

饲料中添加不同脂肪源对半滑舌鲷亲鱼繁殖性能和仔鱼质量的影响

吕庆凯^{1,2} 梁萌青^{2*} 郑珂珂² 王新星²

(¹青岛农业大学, 266109)

(²中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘要 以精制鱼油、大豆油、橄榄油为脂肪源配制3组实验饲料,以一种商业饲料为对照组,进行连续56 d饲喂半滑舌鲷亲鱼试验,研究不同脂肪源对半滑舌鲷亲鱼繁殖性能、卵子脂肪酸组成和仔鱼质量的影响。结果显示,对照组亲鱼的相对产卵量最高,橄榄油组次之,鱼油组比橄榄油组低,豆油组最低。对照组的卵子畸形率最低为9.77%,鱼油组为14.53%,橄榄油组为19.4%,豆油组最高为35.17% ($P < 0.05$)。同时对照组与鱼油组仔鱼畸形率分别为3.34%和3.12%,橄榄油组为8.85%,豆油组为17.35% ($P < 0.05$)。对照组的孵化率也最高,为95.49%,鱼油组次之,为84.88%,橄榄油组为79.57%,豆油组最低,为74.27% ($P < 0.05$)。表明半滑舌鲷亲鱼的产卵期、卵子发育以及仔鱼的成长期都需要饲料中维持一定量n-3HUFA,特别是二十二碳六烯酸(DHA)。油酸和亚油酸(LA)在半滑舌鲷卵子的发育过程被选择性保留下来,起着重要的作用。推断出用单一的植物油或者动物油作为脂肪源都不能很好地为其提供必需脂肪酸。

关键词 半滑舌鲷 脂肪源 亲鱼 繁殖性能

中图分类号 S986.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2012)06-0044-09

Effect of different lipid source in diet on the reproductive performance and larval quality of tongue sole *Cynoglossus semilaevis*

LÜ Qing-kai^{1,2} LIANG Meng-qing^{2*} ZHENG Ke-ke² WANG Xin-xing²

(¹Qingdao Agricultural University, 266109)

(²Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT Three experimental diets with fish oil, soybean oil and olive oil as different lipid source and a commercial diet as control were used to feed broodstock of tongue sole *Cynoglossus semilaevis* for 8 weeks to investigate the effects of different fat source on spawning performance, fatty acids composition in eggs and quality of larvae. Results showed that in terms of the relative fecundity, the control was the highest, followed by olive oil treatment, fish oil treatment, and soybean oil treatment as the lowest. The abnormal egg ratio of control was the lowest followed by, fish oil treatment, olive oil treatment, and soybean oil treatment as the highest

鲆鲽类产业技术体系科研专项经费(nycytx-50-G07)资助

* 通讯作者。E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2012-01-16; 接受日期: 2012-04-16

作者简介: 吕庆凯(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事营养与饲料研究。E-mail: kai5234595@163.com, Tel: (0532)85822914

(9.77%, 14.53%, 19.4% and 17.35% respectively) ($P < 0.05$). Abnormal larva ratio among treatments was significantly different ($P < 0.05$) (3.34%, 3.12%, 8.85% and 17.35% respectively). Hatching rate of control was the highest, followed by fish oil treatment, olive oil treatment, and soybean oil treatment as the lowest ($P < 0.05$) (95.49%, 84.88%, 79.57% and 74.27% respectively). It indicated that during spawning period, a certain amount of n-3 HUFA in diet, especially docosahexenoic acid (DHA) needs to maintain egg development and larval growth. Oleic acid and linoleic acid (LA) were selectively retained and played an important roles in tongue sole egg development process. We conclude that soybean oil or olive oil or fish oil as a single lipid source of diets can not provide sufficient fatty acids for tongue sole *C. semilaevis*.

KEY WORDS *Cynoglossus semilaevis* Lipid source Broodstock
Reproductive performance

随着我国水产养殖业的快速发展,水产动物亲鱼养殖工作的重要性凸显出来。近年来有很多研究表明,亲鱼繁殖性能受到亲鱼饲料营养质量的影响,它直接影响其性腺发育、精卵质量以及苗种优劣,从而制约水产动物苗种工作的发展(马爱军等 2005; Li *et al.* 2005; Fernandez-Palacios *et al.* 1995; Furuita *et al.* 2000; Watanabe *et al.* 1984)。众所周知,水产动物生长所需能量主要来自于脂肪,脂肪为鱼体提供必需脂肪酸,而且还是脂溶性维生素的载体。饲料中脂肪含量不足可导致鱼体代谢紊乱,饲料中蛋白质利用率下降(李爱杰等 1994)。在亲鱼繁殖时期,体内脂肪中的必需脂肪酸,比如 n-3 系列高度不饱和脂肪酸以及花生四烯酸,对于提高一些海水鱼精卵质量以及仔稚鱼生长发育有不可替代的作用(Li *et al.* 2005; 李远友等 2004b、2005a; Furuita *et al.* 2000; Fernandez-Palacios *et al.* 1995)。

