

不同饵料对匙吻鲟仔鱼生长发育和 消化酶活性的影响

吴文化^① 张秀娟^{②③④*} 宋 聃^① 孙大江^① 李林妙^{②③④}
江海英^{②③④} 陈金平^{②③④}

① 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所 哈尔滨 150070; ② 广东省昆虫研究所 广州 510260; ③ 广东省野生动物保护与
利用公共实验室 广州 510260; ④ 广东省农业害虫综合治理重点实验室 广州 510260

摘要: 本文研究了不同强化饵料对匙吻鲟 (*Polyodon spathala*) 仔鱼生长和发育的影响, 实验采用蛋黄或鱼油强化卤虫无节幼体或桡足幼体为饵料的共 6 个实验组, 即未强化卤虫组、蛋黄强化卤虫组、鱼油强化卤虫组和未强化桡足幼体组、蛋黄强化桡足幼体组、鱼油强化桡足幼体组, 对匙吻鲟仔鱼开口驯化 14 d, 动态监测和统计不同饵料组匙吻鲟仔鱼的生长和存活情况, 并对消化酶活性进行相关性分析。体重、体长、日增重和存活率 4 个指标, 均为桡足幼体组显著高于卤虫组 ($P < 0.05$), 尤其在存活率方面, 鱼油强化卤虫组不足 50%, 而未强化桡足幼体组最高可达 86.59%; 不同饵料组生长模式方程都获得较好的拟合, 从体重和体长生长曲线看, 桡足幼体组从饲喂 8 天起体长和体重进入快速生长期, 而卤虫组生长一直相对缓慢; 胃蛋白酶活性在未强化桡足幼体组显著高于其他组 ($P < 0.05$), 不同饵料组对仔鱼的淀粉酶活性无显著性影响。结果表明, 在匙吻鲟仔鱼开口期以桡足幼体开口饵料驯化效果较好, 特别是未强化桡足幼体组仔鱼的存活率高, 鱼油强化桡足幼体组仔鱼生长速度较快, 而以卤虫饲喂效果相对较差。

关键词: 匙吻鲟; 不同饵料; 开口驯化; 消化酶

中图分类号: Q955 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2015) 04-571-10

The Effects of Different Diets on Growth, Development and Digestive Enzymes Activity in Paddlefish (*Polyodon spathala*) Larvae

WU Wen-Hua^① ZHANG Xiu-Juan^{②③④*} SONG Dan^① SUN Da-Jiang^① LI Lin-Miao^{②③④}
JIANG Hai-Ying^{②③④} CHEN Jin-Ping^{②③④}

① Heilongjiang Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070; ② Guangdong Entomological Institute,
Guangzhou 510260; ③ Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Guangzhou 510260;
④ Guangdong Key Laboratory of Integrated Pest Management in Agriculture, Guangzhou 510260, China

基金项目 广东省科学院野外台站基金项目 (No. Sytz201203), 基本科研业务费专项资金项目 (No. HYS201202), 公益性行业 (农业) 科研专项 (No. 201003055);

* 通讯作者, E-mail: zhangxj67@gdei.gd.cn;

第一作者介绍 吴文化, 男, 副研究员; 研究方向: 冷水性鱼类养殖与生理; E-mail: wuwenhua2008@sina.com.

收稿日期: 2014-08-15, 修回日期: 2015-02-16 DOI: 10.13859/j.cjz.201504009

Abstract: In intensive aquaculture, the choice of diet in initial feeding stage has important effects on growth and survival in fish larvae, even all the whole life history. The aim of this study was to find out a diet more suitable for development and survival of paddlefish *Polyodon spathala* larvae in their initial feeding stage. A total of six different diet groups, namely, unenriched artemia nauplii, enriched artemia nauplii with yolk, enriched artemia nauplii with fish oil, unenriched copepodid larva, enriched copepodid larva with yolk and enriched copepodid larva with fish oil, were fed to paddlefish larvae in initial feeding for 14 days. The growth and survival of paddlefish larvae were monitored and recorded, the effects of six different diet groups on digestive enzymes activity were analyzed. The results indicated that all four statistical index, such as final weight, final length, daily weight gain (DWG) and survival rate (SR), were significantly higher in the three groups fed with copepodid larva than other three groups fed with artemia nauplii ($P < 0.05$, Table 1). Impressively, SR was less than 50% in fish larvae fed by enriched artemia nauplii with fish oil group, however, SR was over 86% in larvae fish fed by unenriched copepodid larva group (Table 1). Though growth pattern equations of six diet groups all fitted well, the weight and length growth curves revealed paddlefish larvae grew quickly after 8 d fed by diet of copepodid larva groups, while paddlefish larvae feed on diet of three artemia nauplii groups grew significantly slowly (Fig. 1 - 3). Pepsin activity in paddlefish larvae fed by unenriched copepodid larva group was higher than other five groups ($P < 0.05$, Fig. 4). In addition, the effects of six diets on amylase activity were not significantly different ($P > 0.05$, Fig. 6). Collectively, paddlefish larvae fed with unenriched copepodid larva group had significantly high survival rate, and that of enriched copepodid larva with yolk group grew quickly. Therefore, these results suggested copepodid larva diet is much better choice than artemia nauplii diet for paddlefish larvae during initial feeding stage.

