

# 海水与淡水养殖中华鲟亚成体肌肉 成分比较分析

冯博<sup>1</sup>, 郑跃平<sup>2</sup>, 李远兰<sup>1</sup>, 徐嘉楠<sup>2</sup>, 宋银都<sup>2</sup>, 冯广朋<sup>1\*</sup>

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090; 2. 上海市水生野生动植物保护研究中心, 上海 200092)

**摘要:** 为了探究不同养殖环境对亚成体中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 肌肉营养成分的影响, 采用基础营养成分分析、氨基酸含量测定及脂肪酸谱分析的方法, 对海水和淡水养殖中华鲟肌肉的粗脂肪、粗蛋白质、灰分、氨基酸及脂肪酸组成进行了比较研究。结果表明: 海水养殖中华鲟肌肉中的粗蛋白质含量显著高于淡水养殖个体 ( $P < 0.05$ ); 两者肌肉中均含有 18 种氨基酸, 必需氨基酸含量分别占总量的 49.06% 和 49.18%, WEAA/WNEAA 比值分别为 96.32% 和 96.77%; 淡水养殖中华鲟的脂肪酸总量及饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量均显著高于海水养殖个体 ( $P < 0.05$ )。研究表明, 海、淡水环境下中华鲟亚成体肌肉均富含营养成分, 海水养殖有利于其蛋白质和氨基酸的积累, 而淡水养殖更易促进脂肪酸的沉积, 本研究为优化中华鲟人工养殖模式和提升养殖质量提供了科学依据。

**关键词:** 中华鲟亚成体; 海水养殖; 淡水养殖; 肌肉成分

**中图分类号:** S 963

**文献标志码:** A

中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 是中国特有的一种大型洄游物种, 也是原始古老的软骨硬鳞鱼类, 通常被认为是鱼类“活化石”<sup>[1]</sup>。但是, 在人类活动影响下, 中华鲟产卵场生境衰退, 野生种群资源逐渐减少<sup>[2]</sup>, 严重威胁到中华鲟的生存<sup>[3]</sup>。中华鲟属于中国一级重点保护野生动物, 同时也因其濒危状态被列入国际自然保护联盟的红色名录<sup>[4]</sup>。中华鲟在近海生长发育, 性成熟后洄游至长江产卵繁殖, 繁殖后亲鱼与幼鱼均返回海洋中, 在海洋中生活的时间约占全部生活史的 90%<sup>[5]</sup>。因此, 中华鲟的海洋保护在野生种群资源恢复中具有举足轻重的地位。

中华鲟全人工繁育技术突破后, 长期养殖在淡水环境的中华鲟性成熟个体小、雌雄性成熟比例低、繁殖力下降等问题逐渐暴露, 中华鲟的海水养殖对恢复其生物学特性至关重要<sup>[5]</sup>。已有研究表明, 盐度是影响鱼类生长性能与肌肉品质的关键生态因子, 故肌肉成分的变化可作为个体代谢状态与生理适应性的代表性指标<sup>[6]</sup>。因此, 通过比较不同水环境下中华鲟肌肉成分的差异, 有助于间接评

估其不同养殖条件下生长发育、营养积累和环境适应能力的恢复状况, 从而为中华鲟资源恢复提供参考依据。目前, 中华鲟的相关研究主要集中在空间分布<sup>[7]</sup>、增殖放流<sup>[8]</sup>、血液生化指标<sup>[9]</sup>等方面, 其养殖模式主要以淡水养殖为主。近年来, 浙江、福建沿海开展中华鲟海水养殖取得了一定成效, 海水环境中盐度变化对鱼类渗透压、消化吸收、代谢方式及免疫功能都会产生影响<sup>[9]</sup>。目前已有研究报道了淡水养殖条件下中华鲟幼鱼的肌肉营养成分特征。宋超等<sup>[10]</sup>对野生与人工养殖中华鲟幼鱼进行了肌肉水分、粗蛋白质、粗脂肪、灰分及氨基酸组成等指标的对比, 发现生境类型对其营养成分具有显著性影响。此外, 郝淑贤等<sup>[11]</sup>综合评述了鲟鱼类肌肉成分特征及其影响因素, 表明养殖方式、饵料及环境条件是影响肌肉品质的重要变量。本试验以海水与淡水养殖的中华鲟亚成体为研究对象, 探讨了海水和淡水养殖环境对中华鲟基本成分、氨基酸、脂肪酸的影响, 旨在阐明不同养殖条件下中华鲟肌肉成分的差异性, 从而评估其对中华鲟生长发育和健康状态的潜在影响。本研究结果可为中华

收稿日期: 2025-07-01

基金项目: 国家重点研发计划 (2020YFD0900805); 修复向家坝库区渔业资源及保护长江珍稀特有物种第二期项目 (QT-20036); 上海市水生野生动植物保护研究中心专项课题

