	73.069±0.679 ^a	79.289±0.554 ^b	78.637±1.023 ^b	79.345
ΣEAA	31.420±0.150	31.570±0.230	31.040±0.181	33.330±0.273	33.200±0.242	31.682
ΣEAA(Trp)	33.511±0.161	33.408±0.120	32.949±0.142	35.439±0.157	35.588±0.184	—
ΣDAA	25.523±0.221	24.838±0.136	25.256±0.095	27.836±0.324	27.101±0.225	30.879
W _{EAA} /W _{TAA}	0.45	0.46	0.45	0.45	0.45	0.40
W _{EAA} /W _{NEAA}	0.83	0.84	0.82	0.81	0.83	0.66

注：同行数据无字母表示差异不显著($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).

Note: In the same row, values without superscript mean no significant difference ($P>0.05$), while values with different superscripts mean statistically significant differences ($P<0.05$).

表 3 5 种雅罗鱼肌肉蛋白(必需氨基酸)与 FAO/WHO 评价标准和鸡蛋蛋白模式的比较

Tab. 3 Comparison of essential amino acids in muscle of five cultured *Leuciscus* fishes to FAO/WHO standard evaluation mode and chicken egg protein

必需氨基酸 EAA	GT	SHJ	DS	DG	DL	FAO/WHO 评分模式 FAO/WHO evaluation mode	鸡蛋蛋白 egg protein
Ile	403	394	387	408	420	250	331
Leu	382	391	390	405	407	440	534
Lys	423	430	416	470	443	340	441
Met+Cys	210	208	192	217	218	220	386
Phe+Tyr	373	387	393	411	411	380	565
Thr	178	176	181	194	194	250	292
Trp	131	115	119	132	149	60	38
Val	219	215	212	232	235	310	411

表 4 5 种雅罗鱼氨基酸 AAS 和 CS 评分的比较
Tab. 4 Comparison of AAS and CS for amino acids in five cultured *Leuciscus* fishes

必需氨基酸 EAA	AAS					CS				
	GT	SHJ	DS	DG	DL	GT	SHJ	DS	DG	DL
Ile	1.61	1.57	1.55	1.63	1.68	1.22	1.19	1.17	1.23	1.27
Leu	0.87	0.89	0.89	0.92	0.92	0.72	0.73	0.73	0.76	0.76
Lys	1.24	1.26	1.22	1.38	1.30	0.96	0.97	0.94	1.06	1.00
Met+Cys	0.96	0.94	0.87	0.98	0.99	0.55	0.54	0.50	0.56	0.56
Phe+Tyr	0.98	1.02	1.03	1.08	1.08	0.66	0.68	0.69	0.73	0.73
Thr	0.71	0.70	0.72	0.78	0.78	0.61	0.60	0.62	0.67	0.66
Trp	2.18	1.92	1.99	2.20	2.49	3.44	3.02	3.14	3.48	3.93
Val	0.71	0.69	0.69	0.75	0.76	0.53	0.52	0.52	0.56	0.57
EAAI						87.26	85.91	85.27	92.38	92.72

表 5 5 种池养雅罗鱼脂肪酸组成及含量
Tab. 5 Comparison on components and contents of fatty acids in muscle of five cultured *Leuciscus* fishes