Key words: Paddlefish *Polyodon spathala*; Different diets; Initial feeding stage; Digestive enzyme

匙吻鲟 (*Polyodon spathula*) 为软骨硬鳞鱼类, 隶属鲟形目白鲟科匙吻鲟属, 是一种原产美国密西西比河和密苏里河流域的一种古老的淡水大型珍贵经济鱼类。我国引进匙吻鲟尽管已有 20 余年的养殖历史, 但如何提高匙吻鲟苗种培育成活率仍是目前解决大规模养殖的关键瓶颈 (崔禾等 2006, 康志平等 2007, 朱爱民等 2008, 丁庆秋等 2011)。仔鱼开口培育是匙吻鲟养殖过程中死亡率高的一个重要临界期 (Hubenova et al. 2007), 开口饵料是决定仔鱼顺利实现初次摄食的主要因素, 选择恰当时机投喂合适饵料, 可明显提高苗种培育的存活率。仔鱼开口期生长的细微差别对其存活以及整个生活史阶段的生长, 都有着重要的影响 (徐连伟等 2008)。

鱼类消化酶活力是反映鱼类消化生理状况和对各种营养物质利用的重要指标, 仔鱼在开口期较弱的消化酶活性也是造成该时期高死亡率的另一重要原因, 提高匙吻鲟仔鱼在开口期的消化酶活性也是降低死亡率的重要措施之一 (Lauff et al. 1984, 陈慕雁等 2005)。目前, 国内外学者在鲟鱼摄食特性与消化酶方面已有过一些研究, 如鲟鱼的摄食选择与投饲频率 (朱爱民等 2009, 崔超等 2014), 鲟鱼消化酶的活性与分布 (吉红等 2012, Ji et al. 2012), 朱爱民等 (2009) 在匙吻鲟仔鱼出膜时或卵黄期对一些消化酶活性进行了检测, 但对鲟鱼苗种在开口期饵料种类的选择及饵料对其生长发育和消化酶的影响研究报道较少。本文研究了不同饵料对匙吻鲟仔鱼生长发育及消化酶活力的影

响, 以期了解饵料与消化酶之间的相关关系, 提高匙吻鲟仔鱼对饵料的消化利用率, 为匙吻鲟苗种培育中的饵料选用提供参考, 同时也为匙吻鲟仔鱼摄食生物学积累资料。

1 材料与方 法

1.1 实验材料与养殖条件

选择孵化 9 d 的匙吻鲟仔鱼, 养殖实验在天津市天祥水产有限责任公司工厂化育苗车间进行, 实验容器为直径 2 m、深 1 m 的圆形玻璃钢水槽, 实验期间控制水深 80 cm, 微流水, 日水交换量为实验容器体积 1 ~ 1.5 倍, 水温 18 ~ 19℃。

实验所用生物饵料包括卤虫无节幼体和桡足幼体, 卤虫卵源自渤海湾, 于 2% 盐度水孵化, 孵化温度 28℃, 36 h 后将孵出的卤虫无节幼体转移到培养槽中, 密度 100 ~ 300 ind/ml, 培养液中的海水经过中和及次氯酸盐消毒; 桡足幼体是从淡水池塘用浮游生物网捞取的共生桡足类, 其中大部分为哲水蚤目种类, 并经 80 目筛绢网过滤得到桡足幼体; 营养强化方式: 蛋黄强化是将熟蛋黄溶于水后经 200 目筛绢过滤, 再行投喂生物活饵, 强化活饵密度不低于 100 ind/L, 添加蛋黄 0.2 g/L; 强化用鱼油乳剂是由荣成市石岛圣达公司生产的渔岛牌精制鳀鱼油, 强化时将鳀鱼油用高速打浆机制成乳状液体后(乳状液静止 8 h 时无油脂分层现象)再行投喂生物活饵, 强化活饵密度不低于 80 ind/L, 添加鳀鱼油 0.02 ml/L; 生物活饵每天强化投喂 3 次, 每次强化时间 3 ~ 4 h。

1.2 实验分组

采用蛋黄或鱼油分别强化卤虫无节幼体或桡足幼体, 组成共 6 个实验组, 即未强化卤虫组、蛋黄强化卤虫组和鱼油强化卤虫组, 统称为卤虫组, 未强化桡足幼体组、蛋黄强化桡足幼体组、鱼油强化桡足幼体组, 统称为桡足幼体组; 每组实验鱼 2 000 尾, 每组 2 个平行重复 (2 × 2 000), 实验鱼初始体长为 (16.5 ± 1.5) mm, 初始体重 (22.0 ± 3.5) mg; 投饵量

保持在鱼体重的 10% ~ 15% (饱和投饵); 每天分 5 次饲喂, 从 6:00 时开始每 3 h 喂 1 次, 开口驯化为期 14 d。由于实验设施限制, 在相同条件下, 选取不同批次仔鱼对该实验进行了重复。

1.3 指标的测定

1.3.1 体重和体长的检测 实验初始、过程中每 2 ~ 3 d 采样 1 次, 前 3 次每 2 d 采样一次, 后 3 次每 3 d 采样一次, 每组随机取出 40 尾测量生长指标, 包括体重 (mg) 和体长 (mm); 每天记录不同饵料组仔鱼的死亡情况, 实验结束后统计不同饵料组仔鱼的存活率 (survival rate), 并统计每组鱼的平均日增重 (daily weight gain)。 $R_S = [(N_2 - N_1) / N_1] \times 100\%$, $G_{DW} = (W_2 - W_1) / t$, 式中, R_S 为成活率 (%), N_1 、 N_2 分别为实验开始时和结束时存活仔鱼的数量 (ind), G_{DW} 为平均日增重 (mg/d), W_1 、 W_2 分别为实验开始时和结束时的仔鱼平均体重 (mg), t 是实验天数 (d)。

1.3.2 粗酶液的制备 取样在实验结束当日第一次投饵前进行, 以减少食物对所采集仔鱼消化酶的影响, 采集样品于 -80℃ 下保存; 不同实验组随机选择 6 尾仔鱼, 由于仔鱼个体太小, 很难分离消化道和消化器官, 只能以整鱼为样本, 提取粗酶液 (Wan et al. 2004, Wang et al. 2006)。取全鱼称重并按重量 (g) 体积 (ml) 比 1 : 9 的量加入预冷的 0.65% 生理盐水后, 用剪刀绞碎, 用高速组织匀浆机冰浴匀浆。匀浆液在 4℃ 下以 3 500 r/min 离心 10 min, 取组织匀浆上清液, 分装 0.5 ml, 4℃ 冰箱保存待用, 8 h 内完成消化酶测定。

