

DOI: 10.12264/JFSC2025-0026

洄游型与陆封型马苏大麻哈鱼肌肉质构特性、营养成分和组学特征比较

董晓庆^{1,2}, 曲桂娟^{1,2}, 牛小天^{1,2}, 陈秀梅^{1,2}, 张颖³, 孔祎頔^{1,2}, 李民^{1,2}, 王桂芹^{1,2*}

1. 吉林农业大学动物科学技术学院/动物医学院, 吉林 长春 130118;

2. 动物生产及产品质量安全教育部重点实验室, 吉林 长春 130118;

3. 中国水产科学研究院黑龙江省水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150076

摘要: 为探究不同生长环境下冷水鱼肌肉品质存在的差异及其原因, 以马苏大麻哈鱼(*Oncorhynchus masou*)为研究对象, 采集洄游型和陆封型三倍体、选育和非选育马苏大麻哈鱼的背部肌肉, 分别从表观特性、质构特性、营养成分和组学特征进行比较分析。结果显示, 马苏大麻哈鱼陆封型三倍体组的破裂力、胶粘性、系水力显著高于洄游型、选育和非选育组($P<0.05$); 三倍体组的黏附力、剪切力和内聚性显著低于洄游型、选育和非选育组($P<0.05$); 三倍体组的 pH 显著低于选育和非选育组($P<0.05$); 洄游型的硬度显著高于非选育组($P<0.05$)。三倍体组的肌肉红度显著高于洄游型、选育和非选育组($P<0.05$)。马苏大麻哈鱼肌肉粗脂肪和水分含量三倍体组显著高于洄游型、选育和非选育组($P<0.05$); 肌肉粗蛋白和粗灰分含量洄游型显著高于陆封型的三倍体、选育和非选育组($P<0.05$)。洄游型马苏大麻哈鱼肌肉总氨基酸、总必需氨基酸和总鲜味氨基酸含量显著高于陆封型($P<0.05$), 且各组之间均差异显著($P<0.05$)。陆封型马苏大麻哈鱼肌肉中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸总含量显著高于洄游型($P<0.05$), 且三倍体组最高; 肌肉中二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)含量三倍体组显著高于洄游型、选育和非选育组($P<0.05$)。陆封型马苏大麻哈鱼肌肉肌纤维直径显著高于洄游型($P<0.05$)。研究结果表明: 陆封型马苏大麻哈鱼三倍体肌肉中蛋白质和氨基酸含量略低于洄游型, 但陆封型三倍体在肌肉质构、色泽、脂肪酸组成和肌纤维结构优于洄游型和其他养殖群体。本研究结果为冷水鱼的品种选育优化、差异化养殖、功能性饲料开发提供了科学依据。

关键词: 马苏大麻哈鱼; 洄游型; 陆封型; 质构特性; 营养成分; 组学特征

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2025)06–0837–12

马苏大麻哈鱼(*Oncorhynchus masou*), 是北太平洋水域鲑类之一^[1], 隶属于鲑形目, 鲑科, 大麻哈鱼属, 系冷水性鱼类。大麻哈鱼主要分布于日本^[2]、朝鲜、俄罗斯以及中国^[3]。马苏大麻哈鱼在我国主要分布于图们江和绥芬河流域^[4]。马苏大麻哈鱼体长可达 30~50 cm, 有洄游型和陆封型两种, 陆封型马苏大麻哈鱼生活在淡水中^[5], 主要以昆虫、小型甲壳类动物和鱼类为食。洄游型马苏大麻哈鱼属野生群体, 成熟年限长, 洄游型

的种群在半咸水区短暂停留后进入大海, 在海洋中完成生长后返回淡水河流繁殖, 体型较大, 以小型鱼类和浮游甲壳类动物为食。三倍体马苏大麻哈鱼是通过人工诱导染色体加倍获得, 因不育性可避免性腺发育导致的能量消耗, 从而提升生长速度和肌肉品质。选育马苏大麻哈鱼是通过多代人工定向选择形成稳定遗传性状的养殖群体; 非选育马苏大麻哈鱼是未经人工选择的养殖群体, 保留了自然遗传多样性。

收稿日期: 2025-03-03; **修订日期:** 2025-04-24.

基金项目: 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-46); 吉林省科技厅重点研发项目(20240303073NC).

作者简介: 董晓庆, 女, 副教授, 研究方向为水产动物营养与饲料. E-mail: dxq200912@163.com

通信作者: 王桂芹, 教授, 主要从事水产动物营养需要及其生理代谢机制调控等研究. E-mail: wgqjlau@aliyun.com

鱼类含有高度生物利用的蛋白质和优质脂肪酸,如长链 ω -3 多不饱和脂肪酸,易于所有年龄组消化,有利于促进人体健康^[6]。而马苏大麻哈鱼更是一种有商业价值的物种,因为它的肌肉美味并具有明亮的橙色,使其成为生鱼片的热门选择。大麻哈鱼肉质细腻而味美,其皮含有较高的胶原蛋白^[7],鱼卵有较高的营养价值和经济价值,既可食用也可药用^[8],深受消费者喜爱。我国对大麻哈鱼在表型性状^[9]和肌肉营养组成^[10]等方面已有少量相关研究。大麻哈鱼养殖群体主要以投喂鲑鳟鱼配合饲料为主,而遗传基础、饲料组成和养殖环境的不同也会导致肌肉品质和营养价值的差异。有研究表明大麻哈鱼肌肉中粗蛋白质和粗脂肪含量高于大西洋鲑(*Salmo salar*)^[11]和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[12],与大西洋鲑和三倍体虹鳟的肌肉品质接近,且均优于金鳟的肌肉品质^[13]。养殖马苏大麻哈鱼肌肉氨基酸含量略低于野生群体^[14]。肌肉的营养成分、质构特性、肉色及肌纤维结构是鱼肉品质的综合评价指标,以往的研究大多停留在单一群体的部分肉质指标,对马苏大麻哈鱼的野生群体和三种不同遗传基础养殖群体的对比研究未见相关文献报道。在野生资源衰退背景下,平衡“生长性能-营养价值-加工特性”矛盾、实现品种定向改良,有利于冷水鱼资源的保护与可持续发展。本文比较了洄游型和陆封型三倍体、选育和非选育养殖群体的肌肉品质,包括质构特性、表观特性、营养成分及组学特性比较分析,综合评价不同群体马苏大麻哈鱼的肉质和营养价值差异,可明确染色体倍性、人工选育策略及环境适应对肌肉发育的影响。对比洄游型和陆封型马苏大麻哈鱼之间的差异,有助于平衡养殖效益与生态保护需求,可为马苏大麻哈鱼养殖模式的优化提供数据支撑,为后续马苏大麻哈鱼的健康养殖及饲料资源开发提供基础资料 and 理论依据,也为图们江和绥芬河等流域马苏大麻哈鱼渔业资源的保护及产品精深加工奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

本实验所用马苏大麻哈鱼均为达到性成熟的

成年鱼,其中洄游型马苏大麻哈鱼,体重为 2000~2150 g,采自图们江干流,为野生 4 龄性成熟雌鱼;陆封型马苏大麻哈鱼三倍体,体重 1250~1500 g,2 龄成鱼;选育马苏大麻哈鱼,体重 1000~1100 g,2 龄性成熟雌鱼;非选育马苏大麻哈鱼,体重 700~800 g,2 龄性成熟雌鱼。采集洄游型和陆封型马苏大麻哈鱼各 9 尾,取侧线上、背鳍下的背部肌肉进行肌肉质构特性、表观特性及营养成分分析。同时取背部肌肉用 4%的多聚甲醛进行固定,用于肌肉组织学特性测定。