半滑舌鳎 *Cynoglossus semilaevis*, 俗称龙利、牛舌头,为名贵海水鱼类,是一种主要分布于我国渤海、黄海海域的大型比目鱼类。半滑舌鳎生长速度快,肉味鲜美,经济价值很高,是一种较为理想的增殖养殖鱼类(李思忠等 1995)。由于半滑舌鳎在自然海域中雄性数量少且性腺不发达,所以自身繁殖能力弱,目前自然资源非常有限(邓景耀等 1988)。近年来,我国半滑舌鳎人工繁育技术也有了长足的发展,但是关于半滑舌鳎亲鱼营养需求的研究还不多,本试验以半滑舌鳎为对象,研究了不同脂肪源对其繁殖性能及仔稚鱼质量的影响,以期半滑舌鳎人工繁育提供技术依据。

1 材料与方 法

1.1 实验用鱼及条件

试验鱼为山东海阳市黄海水产有限公司全人工亲鱼。在亲鱼性腺未明显发育前,在亲鱼池中随机选出 60 尾雌性亲鱼、20 尾雄性亲鱼,称重后随机分在 4 个水泥池中,每个水泥池中有 15 尾雌鱼、5 尾雄鱼。

试验鱼养殖池规格为 2m×2m×1.8m。培育水深 80cm,培育用水为砂滤海水。流水培育,日换水量为培育水体的 2~5 倍,连续充气,培育盐度:30~33,pH 7.6~8.2,溶解氧保持在 6mg/L 以上, NH_4^+ -N 含量 ≤ 0.2 mg/L。用遮光布和白炽灯调控光照强度和光照节律,光照时间由 8~12h 逐渐变长。实验期间水温保持在 19~25℃ 之间(柳学周等 2006)。

暂养期间各组均投喂对照组饲料,待试验鱼稳定后分别投喂 3 种实验饲料及对照组饲料。初期投喂量为体重的 2%~3%(柳学周等 2006),观察亲鱼实际摄食量后确定最终的投喂量。正式试验自 2010 年 8 月 16 日~10 月 10 日,为期 56d,实验期间每天饱食投喂两次,分别在 06:00 和 19:00。

1.2 实验饲料

亲鱼基础饲料采用鱼粉、酪蛋白、磷虾粉、高筋粉、磷脂、胆碱、磷酸二氢钙、复合维生素、复合矿物质以及

V_C制成,基础饲料配方及营养组成见表1。通过在基础饲料中加入不同种类的脂肪源配成3种实验饲料,鱼油组实验饲料添加6.5%鳀鱼油,豆油组实验饲料添加6.5%豆油,橄榄油组实验饲料添加6.5%橄榄油,制成直径为6mm颗粒,在65℃烘箱中烘干,储存在干燥通风的环境中。D组为对照组,采用成品商业饲料。

表1 实验饲料配方组成及营养组成(%)

Table 1 Diet formulation and proximate composition(%)

成分组成 Ingredients	鱼油组 Fish oil treatment	豆油组 Soybean oil treatment	橄榄油组 Olive oil treatment	对照组 Control
鱼粉 Fishmeal	65	65	65	
酪蛋白 Casein	2	2	2	
磷虾粉 Krill meal	5	5	5	
高筋粉 Wheat gluten meal	15.5	15.5	15.5	
磷脂 Phospholipid	2	2	2	
胆碱 Choline	1	1	1	
磷酸二氢钙 Monocalcium phosphate	1.5	1.5	1.5	
复合维生素 Vitamin mix	0.5	0.5	0.5	
复合矿物质 Mineral mix	0.5	0.5	0.5	
维生素C Vitamin C	0.5	0.5	0.5	
鳀鱼油 Fish oil	6.5	0	0	
大豆油 Soybean oil	0	6.5	0	
橄榄油 Olive oil	0	0	6.5	
营养成分 Proximate composition				
蛋白质 Protein	52.7	51.9	52.9	55.8
脂肪 Lipid	11.5	11.9	11.7	12.5
灰分 Ash	20.8	20.3	20.9	13.5
能量 Energy(MJ/kg)	18.3	18.9	18.5	20.3

注:复合维生素(mg/kg 或 g/kg 饲料):硫胺素,25mg;核黄素,45mg;盐酸吡哆醇,20mg;维生素 B₁₂,0.1mg;维生素 K₃,10mg;肌醇,800mg;泛酸,60mg;烟酸,200mg;叶酸,20mg;生物素,1.20mg;维生素 A,32mg;维生素 D,5mg;维生素 E,120 mg;次粉 18.67 g。复合矿物质(mg/kg 或 g/kg 饲料):氯化钠,2mg;碘化钾,0.8mg;氯化钴,50mg;硫酸铜,10mg;硫酸铁,80mg;硫酸锌,50mg;硫酸镁,1 200mg;磷酸二氢钙,3 000mg;氯化钠,100mg;沸石粉,15.51g