1.3.3 消化酶的检测 样品酶活性按照南京建成生物工程研究所的考马斯亮蓝蛋白测定试剂盒、淀粉酶测试盒 (批号: C016, 碘-淀粉比色法)、胃蛋白酶测试盒 (批号: A080-1) 和脂肪酶测试盒 (批号: A054) 测定。

准确称取组织重量, 按重量 (g) 体积 (ml) 比为 1 : 4 的比例, 加入 4 倍体积的匀浆介质, 冰浴条件下机械匀浆, 制成 20% 的组织匀浆,

2 500 r/min 离心 10 min, 取上清分装待测。进行脂肪酶活性测定时, 取分装好的组织上清液按试剂盒步骤 37°C 水浴 (HHS-21-4 数显式电热恒温水浴锅) 条件下依次添加试剂, 分光光度计 (普析 TU-1900 双光束紫外可见分光光度计) 420 nm 比浊, 读取吸光值进行计算, 预试后根据活力大小或直接进行检测或用匀浆介质进行适当稀释后测定; 蛋白酶和淀粉酶活性测定时, 将分装好的组织上清液再次稀释, 最佳样品浓度按照预测试的结果和试剂盒提供的标准曲线确定; 按各自的试剂添加步骤 37°C 水浴条件下反应, 分光光度计 660 nm 波长下测定吸光值进行计算。酶活力单位的定义如下, 胃蛋白酶活性为每 mg 组织蛋白在 37°C 每分钟分解蛋白质生成 1 μg 酪氨酸相当于 1 个酶活力单位; 淀粉酶活性为组织中每 mg 蛋白在 37°C 最适 pH 与底物作用 30 min, 水解 10 mg 淀粉定义为 1 个淀粉酶活力单位; 脂肪酶活性为在 37°C 最适 pH 条件下, 每 g 脂肪蛋白在反应体系中与底物反应 1 min, 每消耗 1 μmol 底物为一个酶活力单位。

1.4 数据的统计与分析

描述性统计值使用平均值 ± 标准差

(Mean ± SD) 表示, 实验数据采用 SPSS17.0 软件对不同饵料组进行单因素方差分析 (ANOVA), $P < 0.05$ 为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 不同饵料组匙吻鲟仔鱼的生长比较

匙吻鲟仔鱼以 6 种不同活饵进行为期 14 d 的开口驯化, 各组仔鱼的驯化效果详见表 1。在日增重和终末体重方面, 3 个卤虫组和 3 个桡足幼体组之间的饲喂效果存在显著差异 ($P < 0.05$), 均表现为鱼油强化桡足幼体组和蛋黄强化桡足幼体组生长最快, 未强化桡足幼体组次之, 而饲喂卤虫组的日增重和终末体重均显著降低, 且卤虫组之间差异不显著 ($P > 0.05$); 在终末体长上各组间也存在统计意义上的显著差异 ($P < 0.05$), 鱼油强化桡足幼体组匙吻鲟仔鱼体长最长, 显著高于其他组, 其次为蛋黄强化桡足幼体组和未强化桡足幼体组, 而鱼油强化卤虫组体长最小, 驯化效果显著较差 ($P < 0.05$); 在存活率上, 卤虫组成活率较低, 而桡足幼体组的存活率显著升高 ($P < 0.05$), 其中鱼油强化卤虫组存活率不足 50%, 而未强化桡足幼体组最高, 平均达 86.59%。

表 1 6 种不同饵料饲喂对匙吻鲟仔鱼生长的影响

Table 1 The effects of six different diets on growth of paddlefish larvae

指标 Index	实验分组 Experiment groups (n = 40)					
	卤虫组 Artemia nauplii			桡足幼体组 Copepodid larva		
	未强化 Unenriched	蛋黄强化 Enriched with yolk	鱼油强化 Enriched with fish oil	未强化 Unenriched	蛋黄强化 Enriched with yolk	鱼油强化 Enriched with fish oil
终末体重 (mg) Final weight	87.93 ± 20.07 ^a	107.67 ± 26.74 ^a	85.00 ± 19.25 ^a	170.00 ± 74.46 ^b	206.00 ± 84.35 ^c	230.67 ± 100.82 ^c
终末体长 (mm) Final length	25.08 ± 2.44 ^a	26.15 ± 1.91 ^a	24.51 ± 1.89 ^b	28.23 ± 3.49 ^c	30.19 ± 4.13 ^d	32.23 ± 3.90 ^e
日增重 (mg) Day weight gain	4.71 ± 1.43 ^a	6.12 ± 1.91 ^a	4.50 ± 1.38 ^a	10.57 ± 5.32 ^b	13.14 ± 6.02 ^c	14.91 ± 7.20 ^c
存活率 (%) Survival rate	53.69 ± 9.63 ^a	60.22 ± 15.87 ^a	49.56 ± 12.29 ^a	86.59 ± 2.61 ^b	75.66 ± 2.08 ^b	79.44 ± 1.24 ^b

同一行参数后字母不同代表有显著差异 ($P < 0.05$)。

Values in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

2.2 不同饵料组匙吻鲟仔鱼的生长方程拟合

将不同饵料组匙吻鲟仔鱼随饲喂天数的体重变化拟合成指数方程(图 1)。同时,将不同饵料组匙吻鲟仔鱼的体长与饲喂天数进行多项式回归分析,得到体长与饲喂天数的生长模型(图 2)。不同饵料组开口驯化的 8 d 内,各实验组平均体重和平均体长增长非常缓慢,而从饲喂第 8 天开始,桡足幼体组体重和体长生长趋势加快,并进入快速生长期,其中鱼油强化桡足幼体组增长最快,蛋黄强化桡足幼体组和未强化桡足幼体组次之,而 3 个卤虫组一直生长相对缓慢。对驯化过程中不同饵料组匙吻鲟仔鱼的体长和体重进行相关性回归分析,拟合线性方程和相关系数分别为,未强化卤虫组 y_{A1}

