

转食不同饵料对野生中华鲟幼鱼肌肉营养成分的影响

庄平^{1,2} 宋超^{1,2} 章龙珍¹ 刘健³ 罗刚^{1,2}

(11 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 21 上海高校水产养殖学 E2 研究院, 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 200090 31 上海市长江口中华鲟自然保护区管理处, 上海 200002)

EFFECTS OF CHANGING TO DIFFERENT DIETS ON NUTRITIVE COMPONENTS IN THE MUSCLE OF WILD JUVENILE ACIPENSER SINENSIS

ZHUANG Ping^{1,2}, SONG Chao^{1,2}, ZHANG LongZhen¹, LIU Jian³ and LUO Gang^{1,2}

(11 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; 21 Aquaculture Division, E2 Institute of Shanghai Universities, College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090 31 Superintendency Department of Shanghai Yangtze Estuarine Natural Reserve for Chinese Sturgeon, Shanghai 200002)

关键词: 野生; 中华鲟幼鱼; 营养成分; 饵料; 氨基酸; 脂肪酸

Key words: Wild Juvenile Chinese sturgeon; Nutritional component; Diet; Amino acid; Fatty acid

中图分类号: S963 文献标识码: A 文章编号: 100023207(2009)0520998207

中华鲟 (*Acipenser sinensis* Gray) 是中国特有大型洄游性名贵珍稀鱼类, 属国家一级保护动物。成年中华鲟每年 4) 6 月由海入江进行生殖洄游, 当年孵化的仔、幼鱼于翌年 6) 7 月洄游到长江口^[1]。为了保护中华鲟, 2002 年在长江口建立了中华鲟自然保护区。每年 6) 9 月中华鲟幼鱼在长江口摄食育肥, 然后入海。这期间, 渔民在长江口误捕的中华鲟幼鱼, 立即送到保护区临时基地进行抢救并暂养, 暂养一段时间后, 当中华鲟幼鱼恢复正常, 达到放流要求时, 再放流入海。

近年来, 关于饵料中营养成分对鱼类的生长和存活影响方面的研究已有很多报道^[2-4], 对鱼类肌肉营养成分的分析可以为鱼类营养需求量的制定和疾病的诊断提供依据。目前野生中华鲟幼鱼在暂养过程中主要以水蚯蚓和人工饲料为食, 且在暂养过程中具有较高的死亡率。为了探讨造成高死亡率的原因及在暂养过程中投喂水蚯蚓及人工饲料能否满足其营养需求, 笔者采用生化分析手段, 对中华鲟幼鱼及其饵料的营养成分进行分析。本研究旨在发现野生中华鲟幼鱼转食不同饵料后肌肉营养成分的变化, 从而评价野生中华鲟幼鱼在暂养过程中的营养状况, 为开发和研制适合野生中华鲟

幼鱼转食的饲料提供基础资料, 同时为暂养中华鲟幼鱼疾病的诊断提供依据, 并为其饲养管理和饵料选择提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料 实验材料包括 3 组中华鲟幼鱼, 一是野生组, 即渔民在长江口误捕后送到保护区临时基地的野生中华鲟幼鱼, 所取样品体重为 (1141.44 ± 131.68) g 体长为 (241.24 ± 112.1) mm; 一是转食水蚯蚓组, 即误捕的中华鲟, 在基地暂养过程中, 投喂水蚯蚓, 正常摄食后继续投喂水蚯蚓 8 个周后取样, 此时其体重为 (1041.80 ± 21.95) g 体长为 (241.26 ± 01.66) mm; 一是转食人工饲料组, 即在基地暂养过程中, 投喂水蚯蚓, 然后驯化转食人工饲料, 正常摄食后, 继续投喂 6 个周后取样, 此时其体重为 (1001.84 ± 201.69) g 体长为 (231.78 ± 31.46) mm。误捕中华鲟幼鱼暂养在长 @宽 @高 分别为 310 m @21.0 m @11.5 m 的水泥池中, 每池 20 尾, 驯化期间定时检测水质, 水温 (T) 22) 28℃, pH 7.10) 8.10, 溶氧 (DO) > 610 mg/L。3 种饵料包括斑尾刺虾虎鱼 (体重为 (241.22 ± 71.80) g 体长为 (101.83 ± 01.63) mm)、水蚯蚓和人工饲料 (山东升索渔用饲料研究中心)。

收稿日期: 2008201215; 修订日期: 2008210226

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30490234); 上海市教委 E2 研究院建设项目 (E03009); 科技部科技基础性工作和社会公益研究专项 (2003DIB4J129); 长江口中华鲟自然保护区专项和上海市基础重大专项 (06DJ14003) 资助

通讯作者: 庄平 (1960) 男, 汉族, 湖南桃源人; 研究员, 博士; 主要从事水生动物生理生态学和保护生物学研究。E2mail p_zhuang@on2linelshl.cn

