维普资讯 http://www.cqvip.com

动物学报 53(3):502－510，2007
Acta Zoologica Sinica

野生及人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的比较*

宋 超[1,2] 庄 平[1,2**] 章龙珍[1] 刘 健[3] 罗 刚[1,2]

1. 中国水产科学研究院东海水产研究所，农业部海洋与河口渔业重点开放实验室，上海 200090
2. 上海高校水产养殖学 E-研究院，上海水产大学生命科学与技术学院，上海 200090
3. 上海市长江口中华鲟自然保护区管理处，上海 200002

摘 要 对野生及人工养殖中华鲟幼鱼的肌肉营养成分和营养品质进行了分析比较。结果表明：野生中华鲟幼鱼肌肉中水分、粗蛋白和粗灰分含量均显著高于人工养殖中华鲟（$P<0.05$），而粗脂肪含量显著低于人工养殖中华鲟（$P<0.05$）。野生和人工养殖中华鲟幼鱼的氨基酸组成基本一致，均含有18种氨基酸，必需氨基酸指数（EAAI）分别为72.02、66.21，其构成比例符合联合国粮农组织/世界卫生组织（FAO/WHO）的标准。脂肪酸中二十碳五烯酸（EPA）与二十二碳六烯酸（DHA）的含量野生中华鲟显著高于人工养殖中华鲟（$P<0.05$），分别为22.99%、7.15%。矿物质含量丰富，微量元素含量野生中华鲟明显高于人工养殖中华鲟［动物学报 53（3）：502－510，2007］。

关键词 鲟鱼 肌肉 营养成分 氨基酸 脂肪酸 矿物质 微量元素

Comparison of nutritive components in muscles between wild and farmed juveniles of Chinese sturgeon *Acipenser sinensis**

SONG Chao[1,2], ZHUANG Ping[1,2**], ZHANG Long-Zhen[1], LIU Jian[4], LUO Gang[1,2]

1. Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China
2. Aquaculture Division, E-institute of Shanghai Universities, College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China
3. Superintendency Department of Shanghai Yangtze Estuarine Natural Reserve for Chinese Sturgeon, Shanghai 200002, China

Abstract This paper briefly compares the nutritive components and nutritional quality in muscles between wild and farmed juveniles of the Chinese sturgeon *Acipenser sinensis*. The results showed that moisture content, crude protein, crude fat and crude ash in fresh muscles of the wild and the farmed stocks were 81.44% ± 0.74%, 80.48% ± 0.52%, 17.23% ± 0.21%, 16.28% ± 0.16%, 0.36% ± 0.01%, 1.10% ± 0.07%, 1.19% ± 0.03%, 1.11% ± 0.01% respectively. The moisture, crude protein and crude ash contents in the muscle of the wild juveniles were significantly higher than that of the farmed juveniles ($P<0.05$), while crude fat content in the muscle of the farmed juveniles was significantly higher than that of the wild juveniles ($P<0.05$). Eighteen kinds of amino acids were identified in muscles of the two groups i.e., 8 essential amino acids (Thr, Val, Met, Phe, Ile, Leu, Lys and Trp), 2 half-essential amino acids (His and Arg) and 8 nonessential amino acids (Asp, Glu, Ser,

2006-12-18 收稿，2007-01-29 接受

* 国家自然科学基金项目（No.30490234）、国家“863”计划项目（No.2004AA603110）、上海市教育委员会 E-研究院建设项目（No.E03009）、科技部科技基础性工作和社会公益研究专项（No.2003DIB4J129）和长江口中华鲟自然保护区专项［This research was funded by the grants from National Natural Science Foundation of China (No.30490234), "863" Plan Project of National High Technology of China (No.2004AA603110), E-Institutes of Shanghai Municipal Education Commission (No.E03009), Special Research Project of the Ministry of Science and Technology of China (No.2003DIB4J129) and Special Research project of Shanghai Yangtze Estuarine Natural Reserve for Chinese Sturgeon］