Note: Vitamin premix (mg/kg or g/kg diet): Thiamine 25mg, Riboflavin 45mg, Pyridoxine 20mg, Vitamin B₁₂ 0.1mg, Menadione 10mg, Inositol 800mg, Pantothenate 60mg, Tocopherol acetate 200mg, Folic acid 20mg, Biotin 1.2mg, Vitamin A 32mg, Vitamin D 5mg, Vitamin E 120 mg, Wheat flour 18.67g; Mineral premix (mg/kg or g/kg) diet: NaF 2mg; KI 0.8mg; CoCl₂ · 6H₂O 50mg; CuSO₄ · 5H₂O 10mg; FeSO₄ · 7H₂O 80g; ZnSO₄ · 7H₂O 50mg; MnSO₄ · 4H₂O 1 200 mg; Ca (H₂PO₄)₂ · H₂O 3 000g; NaCl 100g; Mordenzeo 15.51g

1.3 孵化以及样品收集

每日采卵1~2次,统计每批产卵量包括沉卵量和上浮卵量,待产卵期过后计算总产卵量,并且每组随机取10粒卵子测定卵径。将刚产出的卵子放入2 000 ml的量筒,加入2/3海水后静置20 min,上浮卵和沉性卵自然分离。于产卵盛期,在所有产卵亲鱼中共取上浮卵50 g,贮存于-20℃冰箱中用于卵子的脂肪酸分析。

将人工催产的卵子人工受精后加入海水静置10~15 min待卵子上下分层后,取上浮卵入大水泥池中孵化网箱中孵化。孵化时采用静水培育,24 h连续充气,水温保持在22~24℃,盐度30~33,pH值8.0~8.2,DO 5 mg/L以上,总氨氮[NH₄⁺]≤0.1 mg/L,孵化期间每12 h吸底1次,清除沉卵,32~34 h后胚胎孵化出

膜(柳学周等 2005)。

在受精卵发育 30h 时,由各个孵化网箱中取 100ml 受精卵布入 4 个圆形玻璃缸中进行孵化。圆形玻璃缸直径 180cm、高 125cm,孵化时保持水深 100cm,微充气,经过 3~4h 后仔鱼全部破膜而出,测定各组孵化率,然后随机取 20 尾初孵仔鱼测定其全长,并观察初孵仔鱼是否正常,测定初孵仔鱼畸形率。在每一组中选取 1 000 尾正常初孵仔鱼放入 3 个塑料桶,保持培育条件一致,用来测定各组仔鱼 7d 成活率。在培育仔鱼过程中每 2d 取 20 尾正常仔鱼测定全长。另外由每组选取 100 尾正常初孵仔鱼放入 3 个塑料桶中,加水 5L,每天换水 1/3,不加温,不投喂,测定每天死亡数,直到所有仔鱼全部死亡,计算 SAI(生存活力指数)值(Mohammad *et al.* 2011)。

1.4 分析方法

1.4.1 饲料常规分析

饲料样品在 105℃ 烘干至恒重,通过失重法测定干物质含量,然后进行生化测定。粗蛋白采用凯氏定氮法(VELP, UDK142 automatic distillation unit);粗脂肪采用索氏抽提法,以石油醚为抽提液进行测定(丹麦 FOSS 脂肪测定仪 SOXTEC 2050);灰分在马福炉中 550℃ 燃烧 3h,失重法测定。能量的测定方法采用美国 PARR 氧弹量热仪(PARR 6100)。

1.4.2 脂肪酸分析

使用 Agilent 7890A 型气相色谱仪分析测定脂肪酸的组成和含量。色谱柱为 DB-FFAP(30m×0.32mm×0.25μm)毛细管色谱柱,分析采用程序升温控制。70℃ 初始化 3 min,然后以 3℃/min 的速度提升到 220℃,保持 33min。检测器的温度设置为 280℃,样品进样口温度 220℃。根据标准脂肪酸(购自 Supelco, Lot No. LA-98232)保留时间确定样品脂肪酸种类,峰面积归一法进行定量测定。结果表示为每种脂肪酸分别占总脂肪酸的百分比。

1.5 计算公式及数据分析

相对产卵量 = 总产卵量 / 亲鱼体重

卵子畸形率 = 畸形卵子数 / 卵子总数 × 100%

孵化率 = 初孵仔鱼数 / 受精卵数 × 100%

7d 成活率 = 7 龄仔鱼存活数 / 仔鱼总数 × 100%

仔鱼畸形率 = 畸形仔鱼数 / 仔鱼总数 × 100%

$$SAI(\text{生存活力指数 Survival Activity Index}) = \sum_{i=1}^k (N - h_i) \times i / N$$

N 为实验开始时的仔鱼数; h_i 为第 i 天的仔鱼死亡累积数量, k 为生存尾数为 0 时的天数。

数据以平均值±标准差表示,采用 SPSS 16.0 软件包处理数据,做单因素方差分析(One-Way ANOVA),差异显著后进行 Tukey 多重比较,显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 不同脂肪源对半滑舌鲷亲鱼繁殖性能的影响

表 2 为不同脂肪源对半滑舌鲷亲鱼产卵量的影响,对照组相对产卵量最高为 1.29×10^5 粒/kg,橄榄油组次之,为 1.19×10^5 粒/kg,豆油组最低,为 7.86×10^4 粒/kg。鱼油组位于橄榄油组与豆油组之间,为 1.01×10^5 粒/kg。