112 样品处理 每组中华鲟幼鱼各取 5 尾, 每尾鱼作为一个样本, 解剖取新鲜肌肉, 捣碎, 混合均匀。斑尾刺虾虎鱼和水蚯蚓各分成 5 组, 每组鲜重为 100 g 以斑尾刺虾虎鱼的肌肉、水蚯蚓的整体为分析材料; 人工饲料选取新鲜干燥未变质的作为分析材料; 所有饵料在 60℃ 烘干, 磨碎, 混合均匀。样本分成两份, 一份做一般营养成分测定, 另一份做氨基酸和脂肪酸测定。

113 样品测定方法 按 GB 5009.25 提供的方法分别测定水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分; 按 GB/T 14965.1.994 提供的方法, 使用 Biorchrom 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/T 5009.168.2003 提供的方法, 使用 Agilent 6890 型气相色谱仪测定脂肪酸。

114 营养品质评价方法 根据 FAO/WHO 1973 年建议的氨基酸评分标准模式 (% , dry)^[5] 和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式 (% , dry)^[6] 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)^[7]:

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

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

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个数; A, B, C, , H 为样品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)。

115 数据统计与处理 数据采用 SPSS13.0 统计软件进行分析。三组数据间比较用 One-way ANOVA 过程中的最小极差法 (LSD) 进行; 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

表 1 显示, 3 组中华鲟幼鱼间, 水分和粗灰分含量差异不显著 (P > 0.05); 粗蛋白含量依次降低, 且差异显著 (P < 0.05); 粗脂肪含量转食人工饲料组显著的高于其他 2 组 (P < 0.05)。3 种饵料间, 斑尾刺虾虎鱼的粗蛋白含量显著的高于其他 2 种饵料 (P < 0.05), 人工饲料的粗脂肪和粗灰分含量显著的高于其他 2 种饵料 (P < 0.05)。

表 1 中华鲟幼鱼及其饵料的一般营养成分 (平均值 ± 标准差, n = 5)
Tabl 1 Nutrition components of juvenile *A. sinensis* and their diets (Mean ± SD, n = 5) (% Wetweight)

营养成分 Nutrition components	中华鲟幼鱼 Juvenile Chinese sturgeon			饵料 Diet		
	组 N	组 O	组 P	斑尾刺虾虎鱼	水蚯蚓	人工饲料
	Group N	Group O	Group P	<i>Al. omma. tatus</i>	<i>L. hoffmeisteri</i>	Artificial feed
水分 Moisture	81.44 ± 1.43 ^a	80.92 ± 0.02 ^a	80.56 ± 0.54 ^a			
粗蛋白 Crude protein	91.83 ± 1.13	89.68 ± 1.50	86.05 ± 1.18	85.43 ± 0.47	51.78 ± 0.81 ^a	54.20 ± 1.02 ^a
粗脂肪 Crude fat	1.84 ± 0.05 ^a	1.89 ± 0.15 ^a	5.25 ± 0.06	5.14 ± 0.64	14.61 ± 0.58	17.30 ± 0.14
粗灰分 Crude ash	6.31 ± 0.16 ^a	6.29 ± 0.05 ^a	6.07 ± 0.07 ^a	6.64 ± 0.20	8.63 ± 0.58	16.59 ± 0.20

注: 组 N 为野生组, 组 O 为转食水蚯蚓组, 组 P 为转食人工饲料组; 同行数据上标字母相同者之间差异不显著 (p > 0.05), 表 2、表 4 同此; 营养分析值除水分为鲜样外, 其他的均为干物质中的百分含量

Note: Group N means the group living in wild; Group O means the group feeding on *L. hoffmeisteri*; Group P means the group feeding on artificial feed. Within the same row, values with the same superscripts are not significantly different (P > 0.05), Tabl 2 and Tabl 4 are the same. The values of analysis are the percentage of the dried weight except that the moisture is in fresh sample.

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 3 组中华鲟幼鱼和 3 种饵料的氨基酸组成, 共测出 18 种常见氨基酸, 其中包括 10 种必需氨基酸 (EAA): Thr, Val, Met, Phe, Ile, Leu, Lys, Trp, His 和 Arg; 2 种半必需氨基酸 (HEAA): Tyr 和 Cys; 6 种非必需氨基酸 (NEAA): Asp, Glu, Ser, Gly, Ala, Pro。

3 组中华鲟幼鱼肌肉的氨基酸间, 除 Pro 的含量在 3 组间, Met 的含量在野生组和转食水蚯蚓组间, Tyr, Cys, Ala, His, Ile, Leu, Lys, Trp 和 HEAA 的含量在转食水蚯蚓组和转

食人工饲料组间差异不显著外 (P > 0.05), 其他氨基酸含量数据间均存在显著性差异 (P < 0.05)。3 种饵料间, 除 Arg, Trp 和 NEAA 的含量在水蚯蚓和人工饲料间差异不显著外 (P > 0.05), 其他氨基酸含量数据间均存在显著性差异 (P < 0.05)。

在 18 种氨基酸中, Glu 含量都是最高, 除了转食人工饲料组中 Met 含量最低外, 在其他组中华鲟幼鱼和 3 种饵料中均是 Cys 的含量最低。氨基酸总量 (TAA) 和必需氨基酸含量 (EAA) 在 3 组中华鲟幼鱼间和在 3 种饵料间均依次降低, 且差异显著 (P < 0.05)。