** 通讯作者（Corresponding author）. E-mail: pzhuang@online.sh.cn

© 2007 动物学报 *Acta Zoologica Sinica*

维普资讯 http://www.cqvip.com

Gly, Ala, Tyr, Cys and Pro). The contents of total amino acids (W_{TAA}), total essential amino acids (W_{EAA}), total half-essential amino acids (W_{HEAA}), total nonessential amino acids (W_{NEAA}) in dry samples from the wild and the farmed stocks were 86.02% ±2.77%, 80.45% ± 0.96%; 36.87% ± 1.32%, 33.99% ± 0.43%; 8.11% ± 0.28%, 7.50% ± 0.28%; 41.03% ± 1.30%, 38.96% ± 0.67% respectively. In dry samples, the Ser, Tyr, Cys, Asp, Arg, Ile, Leu, Lys, Thr, Val and Trp content in the muscle of the wild stocks was significantly higher than that of the farmed stocks ($P < 0.05$). The content of W_{TAA}, W_{EAA}, W_{HEAA} and W_{NEAA} in the muscle of the wild was significantly higher than that of the farmed fish ($P < 0.05$). The essential amino acids index (EAAI) was 72.02 and 66.21 respectively and the constitutional rate of the essential amino acids (EAA) met the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) /Word Health Organization (WHO) Standard. According to nutrition evaluation, in the amino acids score (AAS) and chemical score (CS), the limited amino acids of the wild and the farmed juveniles both were Trp and Met + Cys. There were 6 saturated fatty acids (SFA), 6 mono-unsaturated fatty acids (MUFA) and 9 poly unsaturated fatty acids (PUFA) in the muscle of the wild stocks, while there were 9 SFA, 5 MUFA and 7 PUFA in the muscle of the farmed stocks. The percentage of SFA, MUFA and PUFA in the fatty aids of between the wild and the farmed stocks were 43.79% ± 1.76%, 29.11% ± 1.06%; 20.23% ± 0.51%, 32.61% ± 1.24%; 35.98% ± 1.81%, 38.28% ± 2.19% respectively. The amount of EPA + DHA, ω3 poly unsaturated fatty acids (ω3PUFA), ω6 poly unsaturated fatty acids (ω6PUFA) in fatty acids was 22.99% ± 0.45%, 7.15% ± 1.02%; 23.67% ± 0.57%, 9.81% ± 1.47%; 11.39% ± 1.04%, 27.92% ± 0.76% respectively. The amount of EPA + DHA, ω3PUFA in the muscle of wild juveniles was significantly higher than that of the farmed juveniles ($P < 0.05$). The amount of ω6PUFA in the muscle of the wild juveniles was significantly lower than that of the farmed juveniles ($P < 0.05$). In dry samples, minerals such as Ca, Mg and trace elements such as Zn, Fe, Se in the muscle of the wild juveniles were much richer than that of the farmed juveniles. The present study indicates that the nutritive components of the wild and the farmed juveniles were similar. They both are full of amino acids, fatty acids and minerals, but by comparing the amount of TAA, EAA, HEAA, NEAA, EAAI, EPA + DHA, ω3PUFA and minerals trace element, the conclusion is reached that the nutritive components of the wild juveniles are better than those of the farmed juveniles of *Acipenser sinensis* [*Acta Zoologica Sinica* 53 (3): 502 - 510, 2007].

Key words Sturgeon, Muscle, Nutritional component, Amino acids, Fatty acids, Mineral, Trace element

近年来，在鱼类肌肉营养成分研究方面，已对南美鲱鱼（*Prochilodus scrofa*）、黑尾近红鲌（*Ancherythroculter nigrocauda*）、山女鳟（*Oncorhynchus masou*）、中华倒刺鲃（*Spinibarbus sinensis*）、斑驳尖塘鳢（*Oxyeleotris marmoratus*）等很多淡水经济鱼类做过研究（陈琴等，2002；谭德清等，2004；邴旭文等，2005；邴旭文、王进波，2006），但对海水及洄游性鱼类的研究不多。在鲟科鱼类，尹洪滨等（2004）已对6种养殖鲟鳇鱼的肌肉营养成分做过研究，但对野生鲟鱼肌肉营养成分的研究至今未见报道。

中华鲟（*Acipenser sinensis* Gray）是暖温性中国特有大型洄游性名贵珍稀鱼类，属国家一级保护动物；同时，中华鲟也是一种原始古老的软骨硬鳞鱼类，具有“活化石”之称，在考古及科研上具有重要价值。作为白垩纪残留下来的孑遗种类，分布面窄，数量尤为稀少，资源不断衰退（常剑波、曹文宣，1999），处于濒危状态。为了使其摆脱灭绝的厄运，国家采取了积极的措施，一是对野生资源的保护，二是开展人工增养殖放流。本文采用生化分析手段，从分析肌肉营养成分的角度，对野生及人工养殖中华鲟幼鱼进行研究，旨在为中华鲟种质标准的建立及饵料的开发和研制提供基本资料和理论依据，并为进一步了解中华鲟幼鱼肌肉营养成分与环境和饵料之间的关系提供基本资料；同时，本研究的结果在人工增养殖放流方面也具有一定的指导作用。

1 材料与方法

1.1 材料

2006年5月至9月在上海崇明长江口中华鲟自然保护区临时基地，采集渔民误捕后在抢救过程中死亡的新鲜的野生中华鲟幼鱼作为实验材料。人工养殖中华鲟幼鱼为2005年11月由湖北沙市中华鲟繁育基地提供的受精卵培育而成。人工养殖中华鲟饲养在长×宽×高分别为80 cm×80 cm×100 cm的水泥池中，每天早晚投喂鲟鱼专用配合饲料（山东升索渔用饲料研究中心）各一次，吸污和换水一次，并用便携式多参数水质分析仪（Hydrolab Quanta）监测水质，水温（T）18℃ - 28℃，pH 7.0 - 8.0，溶氧（DO）>6.0 mg/L。随机取样，并测量个体。其中野生中华鲟幼鱼取样5尾，其体重为114.44 ± 13.68 g，体长为24.24 ± 1.21 cm；人工养殖中华鲟幼鱼取样5尾，其体重为136.40 ± 8.14 g，体长为26.06 ± 0.89 cm。

1.2 样品处理

野生和人工养殖中华鲟幼鱼各取5尾，每尾鱼作为一个样本，解剖取新鲜肌肉，捣碎，混合均匀。肌肉分为两份，一份做一般营养成分测定，另一份做氨基酸、脂肪酸、矿物质和微量元素测定。

1.3 样品测定方法

按GB 5009-85提供的方法分别测定水分、粗

维普资讯 http://www.cqvip.com

蛋白、粗脂肪和粗灰分；按 GB/T5009.168-2003 提供的方法使用 Agilent6890 型气相色谱仪测定脂肪酸；按 GB/T 14965-1994 提供的方法使用 Biochrom 20 型氨基酸自动分析仪测定除色氨酸外的 17 种氨基酸，色氨酸使用荧光分光光度法测定；按 GB/T5009-2003 提供的方法分别使用 300 型原子吸收分光光度计测定 Ca、Mg、Zn 和 Fe 元素，使用 4100ZL 型原子吸收分光光度计测定 Cr 和 Pb 元素，使用 721 型分光光度计测定 P 元素，使用原子荧光光度计测定 Se 元素。