作者简介: 冯博 (1999—), 男, 硕士研究生。E-mail: fb991221@163.com

通信作者: 冯广朋 (1977—), 男, 博士, 研究员。E-mail: Fenggp@ecs.f. ac. cn

鲟的养殖管理提供科学依据,有利于人工养殖模式优化,促进中华鲟资源恢复。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

中华鲟淡水养殖为室内池养殖,养殖水温为  $22\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,溶解氧为  $(8.58\pm 0.50)\text{ mg/L}$ ,氨氮为  $(0.16\pm 0.38)\text{ mg/L}$ ,亚硝酸盐为  $(0.05\pm 0.03)\text{ mg/L}$ ,pH 为  $8.30\pm 0.48$ 。海水养殖也为室内池养殖,养殖水温为  $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,溶解氧为  $(7.82\pm 0.52)\text{ mg/L}$ ,氨氮为  $(0.19\pm 0.27)\text{ mg/L}$ ,亚硝酸盐为  $(0.04\pm 0.02)\text{ mg/L}$ ,pH 为  $8.10\pm 0.39$ 。基于养殖群体受客观条件限制,淡水养殖中华鲟亚成体取样 7 尾,平均全长为  $(112.29\pm 14.52)\text{ cm}$ ,平均体质量为  $(7.95\pm 2.71)\text{ kg}$ ;海水养殖中华鲟亚成体取样 5 尾,平均全长为

$(110.91\pm 14.16)\text{ cm}$ ,平均体质量为  $(6.91\pm 3.13)\text{ kg}$ (表 1)。海水养殖和淡水养殖模式的投喂饵料均为天邦公司 8 号鲟鱼配合饲料(粗蛋白质 $\geq 40\%$ ;粗脂肪 $\geq 12\%$ ;灰分 $\leq 18\%$ )。两组试验鱼初始状态一致,养殖期间每天投喂 3 次(7:00、13:00、19:00),采用定量投喂策略,投喂量根据摄食行为调整,饲料存储于干燥避光条件下( $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏)。在海水养殖和淡水养殖中华鲟亚成体体侧背部中段(背鳍下方至侧线之间区域)取去皮肌肉 20 g,取样后去除肌间骨和血膜等其他杂质,取肌肉组织用于分析。每尾鱼样品单独处理,使用 JXFSTPRP-48 型全自动样品快速研磨仪,设定频率 70 Hz,研磨时间 10 min,制备成均匀匀浆后检测。每尾鱼的样品均为单独分装,分别置于独立的 5 mL 离心管中,样本量与生物学重复数一致,基本成分、氨基酸、脂肪酸的检测在此基础上进行。

表 1 试验用鱼样品规格

Tab. 1 Specifications of fish samples for testing

养殖方式 breeding methods	样本数/尾 sample size	平均全长/cm average overall length	平均体长/cm average body length	平均体质量/kg average body weight
海水 seawater	5	110.91±14.16	90.19±10.65	6.91±3.13
淡水 freshwater	7	112.29±14.52	92.14±12.72	7.95±2.71

注:因个体体型较小,未能进行性别鉴定,下同。

Note: Due to the small size of the individual, the gender identification was not carried out, et sequentia.

### 1.2 方法

1.2.1 基本成分测定 在对海水和淡水养殖的中华鲟亚成体肌肉进行基本成分分析时,涉及多项关键指标,主要包括灰分、粗脂肪和粗蛋白质。本研究遵循国家食品安全标准,采用 GB 5009.4—2016 规定方法测定肌肉样本的灰分含量;采用 GB 5009.6—2016 规定方法测定肌肉样本的粗脂肪含量;采用 GB 5009.5—2016 规定方法测定肌肉样本中粗蛋白质含量。所有基本成分含量均以湿质量百分比(%)表示。

1.2.2 氨基酸测定 在试验过程中,首先将适量样品准确称量并置于 50 mL 的水解管内。随后,向管中注入 20 mL 1:1 盐酸溶液。接着将水解管置于电热鼓风干燥箱中,在  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下进行水解处理,持续时间设定为 22 h。水解完成后,取出水解管并待其冷却至室温。之后将水解液小心转移至 25 mL 比色管中,并进行定容处理。接下来,准确量取 100  $\mu\text{L}$  水解液,将其注入 15 mL 的离心管中。将离心管置入真空干燥箱,在  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下进行干

燥处理,直至溶剂完全蒸发,这一过程大约需要 2 h。干燥步骤完成后,使用蒸馏水进行定容,使最终体积达到 0.5 mL,并确保混合均匀。最后,将处理后的样品通过 0.45  $\mu\text{m}$  有机滤膜过滤,以确保样品的纯度和澄清度。采用液相色谱仪配合相应的标准品进行最终的测定分析。