表 2 中华鲟幼鱼及其饵料的氨基酸组成及含量 (平均值 ± 标准差, n= 5)
Tabl 2 Amino acids composition of juvenile *A. sinensis* and their diets (Mean ± SD, n= 5) (% Dry weight)

氨基酸 Amino	中华鲟幼鱼 Juvenile Chinese sturgeon			饵料 Diet		
	组 N	组 O	组 P	斑尾刺虾虎鱼	水蚯蚓	人工饲料
	Group N	Group O	Group P	<i>Albomattus</i>	<i>L. hoffmeieri</i>	Artificial feed
丝氨酸 Ser	3191 ± 01 09	3122 ± 01 02	2195 ± 01 04	3122 ± 01 12	1186 ± 01 08	2129 ± 01 09
酪氨酸 Tyr	3100 ± 01 22	2153 ± 01 05 ^a	2127 ± 01 01 ^a	3145 ± 01 14	2116 ± 01 08	1180 ± 01 03
胱氨酸 Cys	0157 ± 01 01	0155 ± 01 01 ^a	0153 ± 01 01 ^a	0153 ± 01 07	0132 ± 01 04	0122 ± 01 03
脯氨酸 Pro	1141 ± 01 30 ^a	1170 ± 01 06 ^a	1119 ± 01 06 ^a	4111 ± 01 22	2159 ± 01 07	1165 ± 01 05
天冬氨酸 Asp	8146 ± 01 29	7132 ± 01 06	5149 ± 01 13	9199 ± 01 24	4197 ± 01 12	4116 ± 01 04
谷氨酸 Glu	13153 ± 01 79	12114 ± 01 27	10123 ± 01 21	12114 ± 01 21	7105 ± 01 32	8119 ± 01 18
甘氨酸 Gly	4158 ± 01 34	3142 ± 01 07	2177 ± 01 11	4136 ± 01 30	2159 ± 01 08	3133 ± 01 01
丙氨酸 Ala	5157 ± 01 63	4152 ± 01 01 ^a	4120 ± 01 11 ^a	5129 ± 01 10	3161 ± 01 07	2193 ± 01 12
组氨酸 His	1190 ± 01 17	1139 ± 01 02 ^a	1163 ± 01 19 ^a	2127 ± 01 05	1124 ± 01 08	0195 ± 01 02
精氨酸 Arg	6122 ± 01 14	5116 ± 01 10	4157 ± 01 02	6125 ± 01 20	3174 ± 01 06 ^a	3162 ± 01 03 ^a
蛋氨酸 Met	1147 ± 01 38 ^a	1124 ± 01 03 ^a	0124 ± 01 01	2154 ± 01 03	1120 ± 01 06	1105 ± 01 03
苯丙氨酸 Phe	4116 ± 01 21	3171 ± 01 15	3118 ± 01 02	4114 ± 01 24	2164 ± 01 07	2129 ± 01 03
异亮氨酸 Ile	3195 ± 01 20	3130 ± 01 08 ^a	3111 ± 01 02 ^a	3106 ± 01 11	2116 ± 01 08	1193 ± 01 05
亮氨酸 Leu	7159 ± 01 48	6138 ± 01 01 ^a	5176 ± 01 07 ^a	5137 ± 01 21	4106 ± 01 15	3134 ± 01 10
赖氨酸 Lys	9115 ± 01 54	7182 ± 01 13 ^a	7127 ± 01 02 ^a	8118 ± 01 13	3168 ± 01 08	3131 ± 01 18
苏氨酸 Thr	3168 ± 01 21	3113 ± 01 06	2178 ± 01 08	3199 ± 01 17	2155 ± 01 07	2104 ± 01 25
缬氨酸 Val	6118 ± 01 24	5134 ± 01 22	4179 ± 01 09	4176 ± 01 07	3185 ± 01 15	2196 ± 01 07
色氨酸 Trp	0169 ± 01 02	0161 ± 01 01 ^a	0160 ± 01 01 ^a	0156 ± 01 06	0142 ± 01 03 ^a	0138 ± 01 02 ^a
总氨基酸 TAA	86102 ± 21 77	73147 ± 01 03	63157 ± 01 31	84121 ± 11 09	50171 ± 01 35	46144 ± 01 84
必需氨基酸 EAA	44199 ± 11 55	38107 ± 01 33	33194 ± 01 01	41113 ± 01 46	25154 ± 01 39	21187 ± 01 50
半必需氨基酸 HEAA	3157 ± 01 22	3108 ± 01 04 ^a	2180 ± 01 01 ^a	3198 ± 01 13	2148 ± 01 10	2102 ± 01 04
非必需氨基酸 NEAA	37147 ± 11 14	32132 ± 01 32	26183 ± 01 32	39110 ± 01 62	22169 ± 01 29 ^a	22154 ± 01 37 ^a

2121 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 62150%) 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 3 组中华鲟幼鱼和 3 种饵料的 AAS、CS 和 EAAI (表 3)。