实验中各个实验组亲鱼对饲料的适应性很好,但由于倒鱼过程中对亲鱼的刺激,而使亲鱼出现较大应激反应,出现死亡情况,实验结束时鱼油组与豆油组亲鱼存活率为 80%,橄榄油组与对照组亲鱼存活率为 86.7%。

表2 半滑舌鲷亲鱼产卵情况比较

Table 2 The spawning performance of *Cynoglossus semilaevis* female broodstock

	鱼油组 Fish oil treatment	豆油组 Soybean oil treatment	橄榄油组 Olive oil treatment	对照组 Control
亲鱼数(尾) Number	4	6	7	5
成活率(%) Survival rate	80%	80%	86.7%	86.7%
相对产卵量(10^5 粒/kg) Relative fecundity	1.01 ± 0.14^b	0.79 ± 0.10^c	1.19 ± 0.12^{ab}	1.29 ± 0.13^a

注:同一行中数据中具有不同字母的表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P < 0.05$)

2.2 不同脂肪源对半滑舌鲷卵及仔鱼质量的影响

表3是不同脂肪源对各实验组卵子和仔鱼质量的影响结果。浮卵率最高的是橄榄油组,达54.6%,对照组和鱼油组次之,两组间无显著性差异($P > 0.05$),分别为38.46%和39.33%,最低的是豆油组(35.15%)。豆油组的卵子畸形率最高为35.17%,最低的组为对照组(9.77%),鱼油组和橄榄油组分别为14.53%和19.4%($P < 0.05$)。鱼油组和对照组的卵径之间无显著性差异($P > 0.05$),橄榄油组和豆油组的卵径之间无显著性差异($P > 0.05$),而鱼油组显著高于豆油组($P < 0.05$)。孵化率最高的是对照组,4个实验组之间存在显著性差异($P < 0.05$),但是各组孵化率都保持在70%以上。对照组仔鱼的7d成活率最高,为67.34%,橄榄油组次之,为58.48%,鱼油组为45.57%,豆油组最低,为34.85%,与各个组间差异显著($P < 0.05$)。仔鱼畸形率最高的为豆油组17.35%,橄榄油组次之,为8.85%,最低的是鱼油组且与对照组无显著性差异($P > 0.05$)。初孵仔鱼全长最长的为对照组(2.76mm),鱼油组为2.64mm,二者间无显著性差异($P > 0.05$),豆油组和橄榄油组初孵仔鱼全长分别为2.56和2.50mm,与鱼油组无显著性差异($P > 0.05$),显著低于对照组($P < 0.05$)。SAI指数最高的为对照组,鱼油组次之,豆油组和橄榄油组比鱼油组低且二者之间无显著差异($P > 0.05$)。亲鱼经过50d的培育后表现出的繁殖性能最佳的是对照组,其次是鱼油组和橄榄油组,表现最差的是豆油组。

表3 不同脂肪源对半滑舌鲷卵和仔鱼质量的影响

Table 3 Effect of different lipid source on the quality of egg and larvae of tongue sole

	鱼油组 Fish oil treatment	豆油组 Soybean oil treatment	橄榄油组 Olive oil treatment	对照组 Control
浮卵率 Buoyant egg ratio (%)	39.34 ± 0.93^b	35.15 ± 0.97^c	54.60 ± 0.61^a	38.46 ± 0.54^b
卵子畸形率 Abnormal egg ratio (%)	14.53 ± 0.92^c	35.17 ± 1.48^a	19.4 ± 0.56^b	9.77 ± 1.01^d
卵径 Egg diameter(mm)	1.28 ± 0.03^a	1.23 ± 0.01^b	1.25 ± 0.05^b	1.31 ± 0.01^a
孵化率 Hatching rate (%)	84.88 ± 1.27^b	74.27 ± 0.62^d	79.57 ± 0.81^c	95.49 ± 0.68^a
7d成活率 Survival rate at 7dph (%)	58.48 ± 1.11^b	34.85 ± 0.56^d	45.57 ± 0.86^c	67.34 ± 0.73^a
仔鱼畸形率 Abnormal larva ratio (%)	3.12 ± 0.29^c	17.35 ± 0.25^a	8.85 ± 0.36^b	3.34 ± 0.15^c
初孵仔鱼全长 Larval length(mm)	2.64 ± 0.16^{ab}	2.56 ± 0.15^b	2.50 ± 0.10^b	2.76 ± 0.14^a
17日龄仔鱼全长 Larval length at 17 dph(mm)	8.23 ± 0.67^a	6.23 ± 0.23^b	7.63 ± 0.56^b	9.09 ± 1.06^a
生存活力指数 SAI	24.28 ± 2.14^b	14.99 ± 0.58^c	16.56 ± 1.55^c	32.43 ± 1.55^a

注:同一行中数据中具有不同字母的表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Values with different superscripts in the same row are significantly different ($P < 0.05$)