% (以脂肪酸计, of total fatty acids); n=3; $\bar{x} \pm \text{SD}$

脂肪酸 fatty acid	GT	SHJ	DS	DG	DL
C14:0	0.98±0.01 ^c	0.89±0.04 ^{bc}	0.92±0.06 ^{bc}	0.89±0.03 ^{bc}	0.84±0.09 ^{ab}
C15:0	0.23±0.04 ^c	0.22±0.03 ^{bc}	0.15±0.04 ^a	0.17±0.01 ^{ab}	0.23±0.00 ^{bc}
C16:0	15.23±1.12 ^b	13.8±0.44 ^a	13.60±0.14 ^a	13.40±0.57 ^a	14.00±0.14 ^{ab}
C17:0	0.15±0.04 ^b	0.13±0.01 ^{ab}	0.11±0.00 ^a	0.13±0.00 ^{ab}	0.15±0.01 ^b
C18:0	2.22±0.19 ^b	1.66±0.06 ^a	1.59±0.04 ^a	0.20±0.03 ^c	1.75±0.26 ^a
C20:0	0.23±0.02	0.21±0.00	0.20±0.00	0.22±0.04	0.20±0.01
C24:0	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00
ΣSFA	19.06±2.58	16.93±2.14	16.58±2.15	15.03±1.56	17.19±2.75
C14:1n5	0.05±0.01 ^a	0.07±0.00 ^b	0.07±0.02 ^b	0.06±0.02 ^{ab}	0.07±0.00 ^b
C16:1n7	6.52±1.31 ^a	8.58±0.19 ^b	8.51±0.24 ^b	8.26±0.32 ^b	7.56±0.83 ^{ab}
C18:1n9	41.00±0.42 ^{ab}	40.60±0.00 ^a	42.10±0.71 ^{ab}	44.15±0.78 ^b	40.50±2.97 ^a
C20:1	1.44±0.09 ^{bc}	1.28±0.08 ^a	1.52±0.04 ^c	1.32±0.04 ^{ab}	1.32±0.13 ^{ab}
C22:1n9	0.08±0.01 ^a	0.07±0.02 ^a	1.02±0.06 ^b	0.08±0.01 ^a	0.06±0.01 ^a
C24:1n9	0.05±0.01 ^a	0.07±0.01 ^{bc}	0.06±0.00 ^{ab}	0.06±0.01 ^{abc}	0.07±0.01 ^{abc}
ΣMUFA	49.15±4.58	50.67±3.97	53.27±5.08	53.92±4.27	49.58±3.67
C18:2n6	20.55±0.21 ^b	18.90±0.30 ^a	18.60±0.40 ^a	19.28±0.60 ^{ab}	19.40±1.84 ^{ab}
C18:3n6	0.74±0.05	0.69±0.06	0.58±0.02	0.63±0.04	0.70±0.10
C18:3n3	1.49±0.04 ^b	1.23±0.08 ^a	1.20±0.10 ^a	1.30±0.08 ^{ab}	1.31±0.14 ^{ab}
C20:2	1.13±0.06	1.12±0.04	1.28±0.01	1.04±0.05	1.22±0.06
C20:3n6	1.11±0.03 ^{bc}	1.02±0.02 ^{ab}	1.20±0.00 ^c	0.97±0.00 ^a	1.09±0.04 ^{abc}
C20:4n6	0.90±0.01 ^c	1.40±0.32 ^a	1.57±0.08 ^{ab}	1.26±0.14 ^a	1.50±0.01 ^{ab}
C20:3n3	0.12±0.02	0.11±0.01	0.12±0.00	0.09±0.02	0.13±0.01
C20:5n3(EPA)	0.52±0.40	0.48±0.11	0.48±0.03	0.47±0.06	0.53±0.01
C22:2n6	0.03±0.01 ^b	0.03±0.01 ^b	0.02±0.01 ^a	0.02±0.01 ^{ab}	0.04±0.01 ^b
C22:6n3(DHA)	2.58±0.10 ^a	2.62±0.84 ^{ab}	2.73±0.00 ^{ab}	2.49±0.20 ^a	3.51±0.54 ^b
ΣPUFA	29.15±1.75	27.59±2.06	27.82±2.41	27.54±1.59	29.40±2.51
n-6	23.33	22.04	21.97	22.16	22.73
n-3	4.71	4.44	4.53	4.35	5.48
EPA+DHA	3.10	3.10	3.21	2.96	4.04
PUFA/SFA	1.53	1.63	1.68	1.83	1.71

注：同行无字母表示差异不显著($P > 0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$).