1.2.3 脂肪酸测定 在试验过程中,首先将适量样品移入 100 mL 的比色管中,随后加入 2 mL 的 95%乙醇和 4 mL 蒸馏水,充分混合。接着,向管中添加 10 mL 浓度为 8.3 mol/L 的盐酸溶液,并再次混匀。将装有样品的比色管置于  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  的水浴中进行水解,持续时间为 40 min。在水解过程中,每隔 10 min 需摇动比色管,确保附着于管壁的颗粒充分分散于溶液中。水解步骤完成后,取出比色管并让其自然冷却至环境温度。然后,向水解后的样品中加入 10 mL 的 95%乙醇,并进行混合。利用 100 mL 的乙醚与石油醚混合溶剂进行提取,重复提取 3 次,并将所得的提取液合并至 100 mL 的平底烧瓶中。随后,将烧瓶中的石油醚和乙醚层进行蒸发,以分离并获取脂肪成分。在获得的脂肪提取

物中,加入 4 mL 的 2% 氢氧化钠甲醇溶液,并在 45 °C 的水浴锅中进行水浴处理,持续 20 min。此后,再加入 4 mL 14% 的三氟化硼甲醇溶液,同样在 45 °C 的水浴锅中处理 20 min。水浴处理结束后,待样品自然冷却至室温。在离心管中加入 3 mL 正己烷,进行 2 min 的震荡萃取,随后静置以待样品分层。分层完成后,取上层清液,并使用 0.45 μm 的滤膜进行过滤,以确保样品的澄清度。最后,采用气相色谱仪对过滤后的样品进行检测分析。

### 1.3 数据处理

试验数据均采用平均值 ± 标准差 (mean ± S. D.) 表示,采用 SPSS 26.0 和 Excel 2019 软件对试验数据进行处理,采用独立样本 *T* 检验进行两种养殖模式样本之间的差异分析,方差齐性检验使用 Levene's test 进行,显著性水平设为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 基本成分分析

从表 2 可知,海水养殖中华鲟亚成体肌肉中灰分、粗脂肪和粗蛋白质含量分别为 1.23%、1.07% 和 17.27%,而淡水养殖中华鲟亚成体肌肉中灰分、粗脂肪和粗蛋白质含量分别为 0.35%、1.60% 和 15.30%。两种养殖模式下中华鲟肌肉的粗蛋白质含量最高,海水养殖中华鲟亚成体肌肉中粗蛋白质和灰分含量均显著高于淡水养殖中华鲟 ( $P < 0.05$ ),粗脂肪含量与淡水养殖中华鲟无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

表 2 海水和淡水养殖中华鲟亚成体肌肉基本成分含量

Tab. 2 Content of basic body components in muscle of subadult *Acipenser sinensis* cultured in seawater and freshwater %湿质量

群体 group	灰分 ash	粗脂肪 crude fat	粗蛋白质 crude protein
海水养殖 seawater	1.23±0.20 <sup>a</sup>	1.07±0.19 <sup>a</sup>	17.27±0.86 <sup>a</sup>
淡水养殖 freshwater	0.35±0.18 <sup>b</sup>	1.60±1.28 <sup>a</sup>	15.30±0.60 <sup>b</sup>

注:同列中标有不同字母者表示组间有显著性差异 ( $P < 0.05$ ),标有相同字母者表示组间无显著性差异 ( $P > 0.05$ ),下同。

Note: The means with different letters within the same column are significantly different in the groups at the 0.05 probability level, and the means with the same letter within the same column are not significant differences, et sequentia.

### 2.2 氨基酸组成及含量

海水和淡水养殖中华鲟亚成体肌肉中均含有

18 种氨基酸 (表 3),其中,必需氨基酸 (EAA) 为 8 种,分别是 Thr、Val、Met、Phe、Ile、Leu、Lys、Trp; 半必需氨基酸 (HEAA) 2 种: His 和 Arg; 非必需氨基酸 (NEAA) 8 种: Asp、Glu、Ser、Gly、Ala、Tyr、Cys、Pro。海水和淡水养殖中华鲟亚成体肌肉内氨基酸含量比较结果显示,海水养殖中华鲟亚成体的肌肉中 Lys 含量最高,为 14 194.66,其次为 Asp、Pro、Glu、Leu、Ala,而 Cys 含量最低,为 409.10。淡水养殖中华鲟亚成体的肌肉中 Glu 含量最高,为 20 577.07,其次为 Lys、Arg、Leu、Asp、Gly,而 Trp 含量最低,为 1 257.55。此外,10 种氨基酸在海水与淡水养殖中华鲟肌肉中的含量存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ),分别为 Asp、Glu、Ser、Arg、Ala、Tyr、Phe、Lys、Pro、Trp。其余 8 种氨基酸在两种养殖环境之间无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。海水和淡水养殖中华鲟亚成体肌肉中必需氨基酸占总氨基酸的比值 (WEAA/WTAA) 分别为 49.06% 和 49.18%,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值 (WEAA/WNEAA) 分别为 96.32% 和 96.77%。