2.3 半滑舌鲷浮性卵脂肪酸分析

表4和表5分别为半滑舌鲷浮性卵脂肪酸组成和实验饲料的脂肪酸组成。由表4可看出,豆油组和橄榄油组的卵子中,二十二碳六烯酸(DHA)与二十碳五烯酸(EPA)的含量相比鱼油组与对照组低,豆油组亲鱼所产卵子DHA含量最低,为占脂肪酸总量的1.57%。通过表4和表5可看出,饲料中的n-3HUFA含量高则卵

子中 n-3HUFA 含量就高,反之则低。亚油酸在豆油组卵子含量显著高于其他各组,油酸在橄榄油中含量显著高于其他各组,卵子中亚油酸和亚麻酸还表现出了随着饲料中的含量变化而变化。表 5 显示鱼油组和对照组饲料中 n-3HUFA 和 n-3PUFA 含量高,豆油组与橄榄油组中的含量较前者低。但是豆油组中亚油酸与亚麻酸含量高于其他各组,而橄榄油组中油酸含量也高于其他各组。

表 4 半滑舌鳎浮性卵脂肪酸组成(占脂肪酸总量%)

Table 4 Fatty acid composition of buoyant eggs in tongue sole (%of total fatty acids)

脂肪酸 Fatty acid	鱼油组 Fish oil treatment	豆油组 Soybean oil treatment	橄榄油组 Olive oil treatment	对照组 Control
饱和脂肪酸 Total saturated fatty acid	31.06	26.87	26.60	30.26
单不饱和脂肪酸 Total monounsaturated fatty acid	32.57	30.11	42.22	34.33
油酸 18:1n-9	20.58	20.44	32.68	21.70
亚油酸 18:2n-6	7.87	22.15	9.13	6.88
花生四烯酸 20:4n-6	1.61	1.22	1.39	1.43
n-6PUFA 总量 Total n-6PUFA	9.94	23.87	10.99	8.85
亚麻酸 18:3n-3	0.91	2.27	1.02	0.89
二十碳五烯酸 20:5n-3	4.78	1.57	2.61	3.92
二十二碳六烯酸 22:6n-3	18.98	14.30	15.30	20.11
n-3PUFA 总量 Total n-3PUFA	25.74	18.59	19.65	25.86
n-3HUFA 总量 Total n-3HUFA	23.76	15.86	17.91	24.03
n-3/n-6PUFA	2.59	0.78	1.79	2.92
EPA/DHA	0.25	0.11	0.17	0.19
EPA/AA	2.97	1.29	1.88	2.74

注:n-3PUFA:18:3n-3,16:4n-3,18:4n-3,20:5n-3,22:6n-3;n-3HUFA:20:5n-3,22:6n-3;n-6PUFA:C18:2n-6,C20:4n-6

表 5 实验饲料的脂肪酸组成(占脂肪酸总量%)

Table 5 Fatty acids composition of experimental diets(%of total fatty acids)

脂肪酸 Fatty acid	鱼油组 Fish oil treatment	豆油组 Soybean oil treatment	橄榄油组 Olive oil treatment	对照组 Control
饱和脂肪酸 Total saturated fatty acid	38.37	29.96	28.76	32.50
单不饱和脂肪酸 Total monounsaturated fatty acid	24.17	20.43	47.74	34.45
油酸 C18:1n-9	12.28	19.08	47.60	16.77
亚油酸 C18:2n-6	5.55	30.02	7.16	3.88
花生四烯酸 C20:4n-6	1.86	1.06	1.15	1.29
n-6PUFA 总量 Total n-6PUFA	7.95	31.14	8.67	5.61
亚麻酸 C18:3n-3	1.30	3.98	1.02	0.93
二十碳五烯酸 C20:5n-3	12.83	2.37	2.60	7.58
二十二碳六烯酸 C22:6n-3	10.96	5.78	6.23	15.58
n-3PUFA 总量 Total n-3PUFA	28.48	12.70	10.58	26.50
n-3HUFA 总量 Total n-3HUFA	23.79	8.15	8.83	23.16
n-3/n-6PUFA	3.58	0.40	1.22	4.73
EPA/DHA	1.17	0.41	0.42	0.49
EPA/AA	6.90	2.24	2.28	5.88

注:n-3PUFA:18:3n-3,16:4n-3,18:4n-3,20:5n-3,22:6n-3;n-3HUFA:20:5n-3,22:6n-3;n-6PUFA:C18:2n-6,C20:4n-6