1.4 营养品质评价方法

根据 FAO/WHO1973 年建议的氨基酸评分标准模式（%，dry）（Pellett and Yong，1980）和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式（%，dry）（蔡完其译，1980）分别按以下公式计算氨基酸评分（AAS）、化学评分（CS）和必需氨基酸指数（EAAI）（谭德清等，2004）：

$$AAS = \frac{aa}{AA\ (FAO/WHO)}$$

$$CS = \frac{aa}{AA\ (Egg)}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100A}{AE} \times \frac{100B}{BE} \times \frac{100C}{CE} \times \cdots \times \frac{100H}{HE}}$$

式中：aa 为试验样品氨基酸含量（%），AA（FAO/WHO）为 FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量（%），AA（Egg）为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量（%），n 为比较的必需氨基酸数，A，B，C，…，H 为鱼肌肉蛋白质的必需氨基酸含量（%，dry），AE，BE，CE，…，HE 为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量（%，dry）。

1.5 数据统计与处理

所有数据在做统计分析前，采用 SPSS13.0 统计软件中非参数统计分析（Nonparametic tests）中的 1-Sample K-S（Normal）过程进行正态性检验。经检验，原始数据均服从正态分布。用独立样本 *t*-检验（Independent samples *t* test）进行两种处理（野生和人工养殖）之间的比较，同时用 Levene's test 进行方差齐性检验；方差不齐时，用 2 Independent Samples 中的 Mean-Whitney *U* 作两组间进一步的比较。描述性统计值使用平均值 ± 标准差（Mean ± *SD*）表示，$P < 0.05$ 为具有显著性差异。

2 结 果

2.1 一般营养成分

野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分的测定结果见表 1。表 1 显示，野生中华鲟幼鱼肌肉中水分、粗蛋白和粗灰分含量均显著高于人工养殖中华鲟（$P < 0.05$），粗脂肪的含量显著低于人工养殖中华鲟（$P < 0.05$）。

表 1 野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉一般营养成分含量（平均值 ± 标准差，$n = 5$）

Table 1 Nutritional components in muscles of the wild and the farmed groups of juvenile *Acipenser sinensis* (Mean ± *SD*, $n = 5$)

营养成分 Nutrition components	含量（%湿重） % wet weight		方差齐性检验 Levene's test for equality of variances		*P* 值（双尾） *P* (2-tailed)
	野生 Wild	养殖 Farmed	*F* 值 *F*	*P* 值 *P*	
水分 Moisture	81.44 ± 0.74^a	80.48 ± 0.52^b	0.353	0.596	0.044
粗蛋白 Crude protein	17.23 ± 0.21^a	16.28 ± 0.16^b	0.364	0.563	< 0.001
粗脂肪 Crude fat	0.36 ± 0.01^a	1.10 ± 0.07^b	7.189	0.028	0.008
粗灰分 Crude ash	1.19 ± 0.03^a	1.11 ± 0.01^b	4.649	0.063	0.001

首先，对数据进行方差齐性检验，当 $P > 0.05$ 时，采用独立样本 *t*-检验分析；当 $P < 0.05$ 时，采用 Mean-Whitney *U* 分析。在同一横行中，上标字母不同者差异显著（$P < 0.05$），表 2、表 4 同此。

First, data were analyzed with Levene's test for equality of variances procedure. When $P > 0.05$, data were analyzed with Independent samples *t* test procedure from SPSS13.0; when $P < 0.05$, data were analyzed with Mean-Whitney *U* procedure. Within a row, values indicated by different superscripts are significantly different ($P < 0.05$), Table 2 and Table 4 are the same.

2.2 氨基酸分析及营养品质评价

2.2.1 氨基酸组成比较分析

表 2 显示了野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中的氨基酸组成，共测出 18 种常见氨基酸，其中包括 8 种必需的氨基酸（EAA）：Thr、Val、Met、Phe、Ile、Leu、Lys and Trp；2 种半必需氨基酸（HEAA）：His 和 Arg；8 种非必需氨基酸（NEAA）：Asp、Glu、Ser、Gly、Ala、Tyr、Cys、Pro。测定结

维普资讯 http://www.cqvip.com

果显示，肌肉中 4 种 NEAA（Ser、Tyr、Cys、Asp），6 种 EAA（Ile、Leu、Trp、Thr、Val、Lys）和 1 种 HEAA（Arg）的含量在野生和人工养殖中华鲟幼鱼间存在显著性差异（$P < 0.05$），氨基酸总量（W_{TAA}）、必需氨基酸总量（W_{EAA}）、半必需氨基酸总量（W_{HEAA}）和非必需氨基酸总量（W_{NEAA}）也存在显著性差异（$P < 0.05$）。比较野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉的各种氨基酸的平均值，除 Pro、Gly、Met 这 3 种氨基酸人工养殖中华鲟的高外，其它氨基酸均是野生中华鲟中含量较高。在所测得的 18 种氨基酸中，Glu 含量都是最高，分别占 13.53%和 12.68%，其次均为 Lys、Asp、Leu，而 Cys 含量最低，分别占 0.57%和 0.53%。在野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中氨基酸含量的高低排序是一致的。野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中必需氨基酸占总氨基酸的比值（W_{EAA}/W_{TAA}）分别为 42.86%和 42.25%，必需氨基酸与非必需氨基酸的比值（W_{EAA}/W_{NEAA}）分别为 89.86%和 87.24%。根据 FAO/WHO 的理想模式，质量较好的蛋白质其组成的氨基酸的 W_{EAA}/W_{TAA} 为 40%左右，W_{EAA}/W_{NEAA} 在 60%以上（李正忠，1988）。本研究中，野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中氨基酸的组成都符合上述指标的要求，即氨基酸平衡效果较好。