Note: In the same row, values without superscript mean no significant difference ($P > 0.05$), while values with different superscripts mean statistically significant differences ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 池塘养殖雅罗鱼及其杂交种肌肉营养品质分析

为了保持雅罗鱼的耐高碱特性, 早期我们在开展良种选育过程中, 主要以采自高盐碱湖泊达里湖的瓦氏雅罗鱼为母本进行种内及种间杂交选育。同时为了避免由养殖环境和饲料营养等造成的实验误差, 本研究分析的5种雅罗鱼群体均为2011年制备的自交和杂交 F_1 , 并长期饲养在同一池塘中为雅罗鱼良种选育提供基础群体。因此, 本研究所分析的5种雅罗鱼具有相同的养殖环境和饲料营养, 其肌肉营养成分差异主要来自遗传效应。本研究中, DS杂交为种内杂交, 亲本间具有较高的配合力, 较高的脂肪含量显示出比较明显的超亲优势; DG杂交为种间杂交, 其低脂高蛋白的肌肉品质与DL母本一致, 表明DL母本可能在调控杂交后代脂肪和蛋白质形成过程中发挥重要作用。

消费者普遍认为, 野生鱼类的营养品质要优于养殖鱼类。然而很多研究发现, 一些养殖鱼类的营养品质可以与野生鱼类相媲美, 有的营养成分甚至高于野生鱼类。如 Ashraf 等^[20]比较了养殖草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)和白鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)与其野生种的营养成分, 结果发现养殖草鱼的蛋白含量、养殖白鲢的蛋白质和脂肪含量均显著高于野生种($P<0.05$); O'Neill 等^[17]研究发现, 养殖和野生黄尾鲷(*Seriola lalandi*)的一般营养成分无显著差别($P\geq 0.05$), 而在一些脂肪酸和微量元素方面存在显著差异($P<0.05$)。通过对比养殖雅罗鱼和野生雅罗鱼的一般营养成分含量可以看出(表1), 5种养殖雅罗鱼含有较高的脂肪含量(3.32~7.23 vs 1.23), 2种养殖雅罗鱼(DG和DL)含有较高的蛋白含量(18.80, 18.40 vs 17.54), 表明池养雅罗鱼的肌肉营养品质与野生雅罗鱼相当, 通过杂交获得的高脂高蛋白(DS)和低脂高蛋白(DG)两种杂交种的营养品质可以满足不同消费者的需求。

3.2 池塘养殖雅罗鱼及其杂交种肌肉氨基酸组成和含量分析

5种池养雅罗鱼中共检测到18种氨基酸, 包括8种EAA和4种DAA(表2)。一般鱼类肌肉中氨基酸含量前五位的依次为Glu、Asp、Lys、Leu

和Arg^[21], 而池养雅罗鱼前五位的氨基酸排列顺序略有不同, 依次为Glu、Asp、Lys、Ile和Leu。但总体而言, Glu含量最高(9.476%~10.236%), Cys含量最低(1.017%~1.234%), 这与野生雅罗鱼及其他已报道的硬骨鱼类如黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)^[21]、刀鲚(*Coilia ectenes*)^[22]、翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)^[23]和罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)^[24]等肌肉氨基酸含量的高低顺序基本一致。强俊等^[19]认为这是因为硬骨鱼类在进化过程中肌肉水解氨基酸的种类具有较大的保守性, 因而导致其不同种类具有相似的氨基酸含量排列顺序。另外, Glu不仅是重要的鲜味氨基酸之一, 而且作为重要的渗透调节物, 在鱼类的渗透压调节和离子调节等过程中发挥重要作用^[25]。已有研究发现, Glu可能通过参与脑组织重要生物活性物质的合成参与耐盐碱鱼类的氮代谢^[26-27]。雅罗鱼具有极强的耐高碱特性, 而本研究实验鱼养殖用水的碱度为10 mmol/L, 我们推测雅罗鱼极高的Glu含量可能在维持鱼体离子平衡、适应高盐碱环境中扮演重要角色。