1.2 实验方法及测定指标

肌肉质构特性测定:取背部肌肉,约边长为 2 cm 大小的立方体,用质构仪 CT3 (Brookfield) 进行 3 次测定取平均值。pH 采用 pH 计测定,系水力采用压力仪测定。

肌肉表观特性测定:取背部肌肉,采用 HunterLab 手持式色差仪 MSEZ 进行测定,用亮度(L^*)、红度(a^*)、黄度(b^*)表示测定结果。对样品同一表面的区域进行多次测量,取平均值。色度评分根据评分卡进行打分。

肌肉营养成分测定:新鲜肌肉取样后在 65 °C 烘干成风干样,用于营养成分分析。水分测定采用烘干恒重法(GB/T 5009.3—2010);粗脂肪测定采用索氏抽提法(GB/T 5009.6—2003);粗蛋白质测定采用凯氏定氮法(GB/T 5009.5—2010);粗灰分测定采用高温灼烧法(GB/T 5009.4—2010)。氨基酸分析样品前处理参考 Liu 等^[15]采用有机酸提取方法,用液相色谱质谱联用仪(API 5500)进行检测;脂肪酸含量用气相色谱仪(安捷伦 7890A, FID 检测器)进行检测。

肌肉组织学特征:固定好的样本进行脱水、包埋、石蜡切片制作,然后进行 HE 染色,封片后用显微电镜扫描并采集图像,然后用 Image J 软件进行面积分析,利用面积公式换算成肌纤维直径。

1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 24.0 软件进行方差分析。用平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm SD$)表示结果, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 肌肉质构特性和肉色比较

由表 1 可知，洄游型马苏大麻哈鱼的硬度显著高于非选育组($P<0.05$)。破裂力、胶黏性、系水力三倍体组显著高于洄游型、选育和非选育组($P<0.05$)。黏附力、剪切力和内聚性三倍体组显著低于洄游型、选育和非选育组($P<0.05$)。三倍体组的 pH 显著低于选育和非选育组($P<0.05$)。

由表 2 可知，马苏大麻哈鱼三倍体组的肌肉红度显著高于洄游型、选育和非选育组($P<0.05$)。洄游型和三倍体组肌肉亮度显著低于选育和非选育组($P<0.05$)；洄游型、三倍体组和选育组肌肉黄度显著高于非选育组($P<0.05$)。根据色度评分卡(图 1)对鲜肉样品(图 2)进行打分，结果见表 2。色度评分三倍体组和洄游型比较接近，分值大于选育组和非选育组。

表 1 马苏大麻哈鱼肌肉质构特性及理化性质比较
Tab. 1 Comparison of muscle structure characteristics and physicochemical properties of *Oncorhynchus masou*

指标 indicator	洄游型 migration	陆封型 landlocked		
		三倍体 triploid	选育 breeding	非选育 non-breeding
硬度/N hardness	0.326±0.043 ^b	0.276±0.022 ^{ab}	0.276±0.022 ^{ab}	0.238±0.022 ^a
破裂力/N fracture	0.301±0.000 ^b	0.338±0.000 ^c	0.301±0.000 ^b	0.263±0.000 ^a
黏附力/N adhesive force	0.077±0.003 ^b	0.038±0.005 ^a	0.074±0.003 ^b	0.077±0.004 ^b
剪切力/N shear force	2.972±0.006 ^b	2.296±0.004 ^a	3.234±0.005 ^c	3.535±0.001 ^d
胶黏性 gumminess	0.191±0.000 ^a	0.204±0.000 ^d	0.195±0.000 ^b	0.197±0.000 ^c
内聚性 cohesiveness	0.635±0.000 ^b	0.542±0.000 ^a	0.649±0.000 ^c	0.747±0.000 ^d
pH	6.400±0.100 ^{ab}	6.233±0.208 ^a	7.033±0.058 ^c	6.533±0.058 ^b
系水力/% water-holding capacity	6.913±0.724 ^a	8.416±0.410 ^b	6.079±0.775 ^a	6.359±0.199 ^a

注：同行数据不同上标字母表示组间差异显著($P<0.05$)。
Note: Different superscript letters in the same row indicate significant difference between groups ($P<0.05$).

表 2 马苏大麻哈鱼肌肉表观特性比较
Tab. 2 Comparison of the apparent properties of meat on *Oncorhynchus masou*

指标 indicator	洄游型 migration	陆封型 landlocked		
		三倍体 triploid	选育 breeding	非选育 non-breeding
亮度 lightness	46.57±1.56 ^a	48.14±0.95 ^a	54.77±1.71 ^b	53.91±1.95 ^b
红度 redness	22.95±0.24 ^b	26.68±0.43 ^c	12.02±1.58 ^a	10.65±1.26 ^a
黄度 yellowness	27.17±1.01 ^b	27.17±1.01 ^b	26.32±0.81 ^b	23.83±0.34 ^a
色度评分 chromaticity score	27–29	28–30	20–22	21–23

注：同行数据不同上标字母表示组间差异显著($P<0.05$)。
Note: Different superscript letters in the same row indicate significant difference between groups ($P<0.05$).

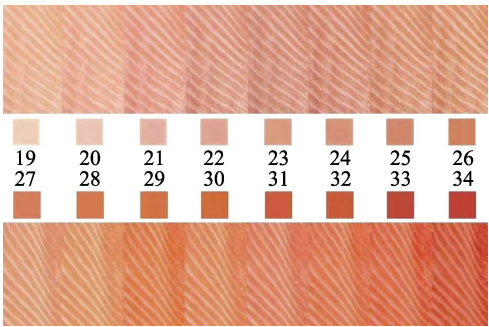


图 1 色度评分卡
Fig. 1 Color score card

2.2 肌肉常规营养成分比较

由表 3 可知，马苏大麻哈鱼肌肉粗脂肪和水分含量三倍体组显著高于洄游型、选育和非选育组($P<0.05$)；肌肉粗蛋白和粗灰分含量洄游型显著高于陆封型的三倍体、选育和非选育组($P<0.05$)。

2.3 肌肉氨基酸和脂肪酸组成比较

洄游型和陆封型马苏大麻哈鱼肌肉氨基酸比较分析结果见表 4。包括 9 种必需氨基酸(EAA)，4 种鲜味氨基酸(HEAA)。洄游型马苏大麻哈鱼肌

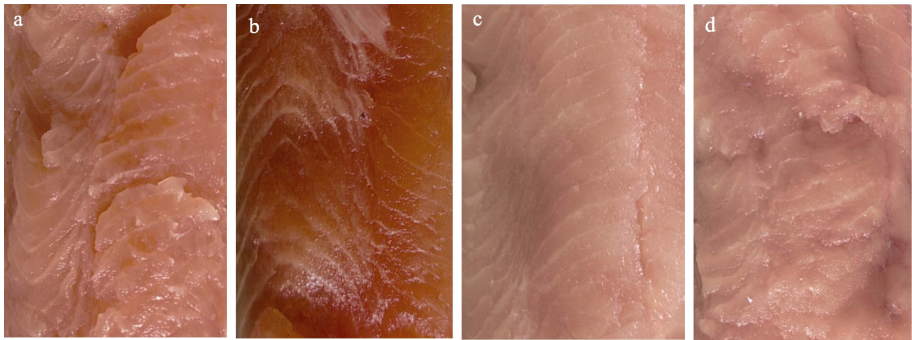


图 2 马苏大麻哈鱼鲜肉样品

a. 洄游组; b. 三倍体组; c. 选育组; d. 非选育组.