3 讨论

3.1 不同脂肪源对半滑舌鲷繁殖性能的影响

总体来看, n-3HUFA 含量高的鱼油组与对照组的卵子孵化率、卵子畸形率、初孵仔鱼畸形率、初孵仔鱼全长以及仔鱼的 SAI 值等比 n-3HUFA 含量低的豆油组与橄榄油组好, 表明饲料中高 n-3HUFA 可能对半滑舌鲷亲鱼繁殖有促进作用, 这也与之前国内外的研究结论一致(Fernandez-Palacios *et al.* 1995; Furuita *et al.* 2000; Li *et al.* 2005; 马爱军等 2005)。有研究指出, 海水鱼和淡水鱼不同, 其不能延长短链脂肪酸, 因此 n-3HUFA 和 n-6HUFA 在海水鱼亲鱼营养中占有重要地位(Geigden *et al.* 1997、1995)。表 3 显示, 豆油组的卵子畸形率最高, 对照组最低, 而且这两组的卵子卵径也显著大于豆油组和橄榄油组($P < 0.05$)。另外, 对照组和鱼油组的孵化率均高于豆油组和橄榄油组, 结合表 5 中各组饲料脂肪酸分析, 可以看出豆油组和橄榄油组的 n-3HUFA 含量分别为脂肪酸总量的 11.64% 和 9.5%, 鱼油组和对照组的 n-3HUFA 含量分别为 23.79% 和 23.16%, 说明饲料中 n-3HUFA 可改善卵子的质量。与此结论相似, 把花尾胡椒鲷 *Plectorhynchus cinctus* 亲鱼饲料中的 n-3HUFA 含量从 1.16% 提高到 3.15% 后, 形态正常卵的百分比从 70.80% 显著提高到 78.54%, 未受精卵的百分比则从 1.89% 下降到 0.85% (Li *et al.* 2005)。给大菱鲆 *Scophthalmus maximus* 亲鱼投喂高蛋白和高水平 n-3HUFA 的饲料, 所产卵子卵径大, 受精后上浮率、孵化率高, 仔稚鱼的存活力强(马爱军等 2005)。

3.2 不同脂肪源对卵子及仔鱼质量的影响

本研究发现浮卵率最高的是橄榄油组, 对照组和鱼油组次之, 且两组之间无显著性差异, 最低的是豆油组(表 3); 对照组的相对产卵量最高, 橄榄油组次之, 鱼油组比橄榄油组略低, 豆油组最低(表 2)。这些现象和以前一些研究的结论有些不同。例如, 当虹鳟、真鲷、牙鲆、金头鲷中的 n-3HUFA 缺乏或者含量不足时, 其形态正常卵量、浮卵率、孵化率、孵化后 3d 仔鱼的存活率都显著下降(Fernandez-Palacios *et al.* 1995; Furuita *et al.* 2000; Watanabe *et al.* 1984)。大菱鲆亲鱼在投喂高蛋白和高水平 n-3HUFA 情况下亲鱼体重增大、产卵量高(马爱军等 2005)。作者推测橄榄油组浮卵率高和相对产卵量高, 或许是由于橄榄油组饲料中油酸在亲鱼繁殖期间起到的某种生理作用, 也可能是由于高水平油酸所造成单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸之间的比例与其他组不同所致, 而造成这一现象的真正原因有待进一步研究。

豆油组和橄榄油组以及对照组的饲料中 EPA/DHA 接近(表 5), 鱼油组的 EPA/DHA 最高, 为 1.17。鱼油组和对照组的 EPA/AA 较高, 为 6.90 和 5.88, 要高于两个植物油组, 豆油组和橄榄油组 EPA/AA 接近; 对照组与鱼油组的浮性卵中 EPA/AA 也要高于其他两组。有研究显示, 在 PUFA 代谢过程中存在相互竞争作用, 主要是 DHA 和 EPA 与 AA 的竞争, 尤其是 EPA 与 AA 之间的竞争, 以致这 3 种 HUFA 的比例是否适宜会直接影响海水仔稚鱼视网膜和脑的发育(许友卿等 2007)。本研究中鱼油组和对照组仔鱼畸形率较豆油组和橄榄油组显著降低, 也说明鱼油组和豆油组中 HUFA 比例比较适宜。豆油组饲料 n-3PUFA/n-6PUFA 仅为 0.41, 为最低, 橄榄油组饲料中 n-3PUFA/n-6PUFA 为 1.22, 而鱼油组和对照组饲料中 n-3PUFA/n-6PUFA 比较高, 为 3.58 和 4.73; 浮性卵中 n-3PUFA/n-6PUFA 对照组和鱼油组也是最高的(表 4)。之前有研究指出 n-3 与 n-6 脂肪酸比例的重要性, 并指出饲料脂肪酸中某种组分含量的改变会影响其他组分在饲料中的作用(Sargent *et al.* 1995), 进而可以影响到饲料中脂肪酸的总体作用。因此, 推测上述现象也可能与饲料中的 n-3 和 n-6 脂肪酸比例有着某种关系。

海水鱼类的胚胎发育以及仔鱼的质量同样受到亲鱼饲料中脂肪酸的组成和含量的影响。必需脂肪酸, 特别是 n-3 系列作为生物膜的磷脂成分, 由于膜的流动性, 对维持其细胞结构以及功能的完整性起重要作用(Bell *et al.* 1986)。在胚胎和仔鱼体内神经组织尤其是眼占较大比例, 而 DHA 对于脑和眼等神经细胞膜结构功能具有相当重要的作用(Sargent *et al.* 1995)。本研究中对照组初孵仔鱼全长最大, 两个植物油组初孵仔鱼全长小; 仔鱼畸形率最高的是 n-3HUFA 最缺乏的豆油组; 初孵仔鱼耐饥饿低温指数 SAI 最高的为对照组, 其