$= 13.152 + 0.132x$ ($R = 0.988$), 蛋白强化卤虫组 $y_{A2} = 13.563 + 0.118x$ ($R = 0.981$), 鱼油强化卤虫组 $y_{A3} = 13.617 + 0.121x$ ($R = 0.983$), 未强化桡足幼体组 $y_{B1} = 14.553 + 0.082x$ ($R = 0.991$), 蛋黄强化桡足幼体组 $y_{B2} = 14.698 + 0.074x$ ($R = 0.996$), 鱼油强化桡足幼体组 $y_{B3} = 14.609 + 0.078x$ ($R = 0.995$), 桡足幼体组匙吻鲟仔鱼体长和体重的相关性和特定生长率显著高于卤虫组(图 3)。

2.3 不同饵料组对匙吻鲟仔鱼消化酶活性的影响

6 种不同饵料组对 3 种消化酶活力的影响情况见图 4~6。胃蛋白酶活性在未强化桡足幼体组最高,蛋黄强化桡足幼体组次之,与其他

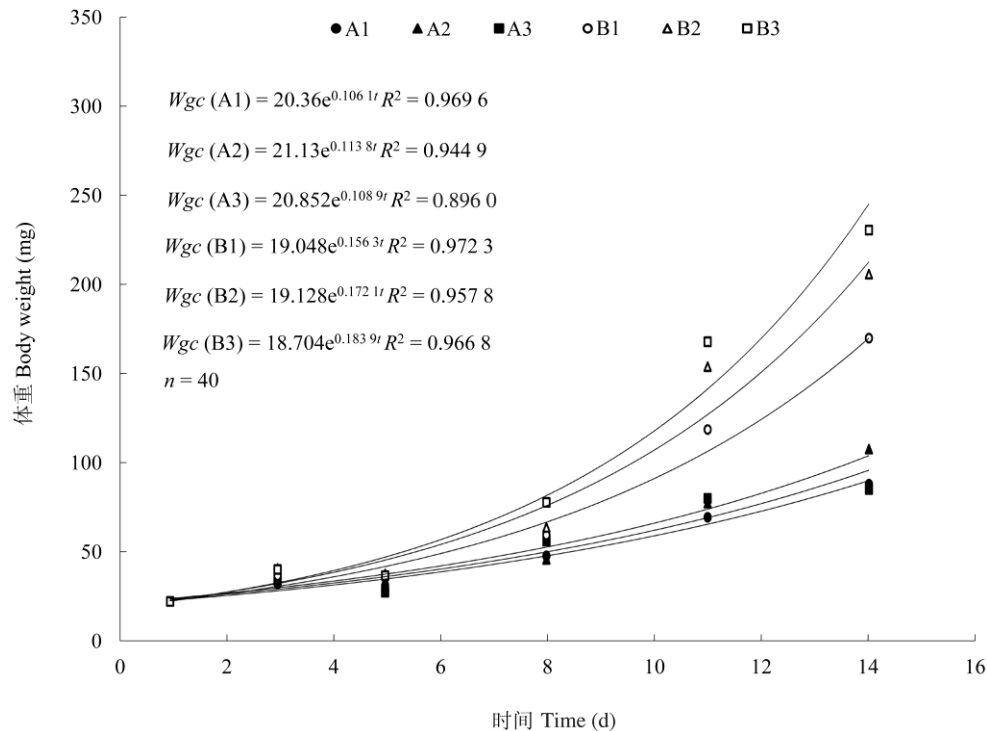


图 1 不同饵料组匙吻鲟仔鱼体重生长情况

Fig. 1 Weight growth curves of paddlefish larvae in different diet groups

A1. 未强化卤虫组; A2. 蛋黄强化卤虫组; A3. 鱼油强化卤虫组; B1. 未强化桡足幼体组; B2. 蛋黄强化桡足幼体组; B3. 鱼油强化桡足幼体组。

A1. Unenriched artemia nauplii; A2. Enriched artemia nauplii with yolk; A3. Enriched artemia nauplii with fish oil; B1. Unenriched copepodid larva; B2. Enriched copepodid larva with yolk; B3. Enriched copepodid larva with fish oil.