表 3 海水与淡水养殖中华鲟亚成体肌肉氨基酸组成及含量

Tab. 3 Amino acid composition and content in muscle of subadult *Acipenser sinensis* cultured in seawater and freshwater mg/kg 湿质量

氨基酸 amino acid	海水 seawater	淡水 freshwater
天冬氨酸 Asp	13 523.39±2 476.68 <sup>a</sup>	7 531.25±3 088.03 <sup>b</sup>
谷氨酸 Glu	10 647.59±2 761.51 <sup>a</sup>	20 577.07±5 149.66 <sup>b</sup>
丝氨酸 Ser	4 021.95±663.81 <sup>a</sup>	4 558.22±950.87 <sup>b</sup>
组氨酸 His **	2 816.42±696.69 <sup>a</sup>	2 412.02±604.61 <sup>a</sup>
甘氨酸 Gly	6 894.83±2 038.78 <sup>a</sup>	6 971.84±1 807.64 <sup>a</sup>
苏氨酸 Thr *	5 439.44±1 012.27 <sup>a</sup>	4 818.00±1 226.17 <sup>a</sup>
精氨酸 Arg **	8 759.57±1 308.8 <sup>a</sup>	9 802.90±2 172.09 <sup>b</sup>
丙氨酸 Ala	10 400.00±1 638.67 <sup>a</sup>	6 957.38±1 627.31 <sup>b</sup>
酪氨酸 Tyr	4 681.35±1 045.06 <sup>a</sup>	2 603.86±939.90 <sup>b</sup>
胱氨酸 Cys	409.10±92.77 <sup>a</sup>	3 071.90±568.20 <sup>b</sup>
缬氨酸 Val *	6 466.29±1 216.99 <sup>a</sup>	5 775.82±1 423.62 <sup>a</sup>
蛋氨酸 Met *	2 879.48±852.89 <sup>a</sup>	2 265.13±809.92 <sup>a</sup>
苯丙氨酸 Phe **	3 352.86±611.66 <sup>a</sup>	4 839.82±1 212.45 <sup>b</sup>
异亮氨酸 Ile *	4 441.92±923.25 <sup>a</sup>	4 981.59±1 286.66 <sup>a</sup>
亮氨酸 Leu *	10 555.54±2 340.33 <sup>a</sup>	9 226.49±2 366.50 <sup>a</sup>
赖氨酸 Lys *	14 194.66±3 135.4 <sup>a</sup>	10 379.19±2 608.99 <sup>b</sup>
脯氨酸 Pro	12 447.54±2 508.63 <sup>a</sup>	5 346.87±1 268.30 <sup>b</sup>
色氨酸 Trp *	1 797.18±298.66 <sup>a</sup>	1 257.55±169.19 <sup>b</sup>

注: \* 表示必需氨基酸; \*\* 表示半必需氨基酸。

Note: \* means an essential amino acid; \*\* means a semi-essential amino acid.

### 2.3 脂肪酸组成及含量

海水与淡水养殖中华鲟亚成体肌肉中均含有

16种脂肪酸(表4),包括3种饱和脂肪酸(SFA)、5种单不饱和脂肪酸(MUFA)和8种多不饱和脂肪酸(PUFA)。淡水养殖中华鲟肌肉中饱和脂肪酸含量、单不饱和脂肪酸含量、多不饱和脂肪酸含量与海水养殖中华鲟有显著性差异( $P < 0.05$ )。两种养殖模式检测出的脂肪酸中,C18:1n9c含量均最高,C18:2n6c次之,C22:2含量最低,海水与淡水中华鲟肌肉中含量最高的脂肪酸均为C18:1n9c。

表4 海水与淡水养殖中华鲟亚成体肌肉脂肪酸组成及含量  
Tab.4 Composition and content of fatty acids in the muscle of subadult *Acipenser sinensis* cultured in seawater and freshwater %湿质量

碳系 carbon series	海水 seawater	淡水 freshwater
C14:0	0.10±0.07 <sup>a</sup>	1.00±0.60 <sup>b</sup>
C16:0	1.62±0.31 <sup>a</sup>	17.43±3.68 <sup>b</sup>
C16:1	0.13±0.07 <sup>a</sup>	1.46±0.80 <sup>b</sup>
C18:0	0.84±0.28 <sup>a</sup>	8.14±3.08 <sup>b</sup>
C18:1n9c	2.00±0.53 <sup>a</sup>	31.09±5.49 <sup>b</sup>
C18:2n6c	1.67±0.38 <sup>a</sup>	22.86±4.16 <sup>b</sup>
C18:3n3	0.10±0.05 <sup>a</sup>	1.25±0.71 <sup>b</sup>
C20:1	0.10±0.04 <sup>a</sup>	1.66±0.51 <sup>b</sup>
C20:2	0.11±0.03 <sup>a</sup>	1.55±0.50 <sup>b</sup>
C20:3n6	0.06±0.03 <sup>a</sup>	1.02±0.50 <sup>b</sup>
C22:1n9	0.18±0.10 <sup>a</sup>	0.41±0.21 <sup>b</sup>
C20:4n6	0.31±0.18 <sup>a</sup>	2.98±1.54 <sup>b</sup>
C22:2	0.036±0.00 <sup>a</sup>	0.12±0.04 <sup>b</sup>
C20:5n3	0.15±0.05 <sup>a</sup>	1.29±0.46 <sup>b</sup>
C24:1	0.16±0.09 <sup>a</sup>	1.30±1.16 <sup>b</sup>
C22:6n3	0.54±0.19 <sup>a</sup>	4.02±1.85 <sup>b</sup>