鱼类EAA含量和合适的比例是评价其蛋白质营养品质的一个重要指标。在所检测的8种EAA中, Lys含量最高, 这与Dhaneesh等^[28]和赵立等^[29]的报道结果是一致的。Lys是谷类食物中的第一限制性氨基酸, 而鱼类蛋白质中含有丰富的Lys, 可以弥补植物蛋白的不足, 提高人类摄食蛋白质的营养价值^[28-29]。5种养殖雅罗鱼的EAAI指数在85.27~92.72, 均显著高于FAO/WHO标准(35.38%)和全鸡蛋蛋白质标准(48.08%), 也高于罗非鱼^[19, 24]、刀鲚^[22]和‘优鲈1号’(*Micropterus salmoides*)^[30]等鱼类; 5种养殖雅罗鱼的 W_{EAA}/W_{TAA} 比值在0.45~0.46, W_{EAA}/W_{NEAA} 比值在0.81~0.84, 均高于DL野生群体的0.40和0.66, 也高于普通蛋白质的0.40和0.60的正常比值^[19, 30]。这些指标说明池养雅罗鱼的氨基酸组成平衡, 含量丰富, 属于人体所需的优质蛋白质。DG和DL雅罗鱼的肌肉EAA含量及EAAI指数均高于其他3种养殖雅罗鱼, 该结果与其粗蛋白的测定结果是相符的, 进一步说明DL雅罗鱼将其高蛋白的遗传特性很好地遗传给了后代。虽然养殖雅罗鱼肌肉氨基酸平衡较优, 但根据CS评分可以看出, Val

和 Met+Cys 含量略显不足, 这与近期在罗非鱼^[19]、‘优鲈 1 号’^[30]和山女鳙(*Oncorhynchus masou masou*)^[31]中的研究结果相似, 这可能与养殖鱼类所摄食饲料中含硫氨基酸的不足有关^[19], 今后应在饲料配方中予以加强。

3.3 池塘养殖雅罗鱼及其杂交种肌肉脂肪酸组成和含量分析

本研究中共检测到 23 种脂肪酸, 主要成分为 C16 : 0、C18 : 1n9 和 C18 : 2n6, 它们分别是 SFA、MUFA 和 PUFA 中最主要的成分(表 5), 该结果与强俊等^[19]报道的罗非鱼脂肪酸组成结果相似。其中, GT 雅罗鱼的 SFA 含量最高, DG 杂交种最低; DS 和 DG 两个杂交 F₁ 的 MUFA 含量最高; DL 和 GT 雅罗鱼的 PUFA 含量较高。由此可以看出, 通过杂交, DS 和 DG 杂交 F₁ 的不饱和脂肪酸含量得到很大提高, 说明通过杂交选育可以有效改善杂交种的肌肉营养品质。

5 种养殖雅罗鱼的 MUFA 含量几乎是肌肉脂肪酸含量的一半(表 5), 其中 C18 : 1n9 含量显著高于其他种类的 MUFA, 这与其他文献报道的淡水和海水鱼类肌肉中 C18 : 1 的高含量是一致的, 如 *Capoeta damascina*^[32]、大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)^[33]和黄尾鲷^[17]等。O'Neill 等^[17]认为, 较高的 C18 : 1 能够降低许多炎症性疾病的患病风险, 因此鱼类富含 C18 : 1 对消费者是非常有利的。