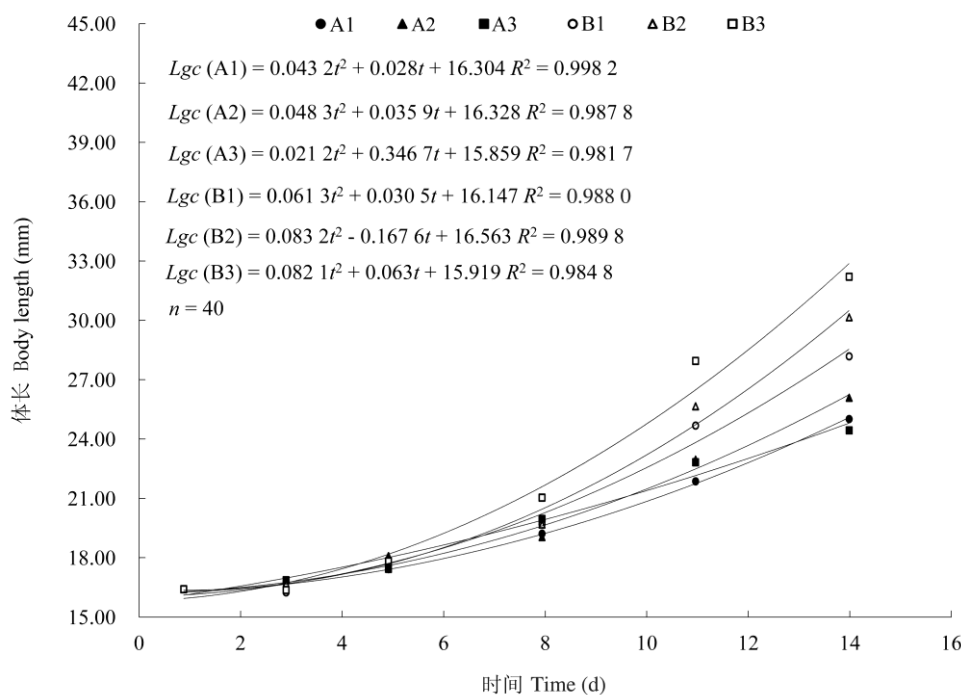


图 2 不同饵料组匙吻鲟仔鱼体长生长情况

Fig. 2 Length growth curves of paddlefish larvae in different diet groups

A1. 未强化卤虫组; A2. 蛋黄强化卤虫组; A3. 鱼油强化卤虫组; B1. 未强化桡足幼体组; B2. 蛋黄强化桡足幼体组; B3. 鱼油强化桡足幼体组。

A1. Unenriched artemia nauplii; A2. Enriched artemia nauplii with yolk; A3. Enriched artemia nauplii with fish oil; B1. Unenriched copepodid larva; B2. Enriched copepodid larva with yolk; B3. Enriched copepodid larva with fish oil.

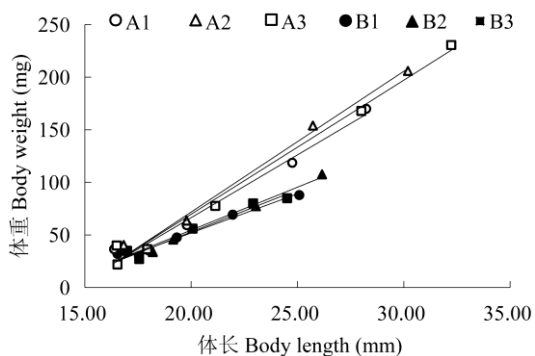


图 3 不同饵料组匙吻鲟仔鱼体长与体重的回归分析

Fig. 3 Regression analysis between body length and body weight of paddlefish larvae in different diet groups

A1. 未强化卤虫组; A2. 蛋黄强化卤虫组; A3. 鱼油强化卤虫组; B1. 未强化桡足幼体组; B2. 蛋黄强化桡足幼体组; B3. 鱼油强化桡足幼体组。

A1. Unenriched artemia nauplii; A2. Enriched artemia nauplii with yolk; A3. Enriched artemia nauplii with fish oil; B1. Unenriched copepodid larva; B2. Enriched copepodid larva with yolk; B3. Enriched copepodid larva with fish oil.

组相比存在显著性差异 ($P < 0.05$)。不同饵料组匙吻鲟仔鱼淀粉酶活性均较低, 各组之间无显著性差异 ($P > 0.05$)。从不同饵料组脂肪酶活性比较结果看, 未强化卤虫组的活性水平最高, 与其余组相比存在显著差异 ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 不同饵料对匙吻鲟仔鱼生长发育和存活的影响

鱼类仔鱼开口摄食后, 其生长发育与饵料种类、大小 (适口性)、密度 (可得性) 及饵料营养等密切相关。匙吻鲟主要摄食浮游生物, 在天然条件下, 随着环境中饵料的可得性不同, 匙吻鲟摄食的饵料种类有较大的差别, 在人工仔鱼培育中, 通常选择人工培育的生物饵料,

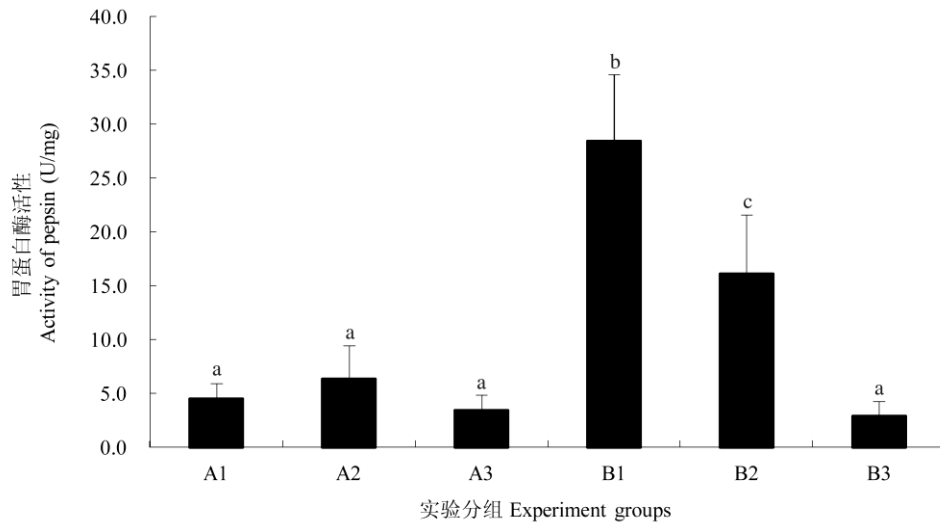


图 4 不同饵料组匙吻鲟仔鱼的胃蛋白酶活性比较 ($n = 6$)

Fig. 4 Pepsin activity comparison of paddlefish larvae in different diet groups

A1. 未强化卤虫组; A2. 蛋黄强化卤虫组; A3. 鱼油强化卤虫组; B1. 未强化桡足幼体组; B2. 蛋黄强化桡足幼体组; B3. 鱼油强化桡足幼体组。图标上方字母不同代表不同饵料组的酶活力存在显著差异 ($P < 0.05$)。

A1. Unenriched artemia nauplii; A2. Enriched artemia nauplii with yolk; A3. Enriched artemia nauplii with fish oil; B1. Unenriched copepodid larva; B2. Enriched copepodid larva with yolk; B3. Enriched copepodid larva with fish oil. Different letters on the columns mean significant difference in digestive enzyme activity under different diet groups ($P < 0.05$).