## 3 讨论

### 3.1 基础成分分析

鱼类的营养评价与肌肉蛋白质及脂类的含量密切相关<sup>[12]</sup>,而蛋白质作为重要的生命物质基础,是衡量营养价值的重要指标<sup>[13]</sup>。肌肉是鱼体的主要营养部位,其营养成分组成和含量对鱼体品质的评价起着重要作用<sup>[14]</sup>。鱼类肌肉品质主要受物种、栖息环境和食物组成的影响,而不同养殖模式下鱼类栖息环境和食物组成通常存在差异,因此养殖模式对鱼类肌肉品质至关重要<sup>[15-17]</sup>。通常情况下,淡水养殖群体有充分的饲料供应,在养殖池中活动范围有限,能量消耗较少,而海水养殖群体活动范围更广阔,捕食活动活跃,脂肪消耗多。因此,淡水养殖群体通常脂肪含量较高,而粗蛋白质含量较海水养殖群体低<sup>[18]</sup>。本研究中,对比海水养殖和淡水养殖中华鲟的基本成分可知,海水养殖模式下

的中华鲟肌肉灰分和粗蛋白质含量分别为1.23%和17.27%,高于淡水养殖模式,海水养殖为中华鲟提供了更接近其自然生活环境的条件,这可能有助于提高其灰分和粗蛋白质的含量,该结果与鱼类的生存环境可影响其肌肉成分这一结论相符<sup>[19]</sup>。而海水养殖中华鲟的粗脂肪含量为1.07%,低于淡水养殖模式下的中华鲟、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)<sup>[20]</sup>、鲮(*Aristichthys nobilis*)<sup>[21]</sup>等淡水鱼类。海水养殖中华鲟肌肉灰分含量高于淡水养殖中华鲟,这表明海水养殖可能促进了中华鲟体内对矿物质(灰分)的吸收。有研究表明,当盐度从0分别增加到18和36时,吉富罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)肌肉中粗脂肪、粗蛋白质和灰分含量均呈现上升趋势<sup>[6]</sup>。本研究中海水养殖中华鲟肌肉的粗蛋白质和灰分含量均有所增加,而粗脂肪含量相较淡水养殖有所降低,房子恒<sup>[22]</sup>研究表明,半滑舌鳎在盐度15条件下分配至生长的能量最高。综上结果表明,海水养殖环境可能更有利于中华鲟体内蛋白质积累,同时脂肪储备相对较低,这种成分分布可能与其在海水环境中较高的活动水平和能量代谢状态有关。

### 3.2 氨基酸成分分析

氨基酸的组成和含量对于蛋白质的营养成分起决定性作用<sup>[23]</sup>。氨基酸不仅提供合成蛋白质的重要原料,还起到调节基因表达、抗氧化、调节一氧化氮合成等作用<sup>[24]</sup>。在本研究中,海、淡水养殖中华鲟肌肉的氨基酸组成一致,但含量存在显著性差异,以谷氨酸和赖氨酸含量最高,这与人工养殖中华鲟肌肉氨基酸的排列顺序一致<sup>[10]</sup>。本研究中海水养殖中华鲟肌肉氨基酸总量和非必需氨基酸含量显著高于淡水养殖中华鲟( $P < 0.05$ )。评价蛋白质品质的高低取决于氨基酸的含量和组成<sup>[25]</sup>,本研究中,海水和淡水养殖模式下中华鲟的EAA/AA总量分别为49.06%和49.18%,EAA/NEAA分别为96.32%和96.77%,符合FAO/WHO理想模式中优质蛋白质的标准<sup>[26]</sup>(EAA/AA约40.00%、EAA/NEAA>60.00%),表明两种养殖模式下中华鲟肌肉均为优质蛋白。有研究表明,盐度变化会影响鱼类肌肉中多种成分的含量,从而改变鱼类的肌肉品质<sup>[6]</sup>。本研究中,两种养殖模式下中华鲟肌肉均具备较高的蛋白质品质,其中海水养殖个体的氨基酸总量和非必需氨基酸含量相对较高,提示养殖环境差异可能在一定程度上影响肌肉蛋白质的组成特征。