本研究共检测到的 10 种 PUFA, 其中含量最高的是 C18 : 2n6, 其次为 C22 : 6n3(DHA), 该结果与 Zhang 等^[16]报道的长江野生鱼类的脂肪酸含量的结果是类似的。鱼类和海产品是 n-3 多不饱和脂肪酸的重要来源, 食用富含 n-3 多不饱和脂肪酸可以改善人体的健康和营养状况^[34]。其中 C20 : 5n3(EPA)和 DHA 被认为是人和动物生长发育的必需脂肪酸^[35]。本研究中, 5 种雅罗鱼的 EPA+DHA 含量占 n-3 多不饱和脂肪酸总量的 65.81%~73.72%, 平均 69.46%, 比 Zhang 等^[16, 36]报道的太湖和长江野生鱼类的 72.80%和 73.60% 的平均含量略低。Hyunh 等^[4]报道指出, 冬季禁食和生殖器官发育是产卵期鱼类脂肪含量下降的主要原因, 据估计在鱼类生殖器官发育成熟期约有 40% 的肌肉脂肪转移到生殖器官。通过比较太平

洋鲱(*Clupea harengus pallasii*)产卵期肌肉、精巢和卵巢的 EPA+DHA 总量发现, 肌肉中只有 17%, 而卵巢和精巢各占 35%和 47%, 生殖器官 EPA+DHA 的含量是肌肉含量的 2 倍以上^[4]。本研究采样期间正好是雅罗鱼繁殖期间, 是否肌肉中的 EPA 和 DHA 发生转移, 从而导致肌肉中这两个必需脂肪酸含量下降, 尚待开展雅罗鱼不同组织和不同季节脂肪酸含量的比较研究而定。

PUFA/SFA 比值是衡量鱼肉营养价值的一个重要指标。本研究中 5 种雅罗鱼的 PUFA/SFA 比值分别为 1.53、1.63、1.68、1.83 和 1.71, 均高于世界卫生组织建议的最低值 0.4~0.5, 也与其他淡水鱼类报道的比值相近^[37]。

总之, 通过本研究可以看出, 5 种池养雅罗鱼的肌肉营养相对较均衡, 属优质蛋白质; 其中, DL 和 DG 雅罗鱼营养品质佳, 具有很好的市场应用前景; 杂交选育可以有效改善杂交种的肌肉营养品质; 获得两个具备不同营养品质的杂交种, 低脂高蛋白的 DG 杂交种以及高脂高蛋白的 DS 杂交种, 以满足不同的市场需求。

参考文献:

- [1] Calder P C. Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: effects, mechanisms and clinical relevance[J]. *Biochem Biophys Acta*, 2015, 1851(4): 469–484.
- [2] Kromhout D, Yasuda S, Geleijnse J M, et al. Fish oil and omega-3 fatty acids in cardiovascular disease: do they really work?[J]. *Eur Heart J*, 2012, 33: 436–443.
- [3] Siriwardhana N, Kalupahana N S, Moustaid-Moussa N. Health benefits of n-3 polyunsaturated fatty acids: eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid[J]. *Adv Food Nutr Res*, 2012, 65: 211–222.
- [4] Huynh M D, Kitts D D, Hu C, et al. Comparison of fatty acid profiles of spawning and non-spawning Pacific herring, *Clupea harengus pallasii*[J]. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*, 2007, 146(4): 504–511.
- [5] Dhaneesh K V, Noushad K M, Kumar T T. Nutritional evaluation of commercially important fish species of Lakshadweep archipelago, India[J]. *PLoS ONE*, 2012, 7(9): e45439.
- [6] Huang J F, Xu Q Y, Chang Y M. Effects of temperature and dietary protein on gene expression of Hsp70 and Wap65 and immunity of juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio*)[J]. *Aqu Res*, 2014, 46: 2776–2788.
- [7] Dou X J, Chang Y M, Tang R, et al. Relationship of Leuciscinae fish based on mtDNA sequence[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 30(4): 826–832. [窦新杰, 常玉梅, 唐然, 等. 几种雅罗鱼亚科鱼类基于 mtDNA 序列