表 3 显示, 3 组中华鲟幼鱼间 AAS 和 CS 值最高的均为 Lys 较低的均为 Trp 和 Met+ Cys 3 种饵料间, AAS 值最高的为斑尾刺虾虎鱼的 Lys 水蚯蚓和人工饲料的 Phe+ Tyr AAS 值较低的为斑尾刺虾虎鱼的 Leu 和 Trp 水蚯蚓和人工饲料的 Trp 和 Met+ Cys CS 值最高的为斑尾刺虾虎鱼和人工饲料的 Lys 水蚯蚓的 Val CS 值较低的为斑尾刺虾虎鱼 Met+ Cys 和 Trp 水蚯蚓和人工饲料的 Trp 和 Met+ Cys。综合来看, 3 组中华鲟幼鱼和 3 种饵料中 AAS 和 CS 值较低的为 Met+ Cys 和 Trp 为限制性氨基酸。3 组中华鲟幼鱼和 3 种饵料的必需氨基酸指数 (EAAI) 均依次降低。

213 脂肪酸组成的比较

表 4 显示, 野生组中检测到 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); 转食水蚯蚓组中检测到 7 种 SFA、6 种 MUFA 和 6 种 PUFA; 转食人工饲料组中检测到 11 种 SFA、6 种 MUFA 和 9 种 PUFA; 斑尾刺虾虎鱼中检测到 5 种 SFA、3 种 MUFA 和 5 种 PUFA; 水蚯蚓中检测到 13 种 SFA、8 种 MUFA 和 7 种 PUFA; 人工饲料中检测到 8 种 SFA、5 种 MUFA 和 7 种 PUFA。

3 组中华鲟幼鱼脂肪酸间, 除 C_{17B1} 和 C_{18B3X3} 在 3 组间, C_{15B0}、C_{17B0}、C_{18B0}、C_{23B0}、C_{20B1X9} 和 E MUFA 在野生组和转食水蚯蚓组间, C_{20B2} 在转食水蚯蚓组和转食人工饲料组间, E PUFA 在野生组和转食人工饲料组间差异不显著 (P > 0105) 外, 其他脂肪酸含量数据间均具有显著性差异 (P < 0105)。在 3 种饵料间, 除 C_{18B0}、C_{17B1}、E SFA、E MUFA、E PUFA、E HUFA、E X3PUFA 在水蚯蚓和人工饲料间差异

表 3 中华鲟幼鱼及其饵料的 AAS、CS 及 EAAI 的比较
Tabl 3 Comparative analysis of AAS, CS and EAAI among juvenile *A. sinensis* and their diets (mg/g On N basis)

氨基酸 Amino		中华鲟幼鱼 Juvenile Chinese sturgeon			饵料 Diet		
		组 N	组 O	组 P	斑尾刺虾虎鱼	水蚯蚓	人工饲料
		Group N	Group O	Group P	<i>Al. ommaurus</i>	<i>L. hoffmeieri</i>	Artificial feed
AAS	Ile	01.99	01.83	01.78	01.77	01.54	01.48
	Leu	11.08	01.91	01.82	01.76	01.58	01.47
	Lys	11.68	11.44	11.34	11.50	01.68	01.61
	Thr	01.92	01.78	01.70	11.00	01.64	01.51
	Val	11.25	11.08	01.97	01.96	01.78	01.60
	Trp	01.72	01.64	01.63	01.58	01.44	01.40
	Met+ Cys	01.58	01.51	01.22	01.87	01.43	01.36
	Phe+ Tyr	11.18	11.03	01.90	11.25	01.79	01.67
CS	Ile	01.75	01.62	01.59	01.58	01.41	01.36
	Leu	01.89	01.75	01.67	01.63	01.48	01.39
	Lys	11.30	11.11	11.03	11.16	01.52	01.47
	Thr	01.79	01.67	01.60	01.85	01.55	01.44
	Val	01.94	01.81	01.73	01.73	01.59	01.45
	Trp	01.43	01.39	01.38	01.35	01.27	01.24
	Met+ Cys	01.33	01.29	01.13	01.50	01.25	01.21
	Phe+ Tyr	01.79	01.69	01.60	01.84	01.53	01.45
EAAI		721.02	611.96	511.73	661.56	421.80	361.18

不显著 ($P > 0.105$) 外, 其他脂肪酸含量数据间均具有显著性差异 ($P < 0.105$)。

3 组中华鲟幼鱼间, EPA、DHA、E HUFA 和 E X3PUFA 的百分含量依次降低, 且差异显著 ($P < 0.105$); E X6PUFA 的百分含量依次升高, 且差异显著 ($P < 0.105$)。3 种饵料间, 斑尾刺虾虎鱼的 EPA、DHA、E HUFA 和 E X3PUFA 的百分含量明显的高于水蚯蚓和人工饲料。3 组中华鲟幼鱼间 E X3/E X6 的比值分别为 21.08、11.58 和 01.69, 依次降低; 3 种饵料间, 该比值在斑尾刺虾虎鱼中大于 1, 在水蚯蚓和人工饲料中小于 1。