### 3.3 脂肪酸成分分析

脂肪酸是机体生长发育的重要组成物质,其主要成分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸<sup>[27]</sup>。脂肪酸还是机体主要能源之一,对鱼类的生长和生存起着重要作用<sup>[28]</sup>。本研究中,海水养殖中华鲟的不饱和脂肪酸占脂肪酸总量的64.01%,低于淡水养殖模式中华鲟(69.95%),表明淡水养殖中华鲟不饱和脂肪酸含量更为丰富。脂肪酸的组成与肌肉品质存在着极大的相关性,多不饱和脂肪酸含量低则肌肉品质较高<sup>[29]</sup>。本研究中,海水养殖中华鲟肌肉中多不饱和脂肪酸含量低于淡水养殖中华鲟,表明海水养殖中华鲟的肌肉品质优于淡水养殖中华鲟。两种养殖模式下的中华鲟肌肉脂肪酸中,饱和脂肪酸均以C14:0、C16:0、C18:0为主要成分,单不饱和脂肪酸均以C18:1n-7所占比例最高,而C18:2n-6和C22:6n-3为多不饱和脂肪酸中的主要组成成分。海水鱼类自身合成必需脂肪酸的能力有限,必须从食物中获取才能满足其正常生长发育的营养需求<sup>[30]</sup>,因此,鱼类的脂肪酸受饵料脂肪酸含量及养殖环境因素的影响较大<sup>[31-32]</sup>。本研究中,海水养殖中华鲟饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量低于淡水养殖中华鲟,造成这种差异的原因可能与中华鲟的生活环境及饵料相关。鉴于本研究样本量有限,后续研究可在更多样本规模基础上进一步验证相关结果的稳定性与适用性。

## 4 结论

1) 与淡水养殖中华鲟相比,海水养殖中华鲟肌肉中的灰分、粗蛋白质及氨基酸含量更高,脂肪酸含量则相对较低,表明养殖环境显著影响其营养物质积累方向。

2) 两种养殖模式下中华鲟肌肉的氨基酸组成均符合优质蛋白质的评价标准。虽然淡水养殖个体的必需氨基酸比例略高,但海水养殖个体的氨基酸总量及非必需氨基酸的积累上具有优势。

3) 研究表明,海水养殖条件下中华鲟肌肉营养成分表现出相对优势,不仅为优化养殖环境选择和提升养殖品质提供了科学依据,也为促进其人工驯化和濒危资源的保护利用提供了理论支持与实践路径。

## 参考文献:

[1] THOMSON K S. Living fossils—living fossils [C]. NILES EL-DREDGE, STEVEN M. STANLEY, eds. New York: Springer Ver-

lag, 1984: 291.

[2] GAO X, BROSSE S, CHEN Y B, et al. Effects of damming on population sustainability of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*: evaluation of optimal conservation measures [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2009, 86(2): 325-336.

[3] HUANG Z L, WANG L H. Yangtze dams increasingly threaten the survival of the Chinese sturgeon [J]. *Current Biology*, 2018, 28(22): 3640-3647.e18.

[4] BIRSTEIN V J, BEMIS W E, WALDMAN J R. The threatened status of acipenseriform species: a summary [M]// *Sturgeon Biodiversity and Conservation*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2005: 427-435.

[5] WEI Q W. Conservation of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) based on its life history: dilemma and breakthrough [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, 32(5): 1297-1319.

[6] 赵孟杰, 王颖颖, 张志豪, 等. 盐度影响鱼类生长性能、肌肉品质和组织结构的研究进展 [J]. *水产研究*, 2020, 7(4): 210-215.

ZHAO M J, WANG Y Y, ZHANG Z H, et al. Research progress on effects of salinity on growth performance, muscle quality and tissue structure of fish [J]. *Open Journal of Fisheries Research*, 2020, 7(4): 210-215. (in Chinese)

[7] 朱佳志, 王肖静, 冯广朋. 基于 eDNA 技术的长江口中华鲟空间分布特征 [J]. *水生态学杂志*, 2026, 47(1): 162-172.

ZHU J Z, WANG X J, FENG G P. Spatial distribution characteristics of *Acipenser sinensis* in the Yangtze estuary based on eDNA technology [J]. *Journal of Hydroecology*, 2026, 47(1): 162-172. (in Chinese)

[8] 张照鹏, 董芳, 杜浩, 等. 长江中下游区增殖放流现状与对策研究 [J]. *淡水渔业*, 2021, 51(6): 19-28.

ZHANG Z P, DONG F, DU H, et al. Current status and suggestions on stock enhancement in the middle and Lower Yangtze River area [J]. *Freshwater Fisheries*, 2021, 51(6): 19-28. (in Chinese)

[9] 李远兰, 张涛, 冯广朋, 等. 海水养殖中华鲟后备亲本的血液生化特征 [J]. *海洋渔业*, 2023, 45(5): 570-578.

LI Y L, ZHANG T, FENG G P, et al. Blood biochemical characteristics of reserve parents of maricultured *Acipenser sinensis* [J]. *Marine Fisheries*, 2023, 45(5): 570-578. (in Chinese)

[10] 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.