Fig. 2 Fresh meat samples of *Oncorhynchus masou*

a. Migratory group; b. Triploid group; c. Breeding group; d. Non-breeding group.

表 3 马苏大麻哈鱼肌肉营养成分比较

Tab. 3 Comparison of muscular nutrition of *Oncorhynchus masou*

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

指标 indicator	洄游型 migration	陆封型 landlocked		
		三倍体 triploid	选育 breeding	非选育 non-breeding
水分/% water	5.46±0.31 ^a	7.11±0.26 ^b	5.56±0.04 ^a	5.73±0.05 ^a
粗蛋白/% crude protein	77.74±2.0 ^d	49.76±1.37 ^a	57.68±7.53 ^b	66.67±0.50 ^c
粗脂肪/% crude fat	6.01±0.19 ^a	29.34±0.99 ^d	20.24±0.27 ^c	16.49±0.83 ^b
粗灰分/% crude ash	7.13±0.92 ^b	4.79±0.27 ^a	4.77±0.10 ^a	5.57±0.20 ^a

注: 同行数据不同上标字母表示组间差异显著($P<0.05$).

Note: Different superscript letters in the same row indicate significant difference between groups ($P<0.05$).

表 4 马苏大麻哈鱼肌肉主要氨基酸组成比较

Tab. 4 Meat amino acid composition of *Oncorhynchus masou*

指标 indicator	洄游型 migration	陆封型 landlocked		
		三倍体 triploid	选育 breeding	非选育 non-breeding
**赖氨酸 Lys	7.27±0.06 ^c	7.66±0.06 ^d	6.70±0.01 ^b	5.70±0.04 ^a
**蛋氨酸 Met	1.33±0.10 ^c	1.10±0.02 ^b	1.17±0.02 ^b	0.98±0.05 ^a
**精氨酸 Arg	4.28±0.07 ^c	3.14±0.03 ^a	3.18±0.03 ^a	3.70±0.01 ^b
**组氨酸 His	2.14±0.05 ^d	1.80±0.05 ^c	1.57±0.02 ^b	1.31±0.02 ^a
**亮氨酸 Leu	4.02±0.07 ^d	3.43±0.04 ^b	3.59±0.02 ^c	3.28±0.03 ^a
**异亮氨酸 Ile	2.50±0.09 ^c	2.15±0.04 ^b	2.19±0.02 ^b	1.89±0.02 ^a
**苯丙氨酸 Phe	2.40±0.05 ^c	2.29±0.02 ^c	1.61±0.03 ^a	1.81±0.11 ^b
**苏氨酸 Thr	7.03±0.06 ^b	7.18±0.04 ^c	5.97±0.04 ^a	5.94±0.02 ^a
**缬氨酸 Val	2.77±0.10 ^d	1.71±0.10 ^b	1.59±0.01 ^a	2.09±0.02 ^c
*天冬氨酸 Asp	14.04±0.05 ^c	15.31±0.04 ^d	13.96±0.04 ^b	13.39±0.02 ^a
*谷氨酸 Glu	12.03±0.02 ^d	10.66±0.04 ^b	11.6±0.01 ^c	10.08±0.05 ^a
*甘氨酸 Gly	6.94±0.10 ^d	5.99±0.18 ^b	5.79±0.01 ^a	6.14±0.02 ^c
*丙氨酸 Ala	3.04±0.03 ^b	2.30±0.01 ^a	3.24±0.02 ^c	2.28±0.03 ^a
脯氨酸 Pro	1.26±0.04 ^b	1.41±0.07 ^c	1.65±0.02 ^d	1.06±0.03 ^a
丝氨酸 Ser	2.79±0.20 ^d	2.19±0.04 ^b	1.86±0.04 ^a	2.44±0.01 ^c
胱氨酸 Cys	1.40±0.02 ^d	1.08±0.06 ^a	1.22±0.01 ^c	1.15±0.03 ^b
酪氨酸 Tyr	2.01±0.08 ^d	1.75±0.08 ^b	1.86±0.03 ^c	1.46±0.02 ^a
总氨基酸 TAA	77.25±0.29 ^d	71.15±0.09 ^c	68.75±0.02 ^b	64.70±0.03 ^a
必需氨基酸 EAA	36.05±0.04 ^d	34.26±0.09 ^b	34.59±0.02 ^c	31.89±0.02 ^a
鲜味氨基酸 DAA	33.74±0.11 ^d	30.46±0.08 ^c	27.57±0.10 ^b	26.70±0.07 ^a

注: *为鲜味氨基酸; **为必需氨基酸. 同行数据不同上标字母表示组间差异显著($P<0.05$).

Note: * indicates delicious amino acids; ** indicates essential amino acid. Different superscript letters in the same row indicate significant difference between groups ($P<0.05$).

肉中蛋氨酸、精氨酸、组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸 6 种必需氨基酸含量显著高于陆封型 ($P<0.05$); 陆封型马苏大麻哈鱼三倍体组肌肉中必需氨基酸赖氨酸、苏氨酸和天冬氨酸含量显著高于洄游型 ($P<0.05$)。洄游型马苏大麻哈鱼肌肉总氨基酸、总必需氨基酸和总鲜味氨基酸含量显著高于陆封型 ($P<0.05$), 且各组之间均差异显著 ($P<0.05$); 陆封型马苏大麻哈三倍体肌肉中总氨基酸和鲜味氨基酸含量显著高于选育和非选育组 $P<0.05$)。

洄游型和陆封型马苏大麻哈鱼肌肉脂肪酸比较分析结果见表 5。检测出主要脂肪酸包括 5 种饱和脂肪酸、4 种单不饱和脂肪酸和 8 种多不饱和脂肪酸。陆封型马苏大麻哈鱼肌肉中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸总含量显著高于洄游型马苏大麻哈鱼 ($P<0.05$), 且三倍体组最高。肌肉中二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)含量三倍体组显著高于洄游型、选育和非选育组 ($P<0.05$)。