3 讨 论

3.1 中华鲟幼鱼及其饵料的营养关系分析

鱼肌肉营养成分的含量与其生存环境、饵料成分、生长期都密切相关^[8]。本研究中的中华鲟幼鱼均采自长江口, 它们的生长期是一致的, 且暂养水直接引自长江口附近水域, 其水质情况与长江口水质基本一致, 故 3 组间肌肉营养成分的不同主要是由其摄食的饵料不同决定的。斑尾刺虾虎鱼是长江口中华鲟幼鱼最重要的饵料生物, 其相对重要性指标 (IRI) 为 11391.20^[9]。由于转食饵料 (水蚯蚓和人工饲料) 的粗蛋白、EAA、TAA、EAAI、EPA、DHA、E X3PUFA、E HUFA 及 E X3/E X6 值均明显的低于中华鲟幼鱼的天然饵料生物 (斑尾刺虾虎鱼), 使野生中华鲟幼鱼转食后肌肉营养成分

发生了不同程度的降低, 其中以上各营养成分的含量在野生组、转食水蚯蚓组和转食人工饲料组间依次降低且差异显著 ($P < 0.105$), EAAI 和 E X3/E X6 值也依次降低。转食饵料营养成分的不足, 造成养殖动物在转食过程中营养成分不断降低; 虽然水蚯蚓和人工饲料的粗蛋白、E X3PUFA、E HUFA 的含量差异不显著 ($P > 0.105$), 但转食水蚯蚓组的以上营养成分却显著地高于转食人工饲料组 ($P < 0.105$)。可见, 水蚯蚓比人工饲料更利于中华鲟幼鱼的摄食和吸收, 养殖鱼类的营养成分变化不仅与其转食饵料的营养成分含量相关, 与其饵料是否适合其摄食也密切相关。

3.2 为暂养中华鲟幼鱼人工饲料的研制提供基础资料和理论依据

根据对鱼类肌肉营养成分的测定, 可为该种鱼的营养需要的制定和计算提供依据^[10]; 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^[11]。野生中华鲟幼鱼转食后肌肉营养成分发生了明显变化, 转食饵料与其天然饵料生物营养成分间也有明显地差异, 根据这些差异可以指导开发出适合转食中华鲟幼鱼需要的人工饲料。转食饵料的粗蛋白、TAA 和 EAA 营养均明显的低于其天然饵料生物, 使野生中华鲟幼鱼转食后肌肉中以上营养成分发生了明显降低, 说明转食饵料中粗蛋白和 EAA 营养不能满足中华鲟幼鱼的营养需求。

表 4 中华鲟幼鱼及其饵料的脂肪酸组成及含量 (平均值 ± 标准差, n= 5)
Tabl 4 Fatty acids contents of juvenile *A. sinensis* and their diets (Mean ± SD, n= 5) (%)