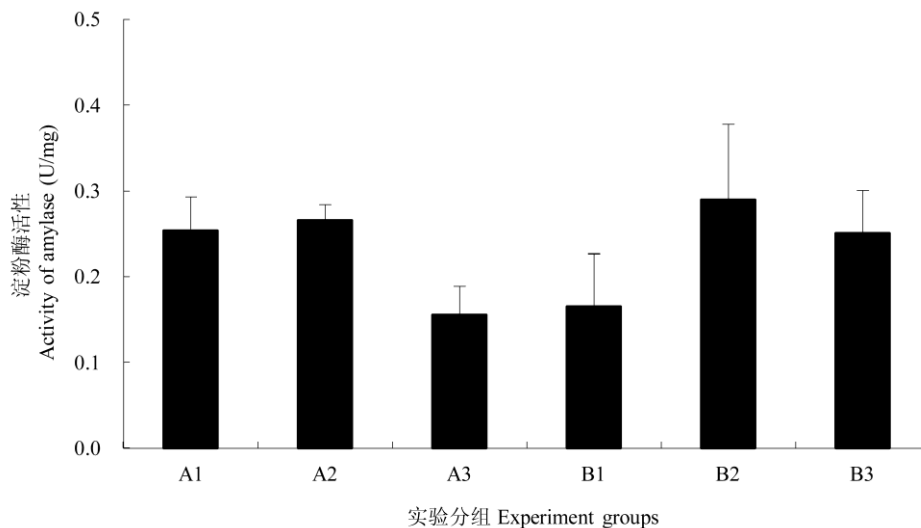


图 5 不同饵料组匙吻鲟仔鱼的淀粉酶活性比较 ($n = 6$)

Fig. 5 Amylase activity comparison of paddlefish larvae in different diet groups

A1. 未强化卤虫组; A2. 蛋黄强化卤虫组; A3. 鱼油强化卤虫组; B1. 未强化桡足幼体组; B2. 蛋黄强化桡足幼体组; B3. 鱼油强化桡足幼体组。

A1. Unenriched artemia nauplii; A2. Enriched artemia nauplii with yolk; A3. Enriched artemia nauplii with fish oil; B1. Unenriched copepodid larva; B2. Enriched copepodid larva with yolk; B3. Enriched copepodid larva with fish oil.

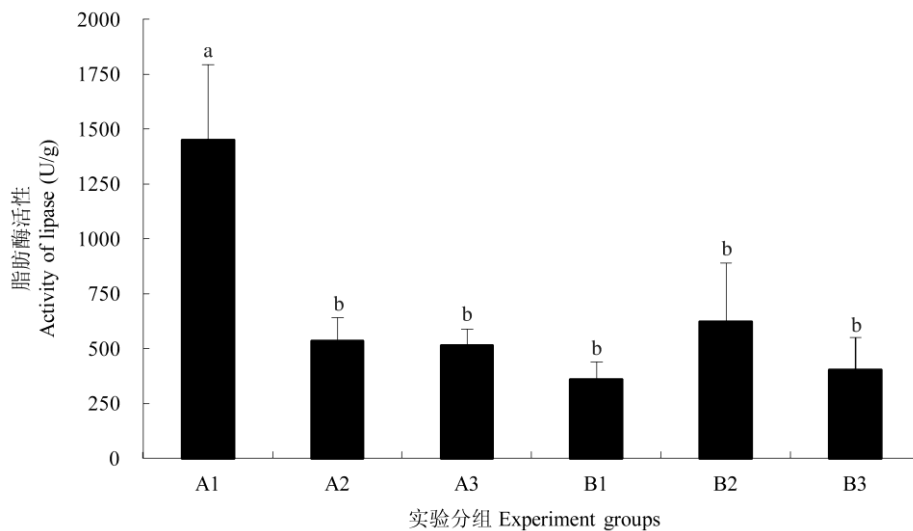


图 6 不同饵料组匙吻鲟仔鱼的脂肪酶活性比较 ($n = 6$)

Fig. 6 Lipase activity comparison of paddlefish larvae in different diet groups

A1. 未强化卤虫组; A2. 蛋黄强化卤虫组; A3. 鱼油强化卤虫组; B1. 未强化桡足幼体组; B2. 蛋黄强化桡足幼体组; B3. 鱼油强化桡足幼体组。图标上方字母不同代表不同饵料组的酶活力存在显著差异 ($P < 0.05$)。

A1. Unenriched artemia nauplii; A2. Enriched artemia nauplii with yolk; A3. Enriched artemia nauplii with fish oil; B1. Unenriched copepodid larva; B2. Enriched copepodid larva with yolk; B3. Enriched copepodid larva with fish oil. Different letters on the columns mean significant difference in digestive enzyme activity under different diet groups ($P < 0.05$).

其性能稳定、可控性和可得性都好。研究表明,不同鲟鱼摄食特性不同,开口饵料相同但饲喂效果也不同,中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 仔鱼以开口饵料为卤虫饲喂效果较好,仔鱼存活率可达 87% (曹志华等 2007),徐连伟等 (2008) 认为匙吻鲟仔鱼开口饵料以轮虫饲喂效果较好,成活率可达 78.5%,而饲喂卤虫存活率只有 34%。本研究结果显示,匙吻鲟仔鱼开口饲喂卤虫时,其存活率在 50% 左右,高于其他作者报道的饲喂卤虫效果,可能与卤虫饲喂方式及管理有关;本研究以桡足幼体作为匙吻鲟仔鱼开口饵料,仔鱼存活率最高可达 86%,且仔鱼生长发育速度于各实验组均明显较饲喂卤虫组高,也高于其他作者报道的轮虫饲喂效果,表明相对于饲喂卤虫和轮虫等饵料,匙吻鲟仔鱼的开口摄食更偏好桡足类,这一结果符合早年 Rosen 等 (1981) 报道的匙吻鲟对食物的选择结果。