次为鱼油组,豆油组和橄榄油组较低;仔鱼的 7d 成活率最高的为对照组,鱼油组次之,最低的为豆油组($P > 0.05$)(表 3)。DHA 含量最高的为对照组,第二为鱼油组,橄榄油组 DHA 含量最低(表 5)。由此可以看出, n-3HUFA 特别是 DHA 对提高半滑舌鲷仔鱼质量的重要性。相似的结果在点篮子鱼 *Siganus guttatus* 与牙鲆 *Paralichthys olivaceus* 亲鱼的研究中也有过报道,在点篮子鱼亲鱼饲料中粗脂肪含量由 12% 增加到 18% 后,初孵仔鱼个体大,14 日龄仔鱼成活率高,增加 n-3HUFA 特别是 DHA 含量,可使仔鱼重量增加,耐渗透能力增强,成活率提高(Aby-ayad *et al.* 1997)。牙鲆仔鱼正常率与孵化后 3d 成活率以及仔鱼的 SAI 指数与饲料中 n-3HUFA 含量有关,SAI 随着 n-3HUFA 含量的增加出现明显改善,但是过量的 n-3HUFA 也可能对鱼苗存活产生负面影响(Furuita *et al.* 2000)。在实验结束时测得 17 日龄仔鱼全长看出鱼油组和对照组的值较大两组间无显著性差异($P > 0.05$),但是与豆油组和橄榄油组有显著性差异($P < 0.05$),而且豆油组和橄榄油组两者间无显著性差异($P > 0.05$)。对照组 17 日龄仔鱼全长值最大为 9.09mm,这个数值与马爱军等(2005a)中 16 日龄仔鱼全长已达 11.20 ± 1.582 mm 数据有差异(马爱军等 2005b),作者认为是因为本实验中仔鱼培养饵料、环境、温度等条件不同所造成的。

卵子中的油酸、亚油酸(LA)、亚麻酸(LNA)、二十二碳六烯酸(DHA)的含量随着饲料中这些脂肪酸含量变化而变化,呈现出饲料中含量高则卵子中含量也高、饲料中含量低则卵子中含量也低的现象。在一些其他鱼类的研究结果中也表明,卵子中的脂肪酸构成可以反映亲鱼饲料中的脂肪酸构成(Furuita *et al.* 2000; Fernandez-Palacios *et al.* 1995)。浮性卵中的 DHA 含量变化幅度比 EPA 和 AA 大,推测 DHA 对卵子的质量起着重要作用,而 n-3PUFA 似乎比 n-6PUFA 的作用更大,因为在 n-3PUFA 含量缺乏的情况下其含量在浮性卵中的增长幅度很大,而 n-6PUFA 含量相对稳定。观察饲料和卵子中的 LA 含量变化发现饲料中 LA 含量除豆油组外均低于卵子中 LA 含量,相似的情况也存在于 DHA 的变化中,各组饲料中的 DHA 含量均低于卵子中 DHA 含量,而饲料中的 EPA 与 AA 含量均高于卵子中的含量。这说明在卵子发育过程中选择性保留了 LA 以及 DHA,而观察油酸的变化发现,除橄榄油组饲料中油酸含量高于卵子外,其他各组饲料中油酸含量均低于卵子中含量,同样呈现出饲料中脂肪酸组成和含量影响着卵子中脂肪酸组成和含量的变化。推测这 3 种脂肪酸在胚胎发育以及仔鱼的生长发育过程中起着重要的作用。在卵黄形成期的后 3 个月,投喂缺乏 n-3HUFA 的饲料喂养虹鳟 *Salmo gairdneri*,其卵中的 DHA 含量虽然只受到少许影响,但 EPA 含量则下降 50%(Fremont *et al.* 1984),同样说明了 DHA 被卵子选择性保留下来,从而在以后的发育过程中发挥重要作用。在研究真鲷 *Pagrus major* 幼鱼 EPA 和 DHA 需求量时,发现随着 EPA 在饵料中的添加,幼鱼的成活率与增重率都有所增加,但只添加 EPA 并不能满足幼鱼的生长需要;饲料中只添加 DHA 亦能使幼鱼的成活率及增重率有所提高,DHA 比 EPA 更有营养价值(高淳仁等 1999)。

本研究结果显示,半滑舌鲷亲鱼饲料中 n-3HUFA 要保持一定含量可对亲鱼的繁殖性能起到积极的作用。单一的植物油作为脂肪源不能为其提供全面的必需脂肪酸。可以进一步研究不同比例搭配的动物油和植物油共同作为脂肪源对繁殖的影响。