表 2　野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉的氨基酸组成及含量（平均值 ± 标准差，$n = 5$）

Table 2　Amino acid compositions in muscles of wild and farmed groups of juvenile *Acipenser sinensis* (Mean ± *SD*, $n = 5$)

氨基酸 Amino	含量（%干重） % dry weight		方差齐性检验 Levene's test for equality of variances		*P* 值（双尾） *P* (2-tailed)
	野生 Wild	养殖 Farmed	*F* 值 *F*	*P* 值 *P*	
丝氨酸 Ser	3.91 ± 0.09[a]	3.65 ± 0.13[b]	0.281	0.610	0.005
酪氨酸 Tyr	3.00 ± 0.22[a]	2.69 ± 0.10[b]	0.910	0.368	0.020
胱氨酸 Cys	0.57 ± 0.01[a]	0.53 ± 0.00[b]	10.022	0.013	0.008
脯氨酸 Pro	1.41 ± 0.30[a]	1.67 ± 0.09[a]	8.248	0.021	0.222
天冬氨酸 Asp	8.46 ± 0.29[a]	7.64 ± 0.17[b]	0.245	0.634	0.001
谷氨酸 Glu1	3.53 ± 0.79[a]	12.68 ± 0.17[a]	8.655	0.019	0.056
甘氨酸 Gly	4.58 ± 0.34[a]	4.63 ± 0.12[a]	24.454	0.001	0.690
丙氨酸 Ala	5.57 ± 0.63[a]	5.47 ± 0.33[a]	4.580	0.065	0.767
组氨酸 His	1.90 ± 0.17[a]	1.86 ± 0.19[a]	0.555	0.477	0.741
精氨酸 Arg	6.22 ± 0.14[a]	5.64 ± 0.12[b]	0.339	0.576	< 0.001
蛋氨酸 Met	1.47 ± 0.38[a]	1.56 ± 0.20[a]	11.957	0.009	0.690
苯丙氨酸 Phe	4.16 ± 0.21[a]	3.91 ± 0.19[a]	0.058	0.816	0.094
异亮氨酸 Ile	3.95 ± 0.20[a]	3.62 ± 0.09[b]	0.406	0.020	0.008
亮氨酸 Leu	7.59 ± 0.48[a]	7.00 ± 0.12[b]	4.183	0.075	0.027
赖氨酸 Lys	9.15 ± 0.54[a]	8.20 ± 0.05[b]	4.804	0.060	0.004
苏氨酸 Thr	3.68 ± 0.21[a]	3.35 ± 0.18[b]	0.188	0.676	0.032
缬氨酸 Val	6.18 ± 0.24[a]	5.77 ± 0.21[b]	0.009	0.927	0.020
色氨酸 Trp	0.69 ± 0.02[a]	0.57 ± 0.00[b]	8.854	0.018	0.008
氨基酸总量 W_{TAA}	86.02 ± 2.77[a]	80.45 ± 0.96[b]	8.798	0.018	0.008
必需氨基酸总量 W_{EAA}	36.87 ± 1.32[a]	33.99 ± 0.43[b]	4.832	0.059	0.002
半必需氨基酸总量 W_{HEAA}	8.11 ± 0.28[a]	7.50 ± 0.28[b]	< 0.001	0.989	0.009
非必需氨基酸总量 W_{NEAA}	41.03 ± 1.30[a]	38.96 ± 0.67[b]	4.177	0.075	0.013
W_{EAA}/W_{TAA}（%）	42.86	42.25			
W_{EAA}/W_{NEAA}（%）	89.86	87.24			

W_{TAA}为氨基酸总量，W_{EAA}为必需氨基酸总量，W_{HEAA}为半必需氨基酸总量，W_{NEAA}为非必需氨基酸总量。

W_{TAA} is total amino acids (TAA), W_{EAA} is total essential amino acids (EAA), W_{HEAA} is total half-essential amino acids (HEAA), W_{NEAA} is total nonessential amino acids (NEAA).

维普资讯 http://www.cqvip.com

2.2.2 肌肉营养品质的评价

将表 2 中的数据换算成每克氮中含氨基酸毫克数（乘以 62.50%）后，与 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式进行比较，并分别计算出野生和人工养殖中华鲟幼鱼的 AAS、CS 和 EAAI，结果见表 3。

根据表 3 中的 AAS 和 CS，野生和人工养殖中华鲟幼鱼都是 Lys 最高，其次为 Val，而 Trp 和 Met + Cys 最低。因而根据 AAS 和 CS，野生和人工养殖中华鲟幼鱼的第一限制性氨基酸均为 Met + Cys，第二限制性氨基酸均为 Trp。野生和人工养殖中华鲟幼鱼 EAAI 分别为 72.02 和 66.21，从 EAAI 来看，野生中华鲟幼鱼的蛋白质品质明显的优于人工养殖中华鲟。

表 3 野生和人工养殖中华鲟幼鱼的 AAS、CS 及 EAAI 的比较

Table 3 Comparative analysis of AAS, CS and EAAI between wild and farmed groups of juvenile *Acipenser sinensis* (mg/g, On N basis)