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]. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53(3): 502-510. (in Chinese)

[11] 郝淑贤, 李晓燕, 李来好, 等. 鲟营养组成、高值化加工利用及质量安全研究进展 [J]. *南方水产科学*, 2014, 10(6): 101-106.

HAO S X, LI X Y, LI L H, et al. Research progress on nutrition composition, high threshold processing technology and quality & safety of sturgeon [J]. *South China Fisheries Science*, 2014, 10(6): 101-106. (in Chinese)

[12] 胡利华, 闫茂仓, 郑金和, 等. 盐度对日本鳗鲡生长及非特异性免疫酶活性的影响 [J]. *台湾海峡*, 2011, 30(4): 528-532.

HU L H, YAN M C, ZHENG J H, et al. Effects of salinity on growth and nonspecific immune enzyme activities of *Anguilla ja-*

- ponica* [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2011, 30 (4): 528-532. (in Chinese)
- [13] 苟妮娜, 王开锋, 杨新成. 盐度和饲料蛋白对凡纳滨对虾营养及消化作用研究进展 [J]. 西北农业学报, 2018, 27 (3): 306-315.
- GOU N N, WANG K F, YANG X C. Review of salinity levels and dietary protein on nutrition and digestion of *Litopenaeus vannamei* [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2018, 27 (3): 306-315. (in Chinese)
- [14] 林建斌, 陈度煌, 朱庆国, 等. 3种石斑鱼肌肉营养成分比较初探 [J]. 福建农业学报, 2010, 25 (5): 548-553.
- LIN J B, CHEN D H, ZHU Q G, et al. Nutritional quality and composition in flesh of three species of groupers [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2010, 25 (5): 548-553. (in Chinese)
- [15] 赵何勇, 陈诏, 徐鸿飞, 等. 海水和淡水养殖关岛红罗非鱼肌肉营养成分及品质特性分析 [J]. 南方农业学报, 2018, 49 (7): 1396-1402.
- ZHAO H Y, CHEN Z, XU H F, et al. Muscular nutritional components and texture profile of marine cultured and fresh water cultured Guam red Tilapia (*Oreochromis* spp.) [J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49 (7): 1396-1402. (in Chinese)
- [16] 吉红, 孙海涛, 单世涛. 池塘与网箱养殖匙吻鲟肌肉营养成分及品质评价 [J]. 水产学报, 2011, 35 (2): 261-267.
- JI H, SUN H T, SHAN S T. Evaluation of nutrient components and nutritive quality of muscle between pond-and cage-reared paddlefish (*Polyodon spathula*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35 (2): 261-267. (in Chinese)
- [17] 王志铮, 付英杰, 杨磊, 等. 三种养殖模式下日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 养成品体色和肌肉品质的差异 [J]. 海洋与湖沼, 2013, 44 (4): 1042-1049.
- WANG Z Z, FU Y J, YANG L, et al. Variations in body color and flesh quality of *Anguilla japonica* populations in different culture models [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44 (4): 1042-1049. (in Chinese)
- [18] 祝斐, 徐大风, 贾超峰, 等. 野生与驯养斑尾刺虾虎鱼肌肉营养成分分析 [J]. 水产科学, 2023, 42 (2): 279-287.
- ZHU F, XU D F, JIA C F, et al. Comparison of nutritive composition in muscle of wild and domesticated goby *Acanthogobius ommaturus* [J]. Fisheries Science, 2023, 42 (2): 279-287. (in Chinese)
- [19] 李秀明. 运动训练对中华倒刺鲃幼鱼生长的影响及其机理研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- LI X M. Effect of exercise training on the growth of juvenile *Spinibarbus sinensis* and its mechanism [D]. Chongqing: Southwest University, 2013. (in Chinese)
- [20] 喻亚丽, 鲁晓蓉, 董立学, 等. 低盐和淡水养殖模式下草鱼肌肉营养和风味品质评价 [J]. 大连海洋大学学报, 2024, 39 (3): 470-479.
- YU Y L, LU X R, DONG L X, et al. Evaluation of nutritional and flavor quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) cultured in low-salinity water and fresh water [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2024, 39 (3): 470-479. (in Chinese)
- [21] 韩迎雪, 林婉玲, 杨少玲, 等. 15种淡水鱼肌肉脂肪含量及脂肪酸组成分析 [J]. 食品工业科技, 2018, 39 (20): 217-222.
- HAN Y X, LIN W L, YANG S L, et al. Analysis of fat content and fatty acid composition in muscles of 15 species of freshwater fish [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39 (20): 217-222. (in Chinese)
- [22] 房子恒. 不同盐度对半滑舌鳎幼鱼生长的影响及其生理生态学机制的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- FANG Z H. Effects of different salinity on the growth of *Cynoglossus semilaevis* larvae and its physiological and ecological mechanism [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. (in Chinese)
- [23] 刘庆峰, 王静, 肖军, 等. 合方鲫及其亲本肌肉营养成分分析 [J]. 水产学报, 2017, 41 (7): 1133-1139.
- LIU Q F, WANG J, XIAO J, et al. Muscle nutrient of *Carassius auratus cuvieri* (♀) × *Carassius auratus* red var. (♂) and its parents [J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41 (7): 1133-1139. (in Chinese)
- [24] 汤奎, 刘小林, 张帅, 等. 3种不同体色刺参体壁营养成分的比较研究 [J]. 渔业科学进展, 2021, 42 (3): 155-162.
- TANG K, LIU X L, ZHANG S, et al. Comparative study on the nutrient composition in body walls of three body color variants of the sea cucumbers, *Apostichopus japonicus* (selenka) [J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42 (3): 155-162. (in Chinese)
- [25] 张志华, 张达娟, 李泽利, 等. 于桥水库4种经济鱼类肌肉营养成分分析与评价 [J]. 饲料工业, 2024, 45 (16): 92-98.
- ZHANG Z H, ZHANG D J, LI Z L, et al. Nutritional compositions and evaluation of muscle of four species economic fish in Yuqiao Reservoir [J]. Feed Industry, 2024, 45 (16): 92-98. (in Chinese)
- [26] 高学慧, 张小军, 余海霞, 等. 小黄鱼和棘头梅童鱼肌肉营养成分分析及品质评价 [J]. 浙江大学学报 (理学版), 2020, 47 (3): 362-369.
- GAO X H, ZHANG X J, YU H X, et al. Analysis and evaluation of the nutritional components in the muscle of *Pseudosciaena polyactis* and *Collichthys lucidus* [J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2020, 47 (3): 362-369. (in Chinese)
- [27] MA J Y, WANG J, MAHFUZ S, et al. Supplementation of mixed organic acids improves growth performance, meat quality, gut morphology and volatile fatty acids of broiler chicken [J]. Animals, 2021, 11 (11): 3020.
- [28] 王永明, 史晋绒, 谢碧文, 等. 不同年龄段养殖宽体沙鳃肌肉营养成分分析与评价 [J]. 水生生物学报, 2018, 42 (3): 542-549.
- WANG Y M, SHI J R, XIE B W, et al. Nutritional composition of muscle in cultured *Sinibotia reevesae* population at different ages [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2018, 42 (3): 542-549. (in Chinese)
- [29] 夏天宇, 冯若楠, 张甜甜, 等. 脂肪酸与人类健康 [J]. 畜牧兽医杂志, 2018, 37 (3): 32-33.
- XIA T Y, FENG R N, ZHANG T T, et al. Fatty acids and human health [J]. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2018, 37 (3): 32-33. (in Chinese)
- [30] WATANABE T, KITAJIMA C, FUJITA S. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a review [J]. Aquaculture, 1983, 34 (1/2): 115-143.