- 的亲缘关系[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(4): 826–832.]
- [8] Li Y S, Dong C Z, Zhao C G. Study on fishery biology of *Leuciscus waleckii* in Heihe branch of the upper Amur River[J]. Heilongjiang Fisheries, 2004(2): 36–38. [李延松, 董崇智, 赵春刚. 黑龙江上游黑龙江段瓦氏雅罗鱼渔业生物学研究[J]. 黑龙江水产, 2004(2): 36–38.]
- [9] Ren M L, Guo Y, Zhang R M, et al. Fish Resources and Fisheries in Chinese Ergis River[M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Health Publishing House, 2002. [任慕莲, 郭炎, 张人铭, 等. 中国额尔齐斯河鱼类资源及渔业[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 2002.]
- [10] Xu J, Li Q, Xu L, et al. Gene expression changes leading extreme alkaline tolerance in Amur ide (*Leuciscus waleckii*) inhabiting soda lake[J]. BMC Genom, 2013, 14: 682.
- [11] Chang Y M, Tang R, Dou X J, et al. Transcriptome and expression profiling analysis of *Leuciscus waleckii*: an exploration of the alkali-adapted mechanisms of a freshwater teleost[J]. Mol Biosyst, 2014, 10: 491–504.
- [12] Chi B J, Chang Y M, Yan X C, et al. Genetic variability and genetic structure of *Leuciscus waleckii* Dybowski in Wusuli River and Dali Lake[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 228–235. [池炳杰, 常玉梅, 闫学春, 等. 瓦氏雅罗鱼达里湖群体和乌苏里江群体的遗传多样性和遗传结构分析[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 228–235.]
- [13] Liu J L. Microsatellite markers screening from *Leuciscus waleckii* and their applications on other wild *Leuciscus* population[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011. [刘金亮. 东北雅罗鱼微卫星分子标记的筛选及雅罗鱼 5 个野生群体遗传多样性分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.]
- [14] Chang Y M, Tang R, Sun X W, et al. Genetic analysis of population differentiation and adaptation in *Leuciscus waleckii*[J]. Genetica, 2013, 141: 417–429.
- [15] Bhourri A M, Bouhlef I, Chouba L, et al. Total lipid content, fatty acid and mineral compositions of muscles and liver in wild farmed sea bass (*Dicentrarchus labrax*)[J]. Afr J Food Sci, 2010, 4(8): 522–530.
- [16] Zhang Z M, Liu L H, Xie C X, et al. Lipid contents, fatty acid profiles and nutritional quality of nine wild caught freshwater fish species of the Yangtze Basin, China[J]. J Food Nutr Res, 2014, 2(7): 388–394.
- [17] O'Neill B, Roux A L, Hoffman L C. Comparative study of the nutritional composition of wild versus farmed yellowtail (*Seriola lalandi*)[J]. Aquaculture, 2015, 448: 169–175.
- [18] Zhang L, Meng H P, Peng B C, et al. Nutrition analysis and evaluation of dace (*Leuciscus brandti*) and *Carassius auratus* in the northeast of DaLi Lake[J]. Inner Mongolia Agricultural Science And Technology, 2008(3): 77–78. [张利, 孟和平, 彭本初, 等. 达里湖东北雅罗鱼和鲫鱼的营养分析评价[J]. 内蒙古农业科技, 2008(3): 77–78.]
- [19] Qiang J, Yang H, Xu P, et al. Comparative study of the growth and nutrient composition of muscle tissue of two species of tilapia and their reciprocal hybrids[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(4): 654–665. [强俊, 杨弘, 徐跑, 等. 吉富罗非鱼与奥利亚罗非鱼完全双列杂交后代生长性能与肌肉营养成分的比较[J]. 中国水产科学, 2015, 22(4): 654–665.]
- [20] Ashraf M, Zafar A, Rauf A, et al. Nutritional values of wild and cultivated silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Int J Agr Biol, 2011, 13(2): 210–214.
- [21] Yang X L, Zhou X L, Shen X Y, et al. Analysis on the rate of flesh and nutritional components in pond cultural *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. Henan Fisheries, 2003(4): 12–14. [杨兴丽, 周晓林, 申秀英, 等. 池养黄颡鱼含肉率及肌肉营养成分分析[J]. 河南水产, 2003(4): 12–14.]
- [22] Tang X, Xu G C, Xu P, et al. A comparison of muscle nutrient composition between wild and cultured *Coilia nasus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(3): 514–520. [唐雪, 徐钢春, 徐跑, 等. 野生与养殖刀鲚肌肉营养成分的比较分析[J]. 动物营养学报, 2011, 23(3): 514–520.]
- [23] Yin H B, Yin J S, Xu W, et al. Nutritive composition in muscles of wild and cultural *Ergthrocultus ilishaeformis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(1): 82–84. [尹洪滨, 尹家胜, 徐伟, 等. 兴凯湖翘嘴红鲌肌肉营养成分分析[J]. 中国水产科学, 2003, 10(1): 82–84.]
- [24] Li S J, Li R W, Song W D, et al. Study on the nutritional components of two species of Tilapia[J]. Ocean and Fishery, 2008(10): 7–9. [李世杰, 李瑞伟, 宋文东, 等. 两种罗非鱼的营养成分研究[J]. 海洋与渔业, 2008(10): 7–9.]
- [25] Bender D A. Amino Acids Synthesized from Glutamate: Glutamine, Proline, Ornithine, Citrulline and Arginine[M]. Chichester: Amino Acid Metabolism, 2012: 157–223.
- [26] Wang Y S, Gonzalez R J, Patrick M L, et al. Unusual physiology of scale-less carp, *Gymnocypris przewalskii*, in Lake Qinghai: a high altitude alkaline saline lake[J]. Comp Biochem Physiol, 2003, 134: 409–421.
- [27] Chang Y M, He Q, Sun Y C, et al. Changes in plasma free amino acid levels in *Leuciscus waleckii* exposed to different environmental alkalinity levels[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(1): 117–124. [常玉梅, 何强, 孙言春, 等. 碳酸盐碱度胁迫下瓦氏雅罗鱼血浆游离氨基酸水平的变化[J]. 中国水产科学, 2016, 23(1): 117–124.]
- [28] Dhaneesh K V, Noushad K M, Kumar T T. Nutritional evaluation of commercially important fish species of Lakshadweep archipelago, India[J]. PLoS ONE, 2012, 7(9): 1472–1472.
- [29] Zhao L, Chen J, Zhao C G, et al. Composition analysis and nutritional evaluation of wild and farmed *Channa argus*[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(9): 244–249. [赵立, 陈军, 赵春刚, 等. 野生和养殖乌鳢肌肉的成分分析及营养评价[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 244–249.]
- [30] 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. [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.]
- [31] Wang C A, Xu Q Y, Bai Q L, et al. Comparison of growth performances, nutritional composition in muscle of diploid and triploid masu salmon (*Oncorhynchus masou* B., 1856)[J].