	氨基酸 AA Amino acids	FAO 评分模式 FAO evaluation mode	鸡蛋蛋白 Egg protein	野生 Wild	养殖 Farmed
AAS	异亮氨酸 Ile	2.5		0.99	0.91
	亮氨酸 Leu	4.4		1.08	0.99
	赖氨酸 Lys	3.4		1.68	1.51
	苏氨酸 Thr	2.5		0.92	0.84
	缬氨酸 Val	3.1		1.25	1.16
	色氨酸 Trp	0.6		0.72	0.60
	蛋 + 胱氨酸 Met + Cys	2.2		0.58	0.59
	苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe + Tyr	3.8		1.18	1.09
CS	异亮氨酸 Ile		3.31	0.75	0.68
	亮氨酸 Leu		5.34	0.89	0.82
	赖氨酸 Lys		4.41	1.30	1.16
	苏氨酸 Thr		2.92	0.79	0.72
	缬氨酸 Val		4.10	0.94	0.88
	色氨酸 Trp		0.99	0.43	0.36
	蛋 + 胱氨酸 Met + Cys		3.86	0.33	0.34
	苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe + Tyr		5.65	0.79	0.73
EAAI	必需氨基酸指数 Essential amino acids index			72.02	66.21

2.3 脂肪酸组成的比较

表 4 显示，野生中华鲟幼鱼肌肉中检测到 6 种饱和脂肪酸（SFA），6 种单不饱和脂肪酸（MUFA）和 9 种多不饱和脂肪酸（PUFA）；人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中检测到 9 种 SFA，5 种 MUFA 和 7 种 PUFA。测定结果除 $C_{14:0}$、$C_{23:0}$ 和 $C_{20:3\omega6}$ 这三种脂肪酸在野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉间差异不显著外（$P > 0.05$），其它的脂肪酸均有显著性差异（$P < 0.05$）。从脂肪酸组成上看，野生中华鲟的∑SFA (43.79%) 显著高于人工养殖中华鲟 (29.11%) ($P < 0.05$)；∑MUFA 正好相反，人工养殖中华鲟 (32.61%) 显著高于野生中华鲟 (20.23%) ($P < 0.05$)；而∑PUFA 的差别不显著 ($P > 0.05$)，在野生和人工养殖中华鲟中分别为 35.98% 和 38.28%。

野生中华鲟的 EPA 和 DHA 的总量 (22.99%) 显著高于人工养殖中华鲟 (7.15%) ($P < 0.05$)，前者为后者的 3.22 倍；野生中华鲟的∑ω3PUFA (23.67%) 显著高于人工养殖中华鲟 (9.81%) ($P < 0.05$)，前者为后者的 2.41 倍；野生中华鲟的∑ω6PUFA (11.39%) 显著低于人工养殖中华鲟 (27.92%) ($P < 0.05$)；野生中华鲟幼鱼肌肉中∑ω3PUFA 显著高于∑ω6PUF ($P < 0.05$)，分别为 23.67% 和 11.39%，其比值为 2.08；人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中∑ω3PUFA 显著低于∑ω6PUFA ($P < 0.05$)，分别为 9.81% 和 27.92%，其比值为 0.3。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表4　野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉脂肪酸组成及含量（平均值±标准差，$n=5$）

Table 4　Fatty acid contents in muscles of wild and farmed groups of juvenile *Acipenser sinensis* (Mean ± *SD*, $n=5$) (%)

脂肪酸 Fatty acids	种类 Group		方差齐性检验 Levene's test for equality of variances		*P* 值（双尾） *P* (2-tailed)
	野生 Wild	养殖 Farmed	*F* 值 *F*	*P* 值 *P*	
$C_{14:0}$	2.70 ± 0.51^a	2.70 ± 0.01^a	23.150	0.001	0.690
$C_{15:0}$	1.31 ± 0.16^a	0.37 ± 0.13^b	1.301	0.287	< 0.001
$C_{16:0}$	30.46 ± 0.57^a	21.00 ± 0.97^b	0.083	0.781	< 0.001
$C_{17:0}$	2.08 ± 0.31^a	0.38 ± 0.18^b	0.885	0.374	< 0.001
$C_{18:0}$	6.97 ± 0.35^a	3.26 ± 0.43^b	0.001	0.975	< 0.001
$C_{21:0}$		0.39 ± 0.26			
$C_{22:0}$		0.70 ± 0.02			
$C_{23:0}$	0.27 ± 0.37^a	0.24 ± 0.16^a	2.631	0.007	0.841
$C_{24:0}$		0.08 ± 0.11			
∑SFA	43.79 ± 1.76^a	29.11 ± 1.06^b	1.859	0.210	< 0.001
$C_{16:1}$	4.69 ± 0.23^a	3.08 ± 0.36^b	0.126	0.732	< 0.001
$C_{17:1}$	1.02 ± 0.38				
$C_{18:1\omega9t}$◆	0.28 ± 0.17^a	0.04 ± 0.06^b	1.515	0.253	0.017
$C_{18:1\omega9c}$▼	12.45 ± 0.38^a	28.26 ± 1.40^b	2.601	0.145	< 0.001
$C_{20:1\omega9}$	0.41 ± 0.07^a	1.22 ± 0.17^b	2.616	0.144	< 0.001
$C_{24:1\omega9}$	1.38 ± 0.25^a	0.01 ± 0.02^b	20.081	0.002	0.008
∑MUFA	20.23 ± 0.51^a	32.61 ± 1.24^b	2.208	0.176	< 0.001
$C_{18:2\omega6t}$◆▲	0.09 ± 0.12				
$C_{18:2\omega6c}$▼▲	2.57 ± 0.38^a	24.98 ± 0.41^b	0.002	0.966	< 0.001
$C_{20:2}$	0.92 ± 0.30^a	0.55 ± 0.03^b	64.674	< 0.001	0.008
$C_{18:3\omega6}$▲	0.08 ± 0.11^a	1.12 ± 0.21^b	0.160	0.700	< 0.001
$C_{18:3\omega3}$★	0.68 ± 0.17^a	2.66 ± 0.47^b	1.562	0.247	< 0.001
$C_{20:3\omega6}$▲	2.31 ± 1.36^a	1.82 ± 0.17^a	4.530	0.066	0.441
$C_{20:4\omega6}$▲	6.34 ± 1.40				
$C_{20:5\omega3}$ (EPA)★	9.24 ± 1.03^a	2.76 ± 0.53^b	3.686	0.091	< 0.001
$C_{22:6\omega3}$ (DHA)★	13.74 ± 0.61^a	4.39 ± 0.49^b	0.665	0.439	< 0.001
∑PUFA	35.98 ± 1.81^a	38.28 ± 2.19^a	0.059	0.815	0.108
EPA + DHA	22.99 ± 0.45^a	7.15 ± 1.02^b	0.494	0.502	< 0.001
∑ω3PUFA	23.67 ± 0.57^a	9.81 ± 1.47^b	0.826	0.390	< 0.001
∑ω6PUFA	11.39 ± 1.04^a	27.92 ± 0.76^b	2.167	0.179	< 0.001