匙吻鲟仔鱼口裂大,其张开高度与体高相当,饵料的大小应与其口裂相适应。本研究显示匙吻鲟仔鱼在培育初期 (8 d 内) 时,卤虫组与桡足幼体组生长发育及成活率差异较小,而后期 (8 d 后),桡足幼体组生长发育明显要高于卤虫组,且卤虫组成活率快速下降。分析认为在仔鱼培育前期,匙吻鲟仔鱼个体小,对饵料大小选择性不强,捕食效率较高,仔鱼能够摄取充足饵料满足生长发育需要。随着仔鱼个体的增长,对饵料大小选择加强,越来越偏好摄食个体大的桡足类幼体。卤虫因个体小造成捕食效率降低,摄饵能量不能满足仔鱼生长发育需要,仔鱼因而生长缓慢、成活率下降 (张雅芝等 2003)。因此,当仔鱼发育到一定阶段后,及时调整饵料,这对仔鱼的生长是有利的。我们认为匙吻鲟仔鱼培育前期卤虫无节幼体和桡足类幼体均可作为饵料来源,但后期桡足类幼体更适于作为匙吻鲟仔鱼的开口用饵料。

3.2 不同饵料对匙吻鲟仔鱼消化酶活性的影响

鱼油富含不饱和脂肪酸等成分, 使强化后的活饵营养更为全面, 可显著促进幼鱼的生长速度、存活率和应激抵抗能力等(王秀英等 2003, 楼宝等 2004), 但本文结果显示, 使用鳀鱼油强化桡足幼体, 虽然对匙吻鲟仔鱼开口驯化期的生长发育具有显著促进作用, 但仔鱼的成活率却不如未强化桡足幼体组, 这可能与多种因素有关, 如营养强化方式、强化后活饵的适口性和营养转化率等, 也可能与强化饵料及强化剂溶解污染水质, 造成其成活率降低有关(强俊等 2009)。

仔鱼在早期发育过程中, 其消化系统非常的不成熟, 主要由直管状的肠道和胰腺组成, 而在从内源性营养转变为外源性营养的重要时期, 其消化道也将发生急剧的变化, 将由直管状的简单结构发育分化为具有功能分区的复杂结构(Govoni et al. 1986)。仔鱼在卵黄期其消化系统的酶活力非常低, 主要由内源性营养维持, 随着消化系统的发育, 一些酶类(如胃蛋白酶)伴随着外源性营养的吸收开始合成(Buddington et al. 1986), 如在有名锤形石首鱼(*Atractoscion nobilis*)(Galaviz et al. 2011)和墨西哥笛鲷(*Lutjanus guttatus*)(Galaviz et al. 2012)分别在 10 日龄和 25 日龄才检测到胃蛋白酶活性, 而匙吻鲟胃腺的发育及胃蛋白酶的出现发生在 6~12 日龄, 之后活力逐渐增加(朱爱明等 2009)。

一般来讲, 饵料的营养成分是鱼体消化酶的底物, 影响消化酶的分泌与活力, 不同饵料对消化酶活力具有显著影响, 主要与鱼类消化道在不同饵料刺激下, 功能完善不同有关(苏时萍等 2005), 实验结果显示, 不同饵料对消化酶活力影响有较大差异, 应与在不同发育阶段, 仔鱼消化器官发育程度不同, 对不饵料的消化利用不同有关。

仔鱼的蛋白酶活性变化与鱼类品种、个体发育进程和摄食类型等有关。实验中饲喂未强化桡足幼体组和卵黄强化桡足幼体组 12 d 后胃

蛋白酶活性显著高于卤虫组, 这与用枝角类活饵饲喂匙吻鲟仔鱼能显著促进碱性蛋白酶活性的结果相似(崔超等 2014)。饲喂桡足幼体活饵匙吻鲟仔鱼体重、体长和存活率指标相对较高, 生长发育较好, 这也似乎验证了早期报道的仔鱼在开口期蛋白酶活性高可有效降低死亡率的推论(Lauff et al. 1984), 活饵可能是通过刺激胃肠激素推进仔鱼消化系统的发育进程, 进而促进仔鱼的生长发育(Kolkovski et al. 1997), 未强化桡足幼体组胃蛋白酶活性较高, 可能是使用营养物质强化会改变饵料的营养成分, 影响了蛋白酶的分泌与活力(强俊等 2009)。

尽管淀粉酶的活性在仔鱼发育早期就可检测到, 但其活性变化主要受仔鱼的发育阶段影响(Srichanun et al. 2012), 而受环境因素(如养殖水温和饲料蛋白质水平等)影响较小(白海文等 2012, 王洋等 2011), 本研究也显示不同饵料对匙吻鲟仔鱼的淀粉酶活性无显著性影响, 与这些报道结果类似。

一般认为, 摄食类型对鱼类脂肪酶活性的影响, 肉食性鱼类活性显著高于杂食性或草食性鱼类。研究表明, 匙吻鲟脂肪酶活性在其受精卵中即可检出, 并随日龄增加而升高(朱爱明等 2009), 配合饲料饲喂匙吻鲟幼鱼其脂肪酶活性高于活饵饲喂(崔超等 2014)。本文结果表明不同饵料饲喂 14 d 后, 各组都保持着较高的脂肪酶活性, 尤其是饲喂未强化卤虫组, 这些提示了匙吻鲟仔鱼的脂肪代谢系统的完善和可吸收微粒饲料中脂质利用能力的增加。

结合仔鱼生长发育与三种消化酶活力表达看, 蛋黄与鱼油均可作为营养物质对饵料进行强化利用, 但卤虫综合效果较差, 生长与成活率均较低, 尤其到仔鱼培育后期, 更不适于作为培育用饵料, 桡足幼体是适宜的匙吻鲟仔鱼培育饵料源, 在利用这二种营养物质进行饵料强化利用时, 虽然在实验结果中成活率较略有降低, 但仔鱼生长速度要明显较未驯化饵料饲喂时快, 在生产中可根据生产条件和生产需要