脂肪酸 Fatty acids	中华鲟幼鱼 Juvenile Chinese sturgeon			饵料 Diet		
	组 N	组 O	组 Ó	斑尾刺虾虎鱼	水蚯蚓	人工饲料
	Group N	Group O	Group Ó	<i>Al. ommaurus</i>	<i>L. hoffmeisteri</i>	Artificial feed
C _{10:0}					01.12 ± 01.04	
C _{11:0}					01.43 ± 01.06	
C _{12:0}			01.07 ± 01.00		01.76 ± 01.03	01.08 ± 01.01
C _{13:0}			01.04 ± 01.00		01.47 ± 01.04	
C _{14:0}	21.70 ± 01.51	11.90 ± 01.09	41.10 ± 01.04	11.82 ± 01.37	61.48 ± 01.34	41.24 ± 01.02
C _{15:0}	11.31 ± 01.16 ^a	11.21 ± 01.06 ^a	01.60 ± 01.01	11.49 ± 01.30	21.10 ± 01.06	01.44 ± 01.01
C _{16:0}	301.46 ± 01.57	351.38 ± 01.14	201.66 ± 01.20	251.65 ± 11.87	121.92 ± 11.09	201.42 ± 01.13
C _{17:0}	21.08 ± 01.31 ^a	21.11 ± 01.08 ^a	01.44 ± 01.44	21.63 ± 01.35	21.04 ± 01.25	11.10 ± 01.01
C _{18:0}	61.97 ± 01.35 ^a	61.83 ± 01.13 ^a	41.92 ± 01.19	141.60 ± 11.02	41.20 ± 01.47 ^a	31.76 ± 01.04 ^a
C _{20:0}			11.30 ± 01.01		01.19 ± 01.05	11.43 ± 01.02
C _{22:0}		01.15 ± 01.22	01.21 ± 01.04		11.48 ± 01.06	
C _{23:0}	01.27 ± 01.37 ^a	01.35 ± 01.36 ^a	01.97 ± 01.00		01.14 ± 01.07	01.32 ± 01.04
C _{24:0}			01.02 ± 01.02		01.20 ± 01.05	
E SFA	431.79 ± 11.76	471.94 ± 01.10	331.32 ± 01.27	461.20 ± 11.93	311.53 ± 11.05 ^a	311.80 ± 01.01 ^a
C _{14:1}			01.10 ± 01.03		21.13 ± 01.07	
C _{15:1}					01.29 ± 01.05	
C _{16:1}	41.69 ± 01.23	31.19 ± 01.15	41.25 ± 01.22	41.30 ± 01.36	51.71 ± 01.04	51.16 ± 01.01
C _{17:1}	11.02 ± 01.38 ^a	01.92 ± 01.12 ^a	01.79 ± 01.03 ^a	11.29 ± 01.31	01.81 ± 01.05 ^a	01.71 ± 01.02 ^a
C _{18:1n-7}	01.28 ± 01.17	01.11 ± 01.24			01.58 ± 01.05	
C _{18:1n-9}	121.45 ± 01.38	131.79 ± 01.76	201.57 ± 01.44	81.52 ± 01.37	31.69 ± 01.05	161.46 ± 01.09
C _{20:1n-7}	01.41 ± 01.07 ^a	01.13 ± 01.21 ^a	21.39 ± 01.69			
C _{20:1n-3} ^w					121.00 ± 01.11	31.30 ± 01.02
C _{24:1n-7}	11.38 ± 01.25	11.09 ± 01.15	01.18 ± 01.06		01.65 ± 01.06	01.32 ± 01.02
E MUFA	201.23 ± 01.51 ^a	191.23 ± 01.34 ^a	281.27 ± 11.28	141.11 ± 01.36	251.87 ± 01.14 ^a	251.95 ± 01.08 ^a
C _{18:2n-6} ⁿ	01.09 ± 01.12				11.21 ± 01.04	
C _{18:2n-6c} ⁿ	21.57 ± 01.38	41.42 ± 01.83	201.45 ± 01.16	21.14 ± 01.26	161.68 ± 01.19	151.94 ± 01.11
C _{20:2}	01.92 ± 01.30	01.63 ± 01.36 ^a	01.62 ± 01.02 ^a		01.34 ± 01.02	01.13 ± 01.04
C _{22:2}			01.04 ± 01.04			
C _{18:3n-6} ⁿ	01.08 ± 01.11		01.24 ± 01.24		01.53 ± 01.03	01.30 ± 01.01
C _{18:3n-3} ^w	01.68 ± 01.17 ^a	01.77 ± 01.49 ^a	01.88 ± 11.31 ^a	11.00 ± 01.29		21.12 ± 01.02
C _{20:3n-6} ⁿ	21.31 ± 11.36		01.06 ± 01.09	41.40 ± 01.38		
C _{20:4n-6} ⁿ	61.34 ± 11.40	81.05 ± 01.27	11.60 ± 01.10		131.92 ± 01.21	71.02 ± 01.06
C _{20:5n-3} (EPA) ^w	91.24 ± 11.03	71.65 ± 01.39	41.56 ± 01.03	111.52 ± 11.00	41.95 ± 01.14	71.82 ± 01.01
C _{22:5n-3} (DHA) ^w	131.74 ± 01.61	111.29 ± 01.17	91.96 ± 01.06	201.62 ± 11.18	51.17 ± 01.03	91.02 ± 01.00
E PUFA	351.98 ± 11.81 ^a	321.81 ± 01.24	381.40 ± 11.35 ^a	391.69 ± 11.49	421.60 ± 01.57 ^a	421.29 ± 01.04 ^a
E HUFA	221.99 ± 01.45	181.94 ± 01.22	141.52 ± 01.09	321.14 ± 11.16	241.05 ± 01.32 ^a	231.87 ± 01.07 ^a
E X3PUFA	231.67 ± 01.57	191.71 ± 01.64	151.40 ± 11.34	331.15 ± 11.00	221.13 ± 01.14 ^a	221.26 ± 01.01 ^a
E X6PUFA	111.39 ± 11.04	121.47 ± 01.64	221.35 ± 01.11	61.54 ± 01.50	321.34 ± 01.35	231.26 ± 01.04
E X3/E X6	21.08	11.58	01.69	51.07	01.68	01.96

注: w X3 系列多不饱和脂肪酸; n X6 系列多不饱和脂肪酸
Note: w X3PUFA; n X6PUFA

中华鲟为一种洄游性鱼类, 故其饵料不仅要满足其生长需求, 而且要满足其入海洄游对脂肪酸的营养需要。脂类是海水鱼类必需的营养要素, 特别是 X3PUFA 为海水仔、稚、幼鱼的必需脂肪酸^[12]。同时考虑到脂类营养的综合性和平衡性, 花生四烯酸 ($C_{20B\Delta X6}$) 也应该列为鱼类的必需脂肪酸^[13]。综合 EPA ($C_{20B\Delta X3}$)、DHA ($C_{22B\Delta X3}$) 和花生四烯酸 ($C_{20B\Delta X6}$) 等 HUFA 的含量, 在野生组、转食水蚯蚓组和转食人工饲料组之间分别为 (221.99 ? 01.45)%、(181.94 ? 01.22)% 和 (141.52 ? 01.09)%, 在三组间依次降低, 且差异显著 ($P < 0.05$)。比较 3 种饵料的脂肪酸组成, 斑尾刺虾虎鱼中含有丰富的 EPA、DHA、E X3PUFA 和 E HUFA 等重要脂肪酸。其中, X3PUFA 对中华鲟幼鱼的入海洄游及适应海洋环境非常重要^[14], 而水蚯蚓和人工饲料中以上脂肪酸相对不足, 不能满足中华鲟幼鱼正常生长和洄游的需要, 造成野生中华鲟幼鱼转食后以上营养成分明显降低。故在为暂养中华鲟幼鱼开发和研制饵料时, 应参照其天然饵料生物的营养组成情况, 在其转食饵料中适当地添加其所缺乏的必需氨基酸和重要脂肪酸, 既要保证其营养充分和平衡, 又要满足其正常生长、存活和洄游的营养需求。