表 5 马苏大麻哈鱼肌肉主要脂肪酸组成比较
Tab. 5 Meat fatty acid composition of *Oncorhynchus masou*

n=3; $\bar{x}\pm SE$

指标 indicator	洄游型 migration	陆封型 landlocked		
		三倍体 triploid	选育 breeding	非选育 non-breeding
C12:0	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
C14:0	0.24±0.00 ^b	0.52±0.00 ^d	0.28±0.00 ^c	0.22±0.00 ^a
C16:0	0.70±0.01 ^a	4.75±0.03 ^d	2.85±0.02 ^c	2.23±0.03 ^b
C18:0	0.21±0.00 ^a	1.16±0.01 ^d	0.92±0.00 ^c	0.68±0.00 ^b
C20:0	0.01±0.00 ^a	0.03±0.00 ^c	0.03±0.00 ^c	0.02±0.00 ^b
C16:1n7	0.26±0.00 ^a	1.35±0.05 ^d	0.88±0.00 ^c	0.78±0.00 ^b
C18:1n9c	0.87±0.00 ^a	9.34±0.00 ^d	7.15±0.01 ^c	5.31±0.02 ^b
C22:1n9	0.27±0.00 ^c	0.10±0.00 ^a	0.11±0.00 ^b	0.10±0.00 ^a
C20:1	0.14±0.01 ^a	0.31±0.00 ^d	0.29±0.01 ^c	0.19±0.00 ^b
C18:2n6c	0.06±0.01 ^a	3.63±0.03 ^d	2.83±0.00 ^c	2.10±0.00 ^b
C18:3n3	0.03±0.00 ^a	0.13±0.00 ^d	0.09±0.00 ^c	0.07±0.00 ^b
C20:2	0.02±0.00 ^a	0.13±0.00 ^d	0.11±0.00 ^c	0.09±0.01 ^b
C20:3n6	0.01±0.00 ^a	0.11±0.00 ^b	0.12±0.00 ^c	0.11±0.00 ^b
C20:4n6	0.02±0.00 ^a	0.15±0.00 ^c	0.14±0.00 ^b	0.15±0.00 ^c
C22:2n6	0.01±0.00 ^a	0.02±0.00 ^b	0.02±0.00 ^b	0.02±0.00 ^b
C20:5n3(EPA)	0.36±0.00 ^c	0.42±0.00 ^d	0.25±0.00 ^b	0.23±0.00 ^a
C22:6n3(DHA)	0.72±0.00 ^a	1.32±0.001 ^d	0.96±0.00 ^b	1.00±0.00 ^c
EPA+DHA	1.08±0.00 ^a	1.74±0.00 ^d	1.21±0.00 ^b	1.24±0.01 ^c
饱和脂肪酸 Σ SFA	1.16±0.01 ^a	6.47±0.02 ^d	4.07±0.02 ^c	3.14±0.03 ^b
单不饱和脂肪酸 Σ MUFA	1.53±0.00 ^a	10.96±0.28 ^d	8.42±0.01 ^c	6.39±0.01 ^b
多不饱和脂肪酸 Σ PUFA	1.22±0.01 ^a	5.60±0.55 ^d	4.53±0.01 ^c	3.79±0.01 ^b

注: 同行数据不同上标字母表示组间差异显著 ($P<0.05$).
Note: Different superscript letters in the same row indicate significant difference between groups ($P<0.05$).

2.4 肌肉组学特征比较

肌纤维直径和肌纤维密度是描述肌纤维组织形态结构的两个主要特征。图 3 是马苏大麻哈鱼肌肉横切面的 100 倍光镜图。由图 3 可以看出与

洄游组相比, 三倍体组和选育组肌纤维细胞和间隙明显增大, 非选育稍增大。由图 4 可知, 三倍体组、选育组和非选育组肌纤维直径显著高于洄游组 ($P<0.05$)。

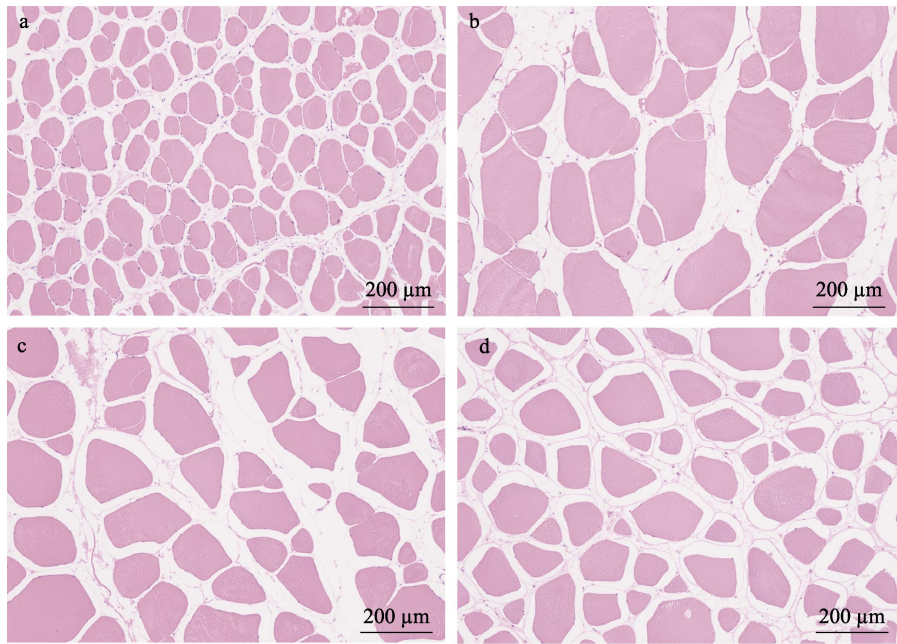


图 3 马苏大麻哈鱼肌肉横截面光镜图
a. 洄游组; b. 三倍体组; c. 选育组; d. 非选育组.
Fig. 3 Light micrograph of muscle cross section of *Oncorhynchus masou*
a. Migratory group; b. Triploid group; c. Breeding group; d. Non-breeding group.

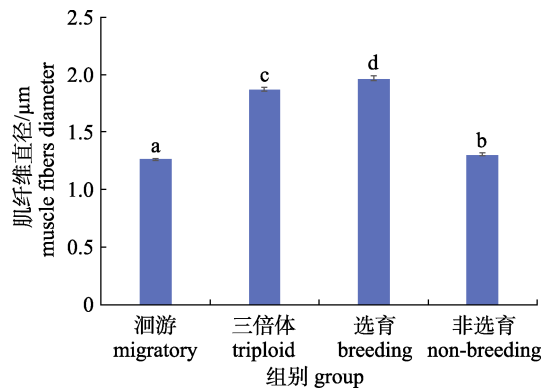


图 4 马苏大麻哈鱼肌纤维直径
柱形图上不同字母表示组间差异显著($P<0.05$).
Fig. 4 Diameter of *Oncorhynchus masou* muscle fibers
Different letters above the columns indicate significant difference between groups ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 肌肉质构特性和肉色比较

鱼肉品质的好坏可以通过肌肉质构、表观特性、营养价值及组织学特征等方面进行评价。系水力、pH、嫩度和肉色可以最为直观地评价肉品质^[16]。系水力是肌肉组织对其所含水分的束缚能力，系水力越大表明肌肉越多汁鲜嫩，肌肉品质

越好^[17]；硬度、破裂力、黏附力、黏附性、内聚性等是评价肌肉质构的主要指标^[18-19]。洄游型马苏大麻哈鱼是冷水性溯河产卵洄游鱼类，在长途旅行中需要适应不同的水环境和生存压力，持续运动使鱼类肌肉纤维更加紧密，肌纤维直径较小，鱼肉硬度增加^[20]。本研究中洄游型马苏大麻哈鱼肉的硬度大于陆封型养殖群体，这种肌肉硬度差异的原因主要是洄游型和陆封型养殖群体的摄食和运动差异所致。在鱼类生长过程中，生长速度快也会降低鱼肉的硬度^[21]。本研究中洄游型马苏大麻哈为野生鱼，生长较慢，鱼肉硬度相对较大；陆封型马苏大麻哈为养殖群体，生长较快，鱼肉硬度相对较小。洄游型马苏大麻哈鱼肉的黏附力、剪切力和内聚性都大于三倍体组，系水力小于三倍体组，该结果也与肌肉硬度相关。剪切力是肌肉嫩度的评价指标，剪切力越小肌肉越嫩，本研究中三倍体组剪切力最小，因此肌肉最嫩。但洄游型马苏大麻哈鱼肌肉系水力却高于陆封型选育和非选育的马苏大麻哈鱼，这一结果与野生型较人工养殖鱼类肌肉相比具有更高的系水能力^[22-23]的结果相似，却与三倍体组结果相反，说明养殖