制定最佳的饵料饲喂方式。

参 考 文 献

- Buddington R K, Doroshov S I. 1986. Development of digestive secretions in white sturgeon juveniles (*Acipenser transmonstanus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 83(2): 233–238.
- Galaviz M A, Garc í-Gasca A, Drawbridge M, et al. 2011. Ontogeny of the digestive tract and enzymatic activity in white seabass, *Atractoscion nobilis*, larvae. *Aquaculture*, 318(1): 162–168.
- Galaviz M A, Garc í-Ortega A, Gisbert E, et al. 2012. Expression and activity of trypsin and pepsin during larval development of the spotted rose snapper *Lutjanus guttatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 161(1): 9–16.
- Govoni J J, Boehlert G W, Watanabe Y. 1986. The physiology of digestion in fish larvae. *Environmental Biology of Fishes*, 16(1/3): 59–77.
- Hubenova T, Zaikov A, Vasileva P. 2007. Management of paddlefish fry and juveniles in Bulgarian conditions. *Aquaculture International*, 15(3/4): 249–253.
- Ji H, Sun H T, Xiong D M. 2012. Studies on activity, distribution, and zymogram of protease, α -amylase, and lipase in the Paddlefish *Polyodon spathula*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38(3): 603–613.
- Kolkovski S, Tandler A, Izquierdo M S. 1997. Effects of live food and dietary digestive enzymes on the efficiency of microdiets for seabass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Aquaculture*, 148(4): 313–322.
- Lauff M, Hofer R. 1984. Proteolytic enzymes in fish development and the importance of dietary enzymes. *Aquaculture*, 37(4): 335–346.
- Rosen R A, Hales D C. 1981. Feeding of paddlefish, *Polyodon spathula*. *Copeia*, 1981(2): 441–455.
- Srichanun M, Tantikitti C, Vatanakul V, et al. 2012. Digestive enzyme activity during ontogenetic development and effect of live feed in green catfish larvae (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.). *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 34(3): 247–254.
- Wan Z Z, Gao T X, Zhang X M, et al. 2004. Development study on some digestive enzymes of *Takifugu rubripes* larvae and juvenile. *Journal of Ocean University of China*, 3(2): 175–178.
- Wang C F, Xie S Q, Zhu X M, et al. 2006. Effects of age and dietary protein level on digestive enzyme activity and gene expression of *Pelteobagrus fulvidraco* larvae. *Aquaculture*, 254(1/4): 554–562.
- 白海文, 张颖, 李雪, 等. 2012. 温度对施氏鲟幼鱼摄食、生长和肠道消化酶活性的影响. *中国水产科学*, 19(5): 799–805.
- 曹志华, 邓伦飞, 李萍. 2007. 不同开口饵料对中华鲟仔鱼生长及成活率的影响. *湖北农业科学*, 46(2): 278–280.
- 陈慕雁, 张秀梅, 连建华. 2005. 大菱鲆仔稚鱼期消化酶及碱性磷酸酶活性的变化. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 35(3): 483–486.
- 崔超, 禹娜, 龙丽娜, 等. 2014. 投饲频率对俄罗斯鲟幼鱼生长、消化酶活力和氨氮排泄的影响. *海洋渔业*, 36(1): 35–43.
- 崔禾, 何建湘, 郑维中. 2006. 我国鲟鱼产业现状分析及发展建议(连载一). *中国水产*, (6): 8–10.
- 丁庆秋, 万成炎, 易继舫, 等. 2011. 匙吻鲟苗种规模化培育技术. *水生生态学杂志*, 32(1): 142–144.
- 吉红, 孙海涛, 田晶晶, 等. 2012. 匙吻鲟仔稚鱼消化酶发育的研究. *水生生物学报*, 36(3): 457–465.
- 康志平, 董宏伟. 2007. 高寒地区匙吻鲟受精卵孵化及仔幼鱼培育技术. *黑龙江水产*, (3): 29–31.
- 楼宝, 史海东, 柴学军. 2004. 不同生物饵料对赤点石斑鱼稚幼鱼生长和存活率的影响. *上海水产大学学报*, 13(3): 270–273.
- 强俊, 王辉, 李瑞伟, 等. 2009. 不同饵料对奥尼罗非鱼仔稚鱼生长发育及消化酶活力的影响. *水产科学*, 28(11): 618–623.
- 苏时萍, 赵兴文. 2005. 不同饵料对史氏鲟仔鱼消化酶活性的影响. *生物学杂志*, 22(1): 27–29.
- 王秀英, 邵庆均, 黄磊. 2003. n-3HUFA 强化培养的虫虫无节幼体在日本川鲟幼苗养殖中的应用效果. *水利渔业*, 23(4): 31–33.
- 王洋, 徐奇友, 许红, 等. 2011. 温度和蛋白质水平对德国镜鲤消化酶活性的影响. *吉林农业大学学报*, 33(3): 337–343.
- 徐连伟, 邹作宇, 董宏伟, 等. 2008. 匙吻鲟仔鱼期饵料的研究. *渔业现代化*, 35(6): 29–32.
- 张雅芝, 刘卫. 2003. 不同饵料对花鲈稚鱼生长发育及存活的影响. *集美大学学报: 自然科学版*, 8(2): 123–129.
- 朱爱民, 梁银铨, 黄道明, 等. 2008. 匙吻鲟仔稚鱼摄食特性研究. *华中农业大学学报*, 27(6): 755–758.
- 朱爱民, 梁银铨, 黄道明, 等. 2009. 匙吻鲟仔稚鱼开口规格及摄食选择的研究. *水生生物学报*, 33(6): 1202–1206.