- Turk J Fish Aqu Sci, 2015, 15(1): 127–135.
- [32] Fallah A A, Nematollahi A, Saei-Dehkordi S S. Proximate composition and fatty acid profile of edible tissues of *Capoeta damascina* (Valenciennes, 1842) reared in freshwater and brackish water[J]. J Food Compos Anal, 2013, 32(2): 150–154.
- [33] Peng S M, Chen C, Shi Z H, et al. Amino acid and fatty acid composition of the muscle tissue of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*)[J]. J Food Nutr Res, 2013, 1(4): 42–45.
- [34] Zhang W, Shan X, Samaraweera H, et al. Improving functional value of meat products[J]. Meat Sci, 2010, 86(1): 15–31.
- [35] Zhang F P, Song J, Zhang R, et al. Evaluation of nutritional composition and quality of farmed *Silurus meridionalis*[J]. Food Science, 2012, 33(17): 274–278. [张凤平, 宋军, 张瑞, 等. 养殖南方大口鲶肌肉营养成分分析和品质评价[J]. 食品科学, 2012, 33(17): 274–278.]
- [36] Zhang D P, Zhang X Y, Yu Y X, et al. Intakes of omega-3 polyunsaturated fatty acids, polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls via consumption of fish from Taihu Lake, China: A risk-benefit assessment[J]. Food Chem, 2012, 132(2): 975–981.
- [37] Zhang D P, Zhang S H, Yu Y X, et al. Polyunsaturated fatty acids in fish from Taihu Lake and the associated risk of ingesting polychlorinated biphenyls[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(5): 324–331. [张东平, 张少欢, 余应新, 等. 太湖鱼中多不饱和脂肪酸及其与多氯联苯共摄入益害分析[J]. 科学通报, 2012, 57(5): 324–331.]