群体遗传基础或养殖环境的不同也会导致肉质差异。肉色在肉质评价中也是重要的指标之一。肉色主要体现肉质颜色, 包括亮度、红度和黄度^[24], 一般认为肉色越鲜艳饱满越好。本研究肉色结果显示, 陆封型三倍体马苏大麻哈鱼肉质在色度上优于洄游型、陆封型选育和非选育组。马苏大麻哈属于鲑科鱼类, 鱼肉因偏橘色且饱和度高而更具有商业价值^[25]。以上质构结果表明陆封型马苏大马哈鱼三倍体养殖群体具有更好的肌肉品质。

3.2 肌肉营养成分比较

鱼类 96%~98% 的身体成分是由水分、蛋白质、脂肪和灰分组成^[26], 其中蛋白质和脂肪的含量是评价鱼肉营养价值的重要指标^[27]。有研究表明肌肉的脂肪含量还与嫩度、硬度、剪切力等指标密切相关^[28]。鱼类蛋白一直被认为具有很高的营养价值, 对人类健康有益^[29], 被认为是最好的蛋白质来源^[30], 与羊肉、牛肉和鸡肉等膳食蛋白质来源相比, 鱼肉通常被认为更易消化^[31]。生存环境不同, 鱼肉的营养价值也不相同。淡水鱼类的营养价值与海洋同类不同, 淡水鱼的水分含量高于海鱼, 脂肪含量低于海鱼, 蛋白质含量高^[32-33]。了解鱼类的营养成分对评估鱼类营养状况、生理状况和肌肉品质至关重要。本研究中洄游型马苏大马哈鱼肌肉中蛋白量最高, 脂肪含量最低, 与其生存环境相关。洄游型马苏大麻哈在幼鱼期以水中的底栖生物为食, 进入海洋中则以捕食其他鱼类为主, 当再洄游到淡水中时, 主要以小型鱼类、幼鱼、鳞虾及淡水中的鱼卵、仔鱼和昆虫为食, 这些食物富含丰富的蛋白质, 摄食后不断在其肌肉中沉积, 使肌肉中蛋白质含量升高。而洄游过程要经过长途旅行, 需要消耗更多的能量, 不断分解代谢脂肪, 导致肌肉中脂肪含量降低。陆封型马苏大麻哈鱼三倍体肌肉中脂肪含量高则可能与其饵料组成、遗传因素和代谢机制有关, 因三倍体鱼类没有性成熟, 蛋白质和脂肪全部沉积在肌肉中, 同时低温的养殖环境也会促进三倍体鱼肝脏和背肌中的脂合成, 使肌肉中脂肪含量增加。有研究表明不同规格三倍体虹鳟鱼在肉质^[34]、同种鱼三倍体与二倍体在蛋白质和脂肪含量^[35-36]等方面存在明显差异, 这是内源因素的影响。

陆封型马苏大麻哈选育和非选育是两年性成熟, 营养物质大部分用于性成熟而沉积在鱼卵上, 因此, 肌肉中的蛋白质和脂肪含量较低。

3.3 肌肉氨基酸和脂肪酸组成比较

肌肉氨基酸的种类和含量可以用来评价蛋白质的营养价值, 种类越齐全、含量越高, 营养价值越高^[37]。鱼肉中含有多种氨基酸, 鲜味氨基酸的种类和含量与肉质鲜味密切相关, 鲜味氨基酸所占比例越高, 肉质越鲜美^[38]。Yu 等^[39]研究表明, Ser、Thr、Ala、Gly 主要对甜味有贡献, Glu 和 Asp 可产生强烈鲜味, 其含量对改善鱼肉的风味有重要作用^[40-42]。本研究共检测出 17 种氨基酸, 其中 9 种必需氨基酸(EAA), 占总氨基酸的 52.94%; 4 种鲜味氨基酸(HEAA), 占总氨基酸的 23.53%。洄游型马苏大麻哈肌肉中总氨基酸、必需氨基酸和鲜味氨基酸含量高于陆封型, 必需氨基酸中蛋氨酸、亮氨酸、组氨酸和缬氨酸含量高于陆封型, 鲜味氨基酸中谷氨酸和甘氨酸含量高于陆封型。风味氨基酸种类丰富, 含量高, 表明洄游型马苏大麻哈鱼肉质更具鲜味, 且优于选育和非选育养殖群体。马苏大麻哈三倍体肌肉中必需氨基酸赖氨酸、苏氨酸、天冬氨酸含量最高。肌肉中氨基酸含量总体趋势与肌肉中蛋白质含量结果一致。马苏大马哈鱼肌肉氨基酸种类较为丰富, 是一种营养价值较高的优质鱼类, 以往的野生与养殖群体比较氨基酸水平存在差异, 可能与饲料组成、养殖环境及遗传基础有关。有研究表明, 鱼体内必需氨基酸水平随食物组成改变而发生变化^[43]。虹鳟鱼日粮代谢能水平增加可导致肉中蛋氨酸和色氨酸含量^[44]。

鱼肉脂肪酸的含量也是评价肉质的指标之一, 脂肪酸是人体必不可少的营养物质^[45]。其中不饱和脂肪酸 omega-3 脂肪酸, 被认为有利于人体健康, 有助于预防和治疗心血管、炎症和神经系统疾病^[46]。EPA 和 DHA 具有维持细胞膜结构和功能完整性的作用, 对于神经系统及感觉器官发育至关重要^[47-48], 还可以预防和治疗心脑血管疾病, 抑制癌细胞的生长^[49], 在人体营养中起着重要作用, 有益人体健康^[50]。本研究共检测出 17 种主要的脂肪酸, 包括 5 种饱和脂肪酸, 占 29.41%; 4 种

单不饱和脂肪酸, 占 23.53%; 多不饱和脂肪酸 8 种, 占 47.06%。洄游型马苏大麻哈鱼肌肉中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸总含量低于陆封型马苏大麻哈鱼, 这与肌肉中脂肪含量结果一致。马苏大麻哈三倍体鱼肌肉中 EPA 和 DHA 含量高于洄游型、陆封型选育和非选育马苏大麻哈。研究表明, 人工养殖鱼类群体肌肉中 DHA 的含量和不饱和脂肪酸含量高于野生养殖群体^[51], 这与本研究结果一致。与陆封型相比, 洄游型马苏大麻哈鱼肌肉中脂肪和脂肪酸含量较低, 一方面可能与洄游型鱼类需要消耗更多的脂肪来满足洄游运动和性腺发育有关, 另一方面陆封型马苏大麻哈属于人工养殖群体, 通常饲料组成中脂肪比例较高, 肌肉中脂肪和脂肪酸含量也会相对较高。有研究表明饲料成分可以影响肌肉中的脂肪酸组成与含量^[52-54]。此外, 影响鱼类肌肉脂肪酸含量的因素很多, 除了饲料还包括物种和环境因素, 如季节、温度、地理属性、盐度等^[55]。

3.4 肌肉组学特征比较

鱼类在生长发育过程中, 肌纤维不断增大, 鱼肉的肌纤维发育受品种、基因、环境、营养、温度、养殖方式等影响^[56]。肌纤维的直径和密度与肌肉的硬度、弹性和黏着性密切相关。一般来说, 肌纤维越细, 密度越大, 肉质会更紧实, 肌肉的硬度就越大。有研究表明, 鱼肉的感官硬度与肌纤维横截面积呈负相关^[57], 肌纤维密度与质构特性呈正相关^[58]。本研究中, 洄游型马苏大麻哈鱼肌纤维的密度大于陆封型, 一方面可能是因为洄游鱼类生长缓慢, 性成熟时间较长; 另一方面洄游型马苏大麻哈鱼在长期洄游运动中为了适应不同的运动强度和环境条件, 消耗了更多的能量, 导致肌肉纤维结构的改变, 促使肌肉更加紧密。陆封型马苏大麻哈鱼是人工养殖, 生长速度较快, 2 年即可达到性成熟, 因此肌纤维直径较长, 鱼肉硬度较小。而马苏大麻哈鱼三倍体不具有性成熟, 生长速度更快, 肌纤维直径更长, 鱼肉硬度更小。Johnston 等^[59]在比较不同品系大西洋鲑肌纤维特性时也发现, 性成熟早的大西洋鲑肌纤维更粗, 鱼肉硬度也 smaller。肌肉纤维的密度越大, 直径越短, 胶原蛋白含量越高, 鱼肉的硬度就越大^[60-61],