∑SFA 为饱和脂肪酸总量；∑MUFA 为单不饱和脂肪酸总量；∑PUFA 为多不饱和脂肪酸总量；▲ω6 系列多不饱和脂肪酸；★ω3 系列多不饱和脂肪酸；◆t（反式）表示“在异侧”；▼c（顺式）表示“在同侧”（王镜岩等，2002）。

∑SFA is total saturated fatty acids (SFA); ∑MUFA is total mono-unsaturated fatty acids (MUFA); ∑PUFA is total poly unsaturated fatty acids (PUFA); ▲ ω6PUFA; ★ω3PUFA; ◆t (trans) means "in different side"; ▼c (cis) means "in the same side" (Wang et al., 2002).

2.4　矿物质和微量元素含量

表5显示，野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中矿物质 Ca 含量最高，其次为 P；微量元素中 Fe 含量较高，Pb 含量较低。同时，野生中华鲟幼鱼肌肉中 Ca、Mg、Zn 和 Cr 的含量高于人工养殖中华鲟；而 P 和 Pb 的含量低于人工养殖中华鲟；野生中华鲟幼鱼肌肉中还检测到 Fe 和 Se 两种微量元素，而人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中没有检测到。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 5 野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中矿物质和微量元素的含量（平均值 ± 标准差，$n = 5$）

Table 5 Mineral and trace element contents in muscles of wild and farmed groups of juvenile *Acipenser sinensis* (Mean ± *SD*, $n = 5$) (μg/g, dry weight)

元素 Minerals	野生 Wild	养殖 Farmed	元素 Minerals	野生 Wild	养殖 Farmed
钙 Ca	1 291.83 ± 35.28	611.13 ± 30.26	铁 Fe*	42.78 ± 9.30	
镁 Mg	50.84 ± 4.09	41.58 ± 3.30	硒 Se*	4.14 ± 0.08	
磷 P	578.66 ± 35.56	958.91 ± 92.97	铬 Cr*	6.55 ± 0.45	0.74 ± 0.19
锌 Zn*	27.95 ± 8.79	21.27 ± 6.28	铅 Pb*	0.39 ± 0.06	0.51 ± 0.28

* 微量元素。 * Trace element.

3 讨 论

3.1 肌肉营养成分的分析为中华鲟种质标准的建立和不同鲟鱼种质的辨别提供基础资料和科学依据

本实验中，首次对野生中华鲟的肌肉营养成分进行了分析，研究结果为野生中华鲟种质标准的建立提供了基础资料；同时，对野生和人工养殖中华鲟肌肉营养成分进行了比较分析，结果表明，肌肉中水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量，4 种 NEAA、6 种 EAA 和 1 种 HEAA 的含量，脂肪酸的种类和含量；尤其是其中的 EPA 和 DHA 的含量，以及各种矿物和微量元素的含量在野生和人工养殖中华鲟幼鱼之间均存在明显的差异，说明种质标准中肌肉营养成分方面的参数，可以为辨别野生和人工养殖中华鲟提供基本资料和科学依据；尹洪滨等（2004）已对 6 种养殖鲟鳇鱼的肌肉营养成分做过研究，其中在 6 种鲟鳇鱼之间肌肉营养成分也存在一定差异，表明种质标准中肌肉营养成分方面的参数，还可以为辨别不同种类的鲟鳇鱼提供基本资料和科学依据。