- [31] SARGENT J, BELL G, MCEVOY L, et al. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish [J]. *Aquaculture*, 1999, 177(1/2/3/4): 191-199.
- [32] XU J, YAN B L, TENG Y J, et al. Analysis of nutrient composition and fatty acid profiles of Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus* (Cuvier) reared in seawater and freshwater [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2010, 23(5): 401-405.

## Comparative analysis of muscle composition of subadult Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) cultured in freshwater and seawater

FENG Bo<sup>1</sup>, ZHENG Yueping<sup>2</sup>, LI Yuanlan<sup>1</sup>, XU Jianan<sup>2</sup>, SONG Yindu<sup>2</sup>, FENG Guangpeng<sup>1\*</sup>

(1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 2. Shanghai Aquatic Wildlife Protection and Research Center, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** To investigate the effect of different rearing environment on the muscle nutritional composition of subadult Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*), we employed proximate nutritional composition analysis, amino acid determination, and fatty acid profiling to compare the levels of crude fat, crude protein, ash, amino acids, and fatty acids in muscle tissues of individuals reared respectively in seawater and freshwater. The crude protein content in the seawater-reared group was significantly higher than that in the freshwater-reared group ( $P < 0.05$ ). Both groups contained 18 amino acids, with essential amino acids accounting for 49.06% and 49.18% of the total amino acid content, and essential amino acid/non-essential amino acid ratios of 96.32% and 96.77%, respectively. The total fatty acid content, as well as the levels of saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, and polyunsaturated fatty acids, were significantly higher in the freshwater group than those in the seawater group ( $P < 0.05$ ). These results indicate that the muscle of subadult *A. sinensis* reared in both seawater and freshwater is rich in nutrients. Seawater rearing favors protein and amino acid accumulation, while freshwater rearing facilitates greater deposition of fatty acids. These findings provide a scientific basis for optimizing aquaculture model and improving the nutritional quality of *A. sinensis*.

**Key words:** subadult *Acipenser sinensis*; marine aquaculture; freshwater aquaculture; muscle components