313 为暂养中华鲟幼鱼的疾病诊断提供基础资料和理论依据

野生中华鲟幼鱼转食后粗蛋白、EAA 和重要脂肪酸的量均发生了明显降低, 这是由于中华鲟幼鱼在长江口主要摄食斑尾刺虾虎鱼等鱼类, 另外还有沙蚕、虾、蟹和河蚬等底栖生物, 这些饵料生物在长江口栖息地分布广, 密度大, 且营养丰富, 能为中华鲟幼鱼提供丰富的食物保障^[9]。但当中华鲟幼鱼被误捕后在临时基地暂养时, 一是不能有效的适应暂养生活, 二是不能有效的转食, 三是转食的饵料营养成分缺乏, 不能满足其营养需要, 使其自身营养不断消耗。鱼类脂肪中 X3PUFA 含量多于 X6PUFA, 这与鱼类属于变温动物有关, 双键结构降低脂肪酸熔点的特性可维持细胞膜的良好渗透性和流动性。根据对海淡水鱼类脂肪酸的组成及营养需求的研究可知, 海水鱼类的 X3PUFA 多于淡水鱼类, 海水鱼类对 X3PUFA 的需求多于淡水鱼类^[15-16]。中华鲟是一种洄游性鱼类, 从其整个生活史来看, 主要生活在海水中, 营养需要更接近海水鱼类。根据对很多海水性鱼类的研究可知, 饲料中必须添加 EPA 和 DHA 中的一种或两者均需要添加, 否则, 鱼的生长速度、饲料转化率、生理功能的发挥都会受到不同程度的影响, 并且发病率和死亡率将明显增加。从 E X3/E X6 的比值来看, 水蚯蚓和人工饲料的该比值均小于 1, 使野生中华鲟幼鱼转食后该比值不断降低, 尤其是转食人工饲料后该比值小于 1, 不能满足中华鲟幼鱼对 X3PUFA 的营养需要。综合来看, 由于转食饵料的粗蛋白、EAA 及 EPA 和 DHA 等 X3PUFA 的含量均明显的低于其天然饵料生物, 使野生中华鲟幼鱼转食后肌肉中必需氨基酸和重要脂肪酸的量明显降低, 尤其是转食人工饲料后 E X3/E X6 的比值变得不合理。可见, 野生中华鲟幼鱼在转食过程中, 其体内营养成分不断匮乏, 营养结构失调, 使其逐渐的不能适应暂养生

活, 而引起了后继死亡, 故在疾病诊断时, 应充分考虑营养平衡的因素。

314 为暂养中华鲟饲养管理及饵料选择的指导意义

针对野生中华鲟幼鱼在暂养过程中存在的问题, 应从以下 3 个方面解决。一是创造良好的养殖水环境, 并加强管理, 使其尽快适应暂养生活; 二是根据其摄食规律进行诱导, 使其有效的转食; 三是合理选择和搭配饵料, 保证其营养充分和平衡, 满足其营养需要。根据顾孝连^[17]对野生中华鲟幼鱼实验行为生态学的研究, 中华鲟幼鱼在暂养时具有选择白色底质、趋光、低栖、选择水流等适应性特点, 故在暂养时应根据以上特点, 加强管理, 并对暂养水池水质进行检测, 保证其与长江口野外水质情况接近, 使误捕中华鲟幼鱼尽快适应暂养环境。根据罗刚^[9]对野生中华鲟幼鱼暂养摄食行为的研究, 发现暂养中华鲟幼鱼主要依靠嗅觉和触觉摄食, 故在投喂人工饲料时, 应加入一些诱食物质, 同时对饲料的大小、软硬、色泽等进行设计, 使之更利于暂养中华鲟幼鱼的摄食, 增加其摄食量。本研究中, 水蚯蚓和人工饲料的营养均较差, 使中华鲟幼鱼转食后营养成分发生了明显降低, 但转食水蚯蚓组的营养成分优于转食人工饲料组。可见, 水蚯蚓比人工饲料更适合中华鲟幼鱼的摄食和吸收, 故在为转食中华鲟幼鱼选择饵料时, 要根据中华鲟幼鱼的摄食习性, 参照其天然饵料生物的营养组成, 既要保证所选饵料的营养成分丰富和平衡, 更要适合中华鲟幼鱼的摄食和吸收, 才能有效满足中华鲟幼鱼在暂养过程中的营养需求。

参考文献:

- [1] Zhuang P, Wang YH, Li SF, et al. Fishes of the Yangtze Estuary [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2006: 138 [庄平, 王幼槐, 李圣法, 等主编. 长江口鱼类. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 138]
- [2] Zheng LY. Effects of different diets on growth and survival of young fish of *Epinephelus coioides* [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2004, 23(3): 341-346 [郑乐云. 不同饵料对点带石斑鱼幼鱼生长、存活的影响. 台湾海峡, 2004, 23(3): 341-346]
- [3] Liu JK, Chen XL, Li KR, et al. Effects of different contents of arachidonic acid in experimental microdiets on growth and survival of larval Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2005, 36(5): 418-422 [刘镜恪, 陈晓琳, 李岩然, 等. 实验微粒饲料中花生四烯酸含量对牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 仔稚鱼生长、存活的影响. 海洋与湖沼, 2005, 36(5): 418-422]
- [4] Wang JQ, Wang WH, Li W K, et al. Effects of dietary protein and vitamin C levels on growth and immunity of juvenile *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(4): 512-518 [王吉桥, 王文辉, 李文宽, 等. 饲料蛋白质和维生素 C 含量对黄颡鱼生长和免疫力的影响. 水产学报, 2005, 29(4): 512-518]
- [5] Pellett PL, Yong VR. Nutritional evaluation of protein foods [M]. Tokyo: The United National University Publishing Company

- ny 1980, 26) 29
- [6] Cai W Q. Fisheries feed [M]. Beijing Agriculture Publishing Company, 1980, 114) 115 [蔡完其. 养鱼饲料学. 北京: 中国农业出版社, 1980 114) 115]
- [7] Bing X W, Cai B Y, Wang L P. Evaluation of nutritive quality and nutritional components in *Spinibarbus sinensis* muscle [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(2): 211) 215 [邴旭文, 蔡宝玉, 王利平. 中华倒刺鲃肌肉营养成分与品质的评价. 中国水产科学, 2005, 12(2): 211) 215]
- [8] Yin H B, Sun Z W, Sun D J et al. Comparison of nutritive compositions in muscles among six famed sturgeon species [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2004, 19(2): 92) 96 [尹洪滨, 孙中武, 孙大江, 等. 6种养殖鲟鲤鱼肌肉营养成分的比较分析. 大连水产学院学报, 2004 19(2): 92) 96]
- [9] Luo G. Food composition, feeding competition and feeding behavior of juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* in the Yangtze River estuary [D]. Thesis for Master of Science Shanghai Fisheries University Shanghai 2007 [罗刚. 长江口中华鲟幼鱼的食物组成、食物竞争和摄食行为. 硕士学位论文, 上海水产大学, 上海. 2007]
- [10] Bing X W, Zhang X Z. Evaluation of nutritional components and nutritive quality of the muscle of *Oxyeleotris mamoratus* Bleeker [J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(1): 107) 111 [邴旭文, 张宪中. 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, 2006 36(1): 107) 111]
- [11] Bing X W, Cai B Y, Wang L P. Evaluation of nutritive quality and nutritional components in *Spinibarbus sinensis* muscle [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(2): 211) 215 [邴旭文, 蔡宝玉, 王利平. 中华倒刺鲃肌肉营养成分与品质的评价. 中国水产科学, 2005, 12(2): 211) 215]
- [12] Wang D L, Xu S L, Yang X J et al. Fatty acid composition and their changes in larvae and juveniles of *Pseudosciaena crocea* [J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(2): 241) 245 [王丹丽, 徐善良, 严小军, 等. 大黄鱼仔、稚、幼鱼发育阶段的脂肪酸组成及其变化. 水产学报, 2006, 30(2): 241) 245]
- [13] Wang J Q, Zhang X, Liu G L. Recent advance in essential fatty acid nutrition and requirements of cultured marine fishes [J]. Fisheries Science, 2001, 20(5): 39) 43 [王吉桥, 张欣, 刘革利. 海水鱼类必需脂肪酸营养与需要的研究进展. 水产科学, 2001, 20(5): 39) 43]
- [14] Song C, Zhuang P, Zhang L Z et al. Comparison of nutritive components in muscles between wild and famed juveniles of Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* [J]. Acta Zoologica Sinica, 2007, 53(3): 502) 510 [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. 动物学报, 2007, 53(3): 502) 510]
- [15] Zhao Z S, Gao G Q. Recent advance in essential fatty acid of fishes [J]. Feed Research, 1996, 12(12): 15 [赵振山, 高贵琴. 鱼类必需脂肪酸研究进展. 饲料研究, 1996 12(12): 15]
- [16] Mu C K, Wang C L. Study actuality in essential fatty acids nutrition of fishes [J]. Feed Industry, 2003, 24(6): 44) 46 [母昌考, 王春琳. 鱼类必需脂肪酸营养研究现状. 饲料工业, 2003 24(6): 44) 46]
- [17] Gu X L. Studies on behavioral ecology of juvenile Chinese Sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) captured from the Estuary of Yangtze River under laboratory conditions [D]. Thesis for Doctor of Science Shanghai Fisheries University Shanghai 2007 [顾孝连. 长江口中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 幼鱼实验行为生态学研究. 博士学位论文, 上海水产大学, 上海. 2007]