Analysis of muscular nutritional composition in farmed *Leuciscus* spp. and their hybrids in a low saline-alkaline pond

CHANG Yumei¹, YAN Hao^{1,2}, SU Baofeng¹, SUN Bo¹, ZHANG Limin¹, LIANG Liquan¹

1. National & Local United Engineering Laboratory of Freshwater Fish Breeding; Key Laboratory of Freshwater Aquatic Biotechnology and Genetic Breeding, Ministry of Agriculture; Key Laboratory of Fish Stress Resistance Breeding and Germplasm Characteristics in Special Habitats, Chinese Academy of Fishery Sciences; Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China;
2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: This study was conducted to provide basic information for a comprehensive evaluation of nutritional components in the muscle tissues of five cultured *Leuciscus* fish species and to guide commercial-scale manufacturing of fish feed. Four-year-old *Leuciscus*, including offspring of *L. waleckii* originally from Dali Lake (DL) and Songhuajiang River progeny (SHJ), *L. idus* from the Ertix River (GT), and two hybrids, such as hybrids DS (DL♀×SHJ♂) and DG (DL♀×GT♂), were held in a low saline-alkaline pond. Fifteen fish from each genetic group were divided into three replicates, and their nutrient components and muscle amino acid and fatty acid contents were measured and analyzed. The results showed significant differences in ash, crude protein, and crude fat contents among the five genetic groups except that of water ($P<0.05$). Ash content (1.77%) was significantly higher in DS than that in the other four genetic groups (1.16%–1.22%), and crude fat content (7.23%) was significantly higher than that of DL (4.31%), SHJ (4.22%), and the hybrid DG (3.32%). Eighteen amino acids were detected in the five genetic groups, and total amino acid contents were 73.06%–79.29%. The total amino acid components were significantly higher in DG and DL than those in the other three species ($P<0.05$). In addition, the DG and DL groups had higher amino acid, chemical, and essential amino acid index scores than those of the others, which coincided with the higher crude protein content in DL, indicating that the higher crude protein in DG was inherited from DL, and was evidence of hybrid vigor. Twenty-three fatty acids were detected in the five genetic groups, and the saturated fatty acid (SFA), mono-unsaturated fatty acid (MUFA), and polyunsaturated fatty acid (PUFA) contents were 15.03%–19.06%, 49.15%–53.92%, and 27.54%–29.40%, respectively. The PUFA to SFA ratio was 1.53–1.83. GT and DL had relatively higher SFA and PUFA contents, and the DG and DS hybrids had higher MUFA contents. Taken together, the five cultured genetic groups had balanced nutrient components in muscle and could be excellent protein sources for human consumption. Nutrient quality was improved effectively through hybridization; thus, satisfying market requirements with higher lipid and protein contents from DS and lower lipid but higher protein contents from DG.

Key words: saline-alkaline pond; *Leuciscus* fish; nutrient component; saline-alkaline resistance; nutrient quality

Corresponding author: LIANG Liquan. E-mail: liangliquan@hrfri.ac.cn