参 考 文 献

- 马爱军,柳学周,徐永江,梁友,庄志猛,翟介明,李波. 2005a. 半滑舌鲷早期发育阶段的摄食特性及生长研究. 海洋与湖沼,36(2):130~136
- 马爱军,陈超,雷霖霖,陈四清,庄志猛. 2005b. 饲料蛋白质含量和 n-3HUFA 水平对大菱鲆亲鱼产卵的影响. 海洋水产研究,26(1):7~12
- 邓景耀,孟田湘,任胜民,邱显寅,朱建元. 1988. 渤海鱼类种类组成及数量分布. 海洋水产研究,9:37~38
- 李爱杰. 水产动物营养与饲料学. 1994. 北京:中国农业出版社,38~46
- 李远友,陈伟洲,孙泽伟,陈洁辉,吴克刚. 2004a. 饲料中 n-3HUFA 含量对花尾胡椒鲷亲鱼的生殖性能及血浆性类固醇激素水平季节变化的影响. 动物学研究,25(3):249~255
- 李远友,孙泽伟,陈伟洲,陈洁辉,吴克刚. 2004b. 亲鱼营养状况对花尾胡椒鲷仔鱼存活率的影响. 汕头大学学报(自然科学版),19(4):33~37
- 李思忠,王惠民. 1995. 中国动物志硬骨鱼纲 鲷形目. 北京:科学出版社,68~334
- 许友卿,张海柱,丁兆坤. 2007. 二十二碳六烯酸和二十碳五烯酸代谢研究. 水产科学,26(10):580~583
- 柳学周,庄志猛,马爱军,陈四清,孙中之,梁友,徐永江. 2005. 半滑舌鲷繁殖生物学及繁育技术研究. 海洋水产研究,26(5):7~14
- 柳学周,孙中之,马爱军,梁友,庄志猛,兰功刚. 2006. 半滑舌鲷亲鱼培育及采卵技术研究. 海洋水产研究,27(2):26~27

- 高淳仁,雷霖. 1999. 真鲷幼鱼 EPA、DHA 需求量研究. 海洋水产研究, 20(1):25~28
- Aby-ayad, S. M. E. A., Melard, C., and Kestemont, P. 1997. Effect of fatty acids in Eurasian perch broodstock diet on egg fatty acid composition and larvae stress resistance. *Aquaculture International*, 5(6): 1 023~1 028
- Bell, M. V., Henderson, R. J., and Sargent, J. R. 1986. The role of polyunsaturated fatty acids in fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 83B:711~799
- Fremont, L., Leger, C., Petridou, B. *et al.* 1984. Effects of a polyunsaturated fatty acid deficient diet on profiles of serum vitellogenin and lipoprotein in vitellogenic trout (*Salmo gairdneri*). *Lipids*, 19(7):522~528
- Furuuta, H., Tanaka, H., Yamamoto, T. *et al.* 2000. Effects of n-3HUFA levels in broodstock diet on the reproductive performance and egg and larval quality of the Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 187(3-4):387~398
- Fernandez-Palacios, H., Izquierdo, M. S., Robaina, L. *et al.* 1995. Effect of n-3HUFA level in broodstock diets on egg quality of gilthead sea-bream *Sparus aurata* L. *Aquaculture*, 132(3-4):325~337
- Genrden, I., Radunz-Neto, J., and Bergot, P. 1995. Essentiality of dietary phospholipids for carp (*Cyprinus carpio* L.) larvae. *Aquaculture*, 131(3-4):303~314
- Genrden, I., Couttean, P., and Sorgeloos, P. 1997. Effect of a dietary phospholipid supplementation on growth and fatty acid composition of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and turbot (*Scophthalmus maximus* L.) juveniles from weaning onwards. *Fish Physiology and Biochemistry*, 16:259~272
- Li, Y. Y., Chen, W. Z., Sun, Z. W. *et al.* 2005. Effects of n-3 HUFA content in broodstock diet on spawning performance and fatty acid composition of eggs and larvae in *Plectorhynchus cinctus*. *Aquaculture*, 245(1-4):263~272
- Mohammad, Z., Preeta, K., Jasem, G., Marammazi, Vahid, Y., Ahmad, S., and Mahsa, H. 2011. Effects of dietary n-3 HUFA concentrations on spawning performance and fatty acids composition of broodstock, eggs and larvae in yellowfin sea bream, *Acanthopagrus latus*. *Aquaculture*, 310(3-4):388~394
- Sargent, J. R. Origins and function of egg lipids. In: N. R. Bromage, R. J. Roberts (Eds). 1995. *Broodstock Management and Egg and Larval quality*. Blackwell, Oxford, 353~372
- Watanabe, T., Takeuchi, T., Saito, M. *et al.* 1984. Effect of low protein-high calorie or essential fatty acid deficiency diet on reproduction of rainbow trout. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50(7):1 207~1 215

《渔业科学进展》编辑部网上投稿启事

为充分利用网络资源,提高编辑办公和期刊出版效率,《渔业科学进展》编辑部已从2010年1月开始采用期刊网络化办公系统。该系统使投稿、审稿和编辑工作都在同一个网络平台上完成,可大大节省通讯时间,并规范编辑工作流程。同时,网络投稿将以更加友好的界面服务广大作者,方便作者与编审之间的沟通,为您提供易查、易用、更加方便快捷的服务。

敬请作者访问黄海水产研究所网站(<http://www.ysfri.ac.cn>)的“《渔业科学进展》期刊网上投稿系统”。投稿程序请参看《渔业科学进展》网络化稿件处理系统中的投稿指南。

如有疑问,请致电 0532-85833580 陈严老师或 0532-85800117 王建坤老师咨询。也可发邮件到《渔业科学进展》编辑部咨询, E-mail: chenyan@ysfri.ac.cn。

《渔业科学进展》编辑部

2012年12月20日