这与本研究的结果相似。Huang 等^[62]认为游泳运动很可能是通过肌肉的机械运动来强化胶原纤维, 从而提高鱼片的硬度, 这与洄游型鱼类相似。由此可见, 鱼类洄游过程中因环境变化、觅食过程以及自身为适应环境的生理调节, 可能会影响鱼类的代谢和生理状态, 进而影响肌肉质地, 导致肌肉纤维的收缩和松弛程度发生变化, 进而影响肌肉的硬度。

4 结论

综上所述, 洄游型马苏大麻哈和陆封型三倍体、选育和非选育马苏大麻哈鱼在肌肉质构、品质和微观组织结构上的差异是由于其遗传基础、生存环境及生理状态不同等多因素产生的。洄游型马苏大麻哈鱼因其长期的洄游经历致使肌肉中蛋白质和氨基酸含量较高, 脂肪和脂肪酸含量相比陆封型较低, 肌肉较为紧密, 是优质蛋白的主要来源。陆封型马苏大麻哈三倍体养殖群体肌肉中蛋白质含量较高, 氨基酸种类丰富, 且脂肪和脂肪酸含量也较高, 色泽上更鲜艳, 鱼肉更嫩, 食用口感更佳, 更具有人工养殖开发的潜力。由于野生马苏大麻哈鱼资源逐年减少, 养殖群体更需兼顾生长性能与肌肉品质, 避免因过度追求生长速度而导致肌肉品质下降。未来需结合代谢组学进一步解析肌肉品质形成的分子通路, 以优化品种选育和养殖模式。同时, 需要不断开发和优化陆封型马苏大麻哈鱼的饲料配方和养殖技术, 尤其是马苏大麻哈三倍体更具人工养殖的优势, 进而提供更优质的鱼类。本研究结果可为今后马苏大麻哈鱼人工养殖的研究提供基础资料。

参考文献:

- [1] Chen C S, Guo M L, Du Y C, et al. Individual fecundity of landlocked *Oncorhynchus masou* in the Tumen River[J]. Journal of Hydroecology, 2018, 39(1): 91-97. [陈春山, 郭明磊, 杜迎春, 等. 图们江陆封型马苏大麻哈鱼的个体繁殖力[J]. 水生态学杂志, 2018, 39(1): 91-97.]
- [2] Liang S, Song B Z, Chong X Y, et al. Phylogenetic position and genetic diversity of Masu salmon *Oncorhynchus masou* in the Mijiang River, China[J]. Ichthyological Research, 2023, 70(3): 402-405.
- [3] Li P L, Wang J L, Lu W Q, et al. Fecundity of chum salmon

- (*Oncorhynchus keta*) in the Tumen River[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2021, 49(12): 34-42. [李培伦, 王继隆, 鲁万桥, 等. 图们江大麻哈鱼的个体繁殖力研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(12): 34-42.]
- [4] Li P L, Liu W, Wang J L, et al. Effects of morphometric traits on body weight of Masou salmon *Oncorhynchus masou*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2018, 33(5): 600-606. [李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 马苏大麻哈鱼形态性状对体质量的影响分析[J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(5): 600-606.]
- [5] Hirata T, Goto A, Yamazaki F. Individual growth and smoltification of juvenile Masu salmon, *Oncorhynchus masou* Brevoort, under rearing conditions[J]. Journal of Fish Biology, 1988, 32(1): 77-84.
- [6] Rifat M A, Wahab M A, Rahman M A, et al. Nutritional value of the marine fish in Bangladesh and their potential to address malnutrition: A review[J]. Heliyon, 2023, 9(2): e13385.
- [7] Jiang X D, Li H Y, Wang Y, et al. The analysis of nutrient components of *Oncorhynchus keta* skin[J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(5): 145-150. [姜晓东, 李红艳, 王颖, 等. 大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)鱼皮的营养成分分析[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(5): 145-150.]
- [8] Wu R Y, Wang A, Chen C S, et al. Analysis of nutritional components and hypoglycemic effect of lecithin in *Oncorhynchus masou* roes[J]. Meat Research, 2021, 35(5): 1-10. [武瑞赞, 王安, 陈春山, 等. 马苏大马哈鱼籽营养成分分析及其卵磷脂对胰岛素抵抗的改善作用[J]. 肉类研究, 2021, 35(5): 1-10.]
- [9] Li P L, Liu W, Wang J L, et al. Principal component analysis of morphometric traits of Masou salmon *Oncorhynchus masou* at different month ages[J]. Fisheries Science, 2017, 36(6): 707-713. [李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 马苏大麻哈鱼不同月龄表型性状的主成分与判别分析[J]. 水产科学, 2017, 36(6): 707-713.]
- [10] 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.]
- [11] Lu J S, Xia Z Z, Li Y F, et al. An analysis on the nutritive compositive in muscle of Landlocked Atlantic salmon *Salmo salar*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2004, 17(2): 72-75. [陆九韶, 夏重志, 李永发, 等. 陆封型大西洋鲑肌肉营养成分分析[J]. 水产学杂志, 2004, 17(2): 72-75.]
- [12] Zhang W, Zhang Y M. Comparative study on fillet quality of salmon and rainbow trout[J]. Modern Food, 2021, 27(16): 195-198. [张雯, 张玉明. 大马哈鱼和虹鳟肌肉品质的比较研究[J]. 现代食品, 2021, 27(16): 195-198.]
- [13] 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.]
- [14] Wei K, Zheng W, Geng Y, et al. Comparative analysis of nutritional composition in muscles between wild and cultured Masu salmon *Oncorhynchus masou*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2020, 33(6): 1-6. [魏凯, 郑伟, 耿琰, 等. 野生与养殖马苏大麻哈鱼肌肉营养成分的比较[J]. 水产学杂志, 2020, 33(6): 1-6.]
- [15] Liu C S, Ji W Z, Jiang H Z, et al. Comparison of biochemical composition and non-volatile taste active compounds in raw, high hydrostatic pressure-treated and steamed oysters *Crassostrea hongkongensis*[J]. Food Chemistry, 2021, 344: 128632.
- [16] Wang L, Xia Y T, Hu A, et al. Effects of vitamin C supplementation on antioxidant capacity and muscle quality of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) after fasting[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2024, 44(1): 28-34. [汪兰, 夏雨婷, 胡澳, 等. 维生素 C 对禁食黄颡鱼抗氧化能力和肌肉品质的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2024, 44(1): 28-34.]
- [17] Mao D D, Zhang K, Ou H X, et al. Comparative analysis on flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fed with two kinds of feeds[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(6): 2226-2234. [毛东东, 张凯, 欧红霞, 等. 2 种饲料投喂下草鱼肌肉品质的比较分析[J]. 动物营养学报, 2018, 30(6): 2226-2234.]
- [18] Zhou X Z, Zhang Y, Zhou Q, et al. Changes in growth and muscle quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) reared in recirculating aquaculture system[J]. Food Science, 2024, 45(11): 75-83. [周秀珍, 张毅, 周钦, 等. 循环水净化养殖过程中大口黑鲈生长及肌肉品质变化[J]. 食品科学, 2024, 45(11): 75-83.]
- [19] Fu Y Y, Zheng W Y, Zhang H, et al. Purging time on muscle quality and nutritional value of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) under open flowing water mode[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2023, 47(8): 1342-1352. [付运银, 郑维友, 张恒, 等. 开放流水养殖模式下暂养时间对黄颡鱼肌肉品质和营养价值的影响[J]. 水生生物学报, 2023, 47(8): 1342-1352.]
- [20] Wang Z, Qiao F, Zhang W B, et al. The flesh texture of teleost fish: Characteristics and interventional strategies[J]. Reviews in Aquaculture, 2024, 16(1): 508-535.
- [21] Folkestad A, Rørvik K A, Kolstad K, et al. Growth rates of individual farmed Atlantic salmon *Salmo salar* L. influence the texture of raw and smoked fillets[J]. Aquaculture Research, 2008, 39(3): 329-332.