3.2 肌肉营养成分的分析为中华鲟配合饲料的研制提供基础资料和理论依据

目前，鲟鱼养殖生产中还没有针对不同种类的鲟鱼开发出不同的饲料。根据对鱼类肌肉营养成分的测定，可为该种鱼的营养需要量的制定和计算提供依据（邴旭文、张宪中，2006）；饲料蛋白质的氨基酸组成与含量同动物本身的氨基酸组成与含量有类似处（邴旭文等，2005）。我们对中华鲟幼鱼肌肉营养成分的研究结果可以为中华鲟幼鱼人工饵料的开发提供指导。综合尹洪滨等（2004）对 6 种养殖鲟鳇鱼之间肌肉的一般营养成分的研究和本研究结果来看，不同种类的鲟鱼及生活在不同环境中的同种鲟鱼之间，肌肉营养成分存在明显的差异，反映了各不同种类的鲟鱼及不同环境下的同种鲟鱼的营养需求量是不同的，根据这些差异，可以指导开发适合不同种类鲟鱼及不同环境下的同种鲟鱼的配合饲料。Lys 最重要的生理功能是参与体蛋白的合成，所以赖氨酸被称之为“生长性氨基酸”（周俊、宋代军，2006）。与尹洪滨等（2004）研究的 6 种养殖鲟鳇鱼相比，本研究中野生中华鲟幼鱼肌肉中 Lys 是含量最高的必需氨基酸。中华鲟为全世界 20 余种鲟科鱼类中生长最快的（庄平等，2006），也是进入淡水中最大的鱼类之一（Zhuang，2002），这与其肌肉中高含量的 Lys 是相关的。对其肌肉中必需氨基酸成分的研究，可以推测其对必需氨基酸的需要量，并且对于开发其它鲟鱼的配合饲料，提高其它鲟鱼的生长率，也具有一定的指导作用。

3.3 肌肉营养成分的分析为进一步研究肌肉营养成分与饵料生物和环境之间的关系提供基本资料

鱼肌肉营养成分的含量与其生存环境（天然或人工养殖等）、饵料成分、生长期（幼体或成体等）都有着密切的关系（尹洪滨等，2004）。中华鲟为洄游性鱼类，当年孵化的仔、幼鱼于翌年 6－7 月进入长江口。本实验中野生中华鲟即为洄游到长江口的中华鲟幼鱼。根据庄平等 2004－2006 年在长江口的调查，幼鲟在长江口主要摄食小型鱼类和甲壳类，其中常见饵料生物有矛尾虾虎鱼（*Chaeturichthys stigmatias*）、舌鳎（*Cynoglossus* spp.）、狭颚绒螯蟹（*Eriocheir leptognuthus*）、钩虾（*Gammarideapo* spp.）、节鞭水蚤（*Ergrasilus* spp.）和白虾 *Exopalaemon* sp. 等（庄平等，2006）。根据对野生中华鲟幼鱼肌肉营养成分的分析，结合野外调查的结果，然后对饵料生物的肌肉营养成分做进一步的分析，可以更好地理解肌肉营养成分与饵料生物之间的关系。同时，根据我们对野生中华鲟体内各种矿物质和微量元素的测定结果，然后与水环

维普资讯 http://www.cqvip.com

境和饵料生物中各种元素的含量进行比较，可以了解各种元素在环境、饵料生物和中华鲟之间的富集关系。同样，对人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的研究可为进一步了解人工饵料与养殖水环境和肌肉营养成分之间的关系提供基本资料。

3.4 肌肉营养成分的分析结果在中华鲟人工放流方面的指导作用

近年来，开展了大量的中华鲟人工放流活动。但是对于放流后的人工养殖中华鲟能否很好地适应海洋生活，以及如何选择放流时间和地点方面，还未见相关报道。本文主要根据野生和人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分中必需脂肪酸组成的差异，来判定人工养殖中华鲟幼鱼放流后的适应问题。根据对虹鳟、鲤、鳗、香鱼及海淡水鱼类脂肪酸的组成情况研究，认为淡水鱼的∑ω6PUFA比海水鱼的高（赵振山、高贵琴，1996），冷水性鱼类需要的∑ω3PUFA大于∑ω6PUFA（母昌考、王春琳，2003）。综合来看，对ω3PUFA的需求次序为：海水鱼类＞淡水鱼类，冷水性鱼类＞温水性鱼类。本研究的结果，野生中华鲟∑ω3PUFA大于养殖中华鲟，而养殖中华鲟∑ω6PUFA大于野生中华鲟；野生中华鲟中∑ω3PUFA大于∑ω6PUFA，养殖中华鲟中∑ω6PUFA大于∑ω3PUFA。故可以看出人工养殖中华鲟幼鱼肌肉中ω3PUFA和ω6PUFA的含量和比例更接近淡水鱼类，而野生中华鲟中ω3PUFA和ω6PUFA的含量和比例更接近海水鱼类。野生中华鲟幼鱼即将入海洄游面临海水环境，其体内含有丰富的ω3PUFA是与其洄游规律相适应的；用于放流的人工养殖的中华鲟，一方面要在食物中适当补充ω3PUFA，另一方面要合理地选择放流时间和地点，才能使其更好地适应海洋环境。本研究中野生中华鲟EPA和DHA的含量也明显的高于人工养殖中华鲟，这是与野生中华鲟野外生态环境相关的，鱼类主要通过食物链的富集作用，EPA与DHA便在体内积聚起来（邴旭文、王进波，2006），故含量较高。所以，在进行人工放流时，要结合中华鲟饵料生物的分布特点及饵料生物随季节的变动规律来决定人工养殖中华鲟的放流地点和放流时间，保证人工养殖中华鲟放流后能得到充足的饵料供应，使其体内不断的富集EPA和DHA，为其适应海洋环境提供保证，提高其入海后成活率。

综上所述，通过对野生及人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的分析比较，为中华鲟种质标准建立、配合饲料的研制、中华鲟人工放流等方面，提供了基础资料和理论指导。

致 谢 中国水产科学研究院长江水产研究所中华鲟繁育基地为本实验提供了中华鲟受精卵，本室的高露姣老师在实验方法和论文撰写方面给予了悉心指导，本所环境室为本实验提供了测定灰分的马弗炉，在此一并致谢。

参考文献（References）

Bing XW, Cai BY, Wang LP, 2005. Evaluation of nutritive quality and nutritional components in *Spinibarbus sinensis* muscle. Journal of Fishery Sciences of China12 (2): 211 - 215 (In Chinese).