- [22] Tang X, Xu G C, Dai H, et al. Differences in muscle cellularity and flesh quality between wild and farmed *Coilia nasus* (Engraulidae)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(7): 1504-1510.
- [23] 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.
- [24] Sari D P, Rostini I, Nurhayati A, et al. Meat quality of fresh bonylip barb and all-female hybrid bonylip barb (*Osteochilus hasselti Valenciennes*, 1842) fish based on organoleptic, physical and chemical characteristics[J]. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 2018, 6(4): 282-290.
- [25] Torres Sánchez E G, Fuenmayor C A, Vásquez Mejía S M, 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.
- [26] Begum M, Minar M H. Comparative study about body composition of different SIS, shell fish and ilish; commonly available in Bangladesh[J]. Trends in Fisheries Research, 2012, 1(1): 38-42.
- [27] Sun Z P, Cao D C, Pei Y, et al. Analysis and evaluation of nutritional composition in muscle of wild and farmed Pikeperch *Sander lucioperca*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2020, 33(4): 15-22. [孙志鹏, 曹顶臣, 裴玥, 等. 野生和养殖梭鲈肌肉营养成分分析与评价[J]. 水产学杂志, 2020, 33(4): 15-22.]
- [28] Listrat A, Lebreton B, Louveau I, et al. How muscle structure and composition influence meat and flesh quality[J]. The Scientific World Journal, 2016, 2016(1): 3182746.
- [29] Tilami S K, Sampels S. Nutritional value of fish: Lipids, proteins, vitamins, and minerals[J]. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 2018, 26(2): 243-253.
- [30] kumar M P. Proximate and major mineral composition of 23 medium sized marine fin fishes landed in the thoothukudi coast of India[J]. Journal of Nutrition & Food Sciences, 2014, 4(1): 259.
- [31] Balami S, Sharma A, Karn R. Significance of nutritional value of fish for human health[J]. Malaysian Journal of Halal Research, 2019, 2(2): 32-34.
- [32] Ahmed I, Jan K, Fatma S, et al. Muscle proximate composition of various food fish species and their nutritional significance: A review[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2022, 106(3): 690-719.
- [33] Sa'ari N I, Abu Bakar M F, et al. Proximate composition of selected freshwater fish from kampung peta, Johor, Malaysia[J]. Journal of Sustainable Natural Resources, 2021, 2(2): 31-38.
- [34] Liu Y, Ma R, Tian H N, et al. Comparative study on the fillet quality of triploid *Oncorhynchus mykiss* with different sizes[J]. Freshwater Fisheries, 2024, 54(5): 69-80. [刘阳, 马睿, 田海宁, 等. 不同规格三倍体虹鳟鱼肉品质差异的研究[J]. 淡水渔业, 2024, 54(5): 69-80.]
- [35] Cai L, Tong F L, Tang T, et al. Comparative evaluation of nutritional value and flavor quality of muscle in triploid and diploid common carp: Application of genetic improvement in fish quality[J]. Aquaculture, 2021, 541: 736780.
- [36] Wang X W, Xie Y J, Xue S Q, et al. Comparison of microstructure and nutrient in muscles between diploid and triploid rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*[J]. Fisheries Science, 2017, 36(5): 569-576. [王雪薇, 谢意军, 薛淑群, 等. 二、三倍体虹鳟肌肉组织结构及营养成分的比较[J]. 水产科学, 2017, 36(5): 569-576.]
- [37] Han X Q, Jia L, Wang Q S, et al. Composition of muscle nutrients between wild and cultured *Paralichthys olivaceus*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2015, 35(6): 94-99. [韩现芹, 贾磊, 王群山, 等. 野生与养殖牙鲆肌肉营养成分的比较[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(6): 94-99.]
- [38] Wang T, Huang K, Sun L L, et al. Nutritional composition analysis and safety evaluation in muscle of *Procypris merus*[J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(7): 1579-1586. [汪婷, 黄凯, 孙琳琳, 等. 禾花鲤肌肉营养成分分析与安全性评价[J]. 南方农业学报, 2019, 50(7): 1579-1586.]
- [39] Yu D W, Jing D T, Yang F, et al. The factors influencing the flavor characteristics of frozen obscure pufferfish (*Takifugu obscurus*) during storage: Ice crystals, endogenous proteolysis and oxidation[J]. International Journal of Refrigeration, 2021, 122: 147-155.
- [40] Yun S Y, Qiu W Q, Jiang C Y, et al. Comparison of flavor compounds in meat and head of *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(6): 907-918. [袁三月, 邱伟强, 蒋晨毓, 等. 凡纳滨对虾虾肉和虾头中风味物质的比较[J]. 水产学报, 2017, 41(6): 907-918.]
- [41] Cao Y N, Li H, Yang C, et al. Study of the changes of nutrition and flavor quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) during lean culture[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2023, 30(2): 178-193. [曹英楠, 李虹, 杨超, 等. 草鱼瘦身养殖过程中营养与风味品质变化规律研究[J]. 中国水产科学, 2023, 30(2): 178-193.]
- [42] Cheng H, Mei J, Xie J. Analysis of changes in volatile compounds and evolution in free fatty acids, free amino acids, nucleotides, and microbial diversity in *Tilapia* (*Oreochromis mossambicus*) fillets during cold storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2024, 104(5): 2959-2970.
- [43] Oztekin A, Yigit M, Kizilkaya B, et al. Nutritional quality of amino acid in farmed, farm-aggregated and wild Axillary seabream (*Pagellus acarne*) with implications to Human Health[J]. Aquaculture Research, 2020, 51(5): 1844-1853.

- [44] Kondratiuk V, Otchenashko V. Investigation of dependences of the morphological composition of body and amino acid composition of trout meat proteins (*Oncorhynchus mykiss*) on levels of the energy value of feeds[J]. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences, 2021, 15: 497-505.
- [45] Pyz-Lukasik R, Chalabis-Mazurek A, Gondek M. Basic and functional nutrients in the muscles of fish: A review[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 1941-1950.
- [46] Li X X, Bi X Y, Wang S, et al. Therapeutic potential of ω -3 polyunsaturated fatty acids in human autoimmune diseases[J]. Frontiers in Immunology, 2019, 10: 2241.
- [47] Yuan Y H, Gong Y, Huang Y, et al. Effects of dietary DHA/EPA mass ratio on growth performance, body composition and digestive enzyme activity of larval grouper (*Epinephelus coioides*)[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2023, 43(6): 1-8. [袁禹惠, 龚堃, 黄岩, 等. 饲料DHA与EPA质量比对斜带石斑鱼稚鱼生长性能、体组成及消化酶活力的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2023, 43(6): 1-8.]
- [48] Zhou J, Wang L J, Wang B, et al. Effects of DHA and EPA ratios in dietary on sex steroid hormone and reproduction performance in female starry flounder (*Platichthys stellatus*)[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2024, 21(3): 130-138. [周江, 王丽娟, 王波, 等. 饲料中DHA与EPA比例对星斑川鲈雌性类固醇激素及繁育性能的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2024, 21(3): 130-138.]
- [49] Xie X L, He Y L, Huang Y M, et al. Research progress on the application of Omega-3 polyunsaturated fatty acids in patients with various diseases[J]. Modern Medicine and Health Research Electronic Journal, 2024, 8(3): 131-134. [谢显龙, 何伊里, 黄英明, 等. Omega-3多不饱和脂肪酸在各类疾病患者中应用的研究进展[J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2024, 8(3): 131-134.]
- [50] Kaliannan K, Li X Y, Wang B, et al. Multi-omic analysis in transgenic mice implicates omega-6/omega-3 fatty acid imbalance as a risk factor for chronic disease[J]. Communications Biology, 2019, 2: 276.
- [51] Guan C W, Yang J, Shan J J, et al. Muscle nutrient composition of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) under different culture modes: Comparison and analysis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(8): 145-150. [管崇武, 杨菁, 单建军, 等. 不同养殖模式下俄罗斯鲟肌肉营养成分的比较与分析[J]. 中国农学通报, 2020, 36(8): 145-150.]
- [52] Peng S M, Shi Z H, Sun P, et al. Effects of diet composition on growth rate, muscle amino acid and fatty acid composition of juvenile silver pomfret (*Pampus argenteus*)[J]. Marine Fisheries, 2012, 34(1): 51-56. [彭士明, 施兆鸿, 孙鹏, 等. 饲料组成对银鲷幼鱼生长率及肌肉氨基酸、脂肪酸组成的影响[J]. 海洋渔业, 2012, 34(1): 51-56.]
- [53] Liu X W, Tan B P, Mai K S, et al. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and fatty acid composition of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2007, 31(2): 190-195. [刘兴旺, 谭北平, 麦康森, 等. 饲料中不同水平 n-3 HUFA 对军曹鱼生长及脂肪酸组成的影响[J]. 水生生物学报, 2007, 31(2): 190-195.]
- [54] 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. [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.]
- [55] Taşbozan O, Gökçe M A. Fatty acids in fish[J]. Fatty acids, 2017, 1: 143-159.
- [56] Yin L Q, Su L, Jin Y. Relationship between fish muscle fiber characteristics and meat quality and its regulation technology[J]. The Food Industry, 2015, 36(2): 231-234. [尹丽卿, 苏琳, 靳焯. 肌纤维特性与鱼肉品质的关系及其调控技术的研究进展[J]. 食品工业, 2015, 36(2): 231-234.]
- [57] Wang X, Xiao K, Liu W B, et al. Effects of dietary fatty acids carbon-chain lengths on growth, muscle fiber development and meat quality of *Megalobrama amblycephala*[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(12): 95-110. [王曦, 肖康, 刘文斌, 等. 饲料脂肪酸碳链长度对团头鲂生长、肌纤维发育及肉质的影响[J]. 水产学报, 2023, 47(12): 95-110.]
- [58] Zawadowska B. Eye muscles of the Pike (*Esox lucius*) fiber types and their actomyosin ATPase and SDH activity[J]. Tissue and Cell, 1991, 23(5): 657-664.
- [59] Johnston I A, Alderson R, Sandham C, et al. Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. Aquaculture, 2000, 189(3-4): 335-349.
- [60] Bugeon J, Lefevre F, Fauconneau B. Fillet texture and muscle structure in brown trout (*Salmo trutta*) subjected to long-term exercise[J]. Aquaculture Research, 2003, 34(14): 1287-1295.
- [61] Shi C, Wang J, Yang Z, et al. Sustained swimming training is associated with reversible filet texture changes of European Sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.)[J]. Frontiers in Physiology, 2019, 10: 725.
- [62] Huang X X, Hegazy A M, Zhang X Z. Swimming exercise as potential measure to improve flesh quality of cultivable fish: A review[J]. Aquaculture Research, 2021, 52(12): 5978-5989.

Comparative analysis of muscle texture characteristics, nutritional composition, and omics characteristics on migratory and landlocked *Oncorhynchus masou*

DONG Xiaoqing^{1,2}, QU Guijuan^{1,2}, NIU Xiaotian^{1,2}, CHEN Xiumei^{1,2}, ZHANG Ying³, KONG Yidi^{1,2}, LI Min^{1,2}, WANG Guiqin^{1,2*}

1. Faculty of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

2. Key Laboratory of Animal Production, Product Quality and Security, Ministry of Education, Changchun 130118, China;

3. Heilongjiang River Fishery Research Institute of Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150076, China

Abstract: To investigate variations in cold-water fish muscle quality under different growing environments and their causes, this study focused on masu salmon (*Oncorhynchus masou*) as a target object. Samples were collected from migratory and landlocked triple, breeding and non-breeding group masu salmon. The appearance, texture, nutritional composition, and omics features of the back muscles of masu salmon were compared. Results showed that the fracture, gumminess, and water-holding capacities of the masu salmon triple group were significantly higher than those of the migratory, breeding, and non-breeding groups ($P<0.05$). The adhesive force, shear force, and cohesiveness of the triple group were significantly lower than those of the migratory, breeding, and non-breeding groups ($P<0.05$). The pH of the triple-breeding group was significantly lower than those of the breeding and non-breeding groups ($P<0.05$). The hardness of the migratory group was significantly higher than that of the non-breeding group ($P<0.05$). The redness of the triple-breeding group was significantly higher than those of the migratory, breeding, and non-breeding groups ($P<0.05$). The crude fat and water content of the masu salmon triple group were significantly higher than those of the migratory, breeding, and non-breeding groups ($P<0.05$). The crude protein and ash content of the migratory group were significantly higher than those of the landlocked triple, breeding, and non-breeding groups ($P<0.05$). The TAA, EAA, and DAA contents of the migratory masu salmon were significantly higher than those of the landlocked masu salmon ($P<0.05$) and showed significant differences between the groups ($P<0.05$). The contents of saturated fatty acids (Σ SFA), monounsaturated fatty acids (Σ MUFA), and polyunsaturated fatty acids (Σ PUFA) of the landlocked masu salmon were significantly higher than the migratory masu salmon ($P<0.05$), and the triploid group was highest. The eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) contents of the triploid group were significantly higher than those of the migratory, breeding, and non-breeding groups ($P<0.05$). The fiber diameter of landlocked masu salmon was significantly larger than that of migratory masu salmon ($P<0.05$). The results showed that the protein and amino acid contents of landlocked masu salmon were slightly lower than those of migratory masu salmon. However, landlocked triploids were better than migratory and other breeding groups in terms of muscle texture, color, fatty acid composition, and muscle fiber structure. These results provide a scientific basis for variety breeding optimization, differentiated breeding, and functional feed development in cold-water fish.

Key words: *Oncorhynchus masou*; migratory; landlocked; texture characteristics; nutritional composition; omics characteristics

Corresponding author: WANG Guiqin. E-mail: wgqjlau@aliyun.com