Bing XW, Wang JB, 2006. A comparative study of nutritional quality in the muscle of *Penaeus stylirostris* and *Penaeus vannamei* in the cultured-pond. Acta Hydrobiologica Sinica 30 (4): 453 - 458 (In Chinese).

Bing XW, Zhang XZ, 2006. Evaluation of nutritional components and nutritive quality of the muscle of *Oxyeleotris marmoratus* Bleeker. Periodical of Ocean University of China 36 (1): 107 - 111 (In Chinese).

Chang JB, Cao WX, 1999. History and prospect of conservation on Chinese sturgeon in the Yangtze River. Acta Hydrobiologica Sinica 23 (6) 712 - 720 (In Chinese).

Chen Q, Huang Y, Tang ZS, Zhang YF, 2002. The study on the rate of flesh content and nutritional quality of the flesh of *Prochilodus scrofa*. Chinese Journal of Zoology 37 (1) 53 - 57 (In Chinese).

Li ZZ, 1988. Quantitative determination and analysis of essential amino acids in farina, lucid ganoderma and pear. Amino. Acids Analysis (4): 41 - 43 (In Chinese).

Mu CK, Wang CL, 2003. Study actuality in essential fatty acids nutrition of fishes. Feed Industry 24 (6): 44 - 46 (In Chinese).

Pellett PL, Yong VR, 1980. Nutritional Evaluation of Protein Foods. Tokyo: The United National University Publishing Company, 26 - 29.

Cai WQ (Translated), 1980. Fisheries Feed. Beijing: Agriculture Publishing Company, 114 - 115 (In Chinese).

Tan DQ, Wang JW, Dan SG, Li WJ, 2004. The ratio of muscle to body and analysis of the biochemical composition of muscle in *Megalobrama pellegrini*. Acta Hydrobiologica Sinica 28 (1): 17 - 22 (In Chinese).

Wang JY, Zhu SG, Xu CF, 2002. Biochemistry (thirdly edition). Beijing: Higher Education Press, 82, 88 (In Chinese).

Yin HB, Sun ZW, Sun DJ, Qiu LQ, 2004. Comparison of nutritive compositions in muscles among six farmed sturgeon species. Journal of Dalian Fisheries University 19 (2): 92 - 96 (In Chinese).

Zhao ZS, Gao GQ, 1996. Recent advance in essential fatty acid of fishes. Feed Research (12): 12 - 15 (In Chinese).

Zhou J, Song DJ, 2006. Recent advance in nutrition of lysine. Feed Research 27 (8): 48 - 50 (In Chinese).

Zhuang P, Kynard B, Zhang LZ, Zhang T, Cao WX, 2002. Ontogenetic behavior and migration of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*. Environmental Biology of Fishes 65: 83 - 97.

Zhuang P, Wang YH, Li SF, Deng SM, Li CS, Ni Y, Zhang LZ, Zhang T, Feng GP, Ling JZ, et al., 2006. Fishes of the Yangtze Estuary. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 139, 143 (In Chinese).

邴旭文，蔡宝玉，王利平，2005. 中华倒刺鲃肌肉营养成分与品质的评价. 中国水产科学 12 (2): 211 - 215.

邴旭文，王进波，2006. 池养南美蓝对虾与南美白对虾肌肉营养品质的比较. 水生生物学报 30 (4): 453 - 458.

邴旭文，张宪中，2006. 斑驳尖塘鳢肌肉营养成分与品质的评价. 中国海洋大学学报 36 (1): 107 - 111.

常剑波，曹文宣，1999. 中华鲟物种保护的历史与前景. 水生生物学报 23 (6) 712 - 720.

维普资讯 http://www.cqvip.com

陈 琴，黄 钧，唐章生，张益峰，2002. 南美鲱鱼的含肉率及肌肉营养评价. 动物学杂志 37（1）53－57.

李正忠，1988. 花粉、灵芝与珍珠中必需氨基酸的定量测定与分析比较. 氨基酸分析（4）：41－43.

母昌考，王春琳，2003. 鱼类必需脂肪酸营养研究现状. 饲料工业 24（6）：44－46.

桥本芳郎（蔡完其译），1980. 养鱼饲料学. 北京：中国农业出版社，114－115.

谭德清，王剑伟，但胜国，李文静，2004. 厚颌鲂含肉率及生化成分的分析. 水生生物学报 28（1）：17－22.

王镜岩，朱圣庚，徐长法，2002. 生物化学（第三版）. 北京：高等教育出版社，82，88.

尹洪滨，孙中武，孙大江，邱岭泉，2004. 6种养殖鲟鳇鱼肌肉营养成分的比较分析. 大连水产学院学报 19（2）：92－96.

赵振山，高贵琴，1996. 鱼类必需脂肪酸研究进展. 饲料研究（12）：12－15.

周 俊，宋代军，2006. 赖氨酸营养研究进展. 饲料研究 27（8）：48－50.

庄 平，王幼槐，李圣法，邓思明，李长松，倪 勇，章龙珍，张涛，冯广朋，凌建忠等主编，2006. 长江口鱼类. 上海：上海科学技术出版社，139，143.