

饲料中添加南极磷虾粉对半滑舌鳎 (*Cynoglossus semilaevis*) 雄性亲鱼繁殖性能 及抗氧化功能的影响*

赵敏^{1,2} 梁萌青¹ 郑珂珂¹ 徐后国¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;

2. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

摘要 饲料中添加 0、10%、20% 的南极磷虾粉, 配制 3 组(对照组 K-0、K-10、K-20)等氮等脂的实验饲料, 在室内流水养殖系统进行为期 90 d 的养殖实验, 探讨南极磷虾粉对半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*) 雄鱼繁殖性能和抗氧化能力的影响。结果显示, 饲料中添加南极磷虾粉对半滑舌鳎雄鱼肝体比、性体比、精液浓度、睾酮含量均无显著性影响($P>0.05$); K-10 组与 K-20 组精巢中超氧化物歧化酶(SOD)活性无显著性差异($P>0.05$), 但均显著高于对照组($P<0.05$), K-10 组与 K-20 组精巢、血清和肝脏中的丙二醛(MDA)含量无显著性差异($P>0.05$), 但均显著低于对照组($P<0.05$)。在本实验条件下, 饲料中添加南极磷虾粉不能显著提高半滑舌鳎雄鱼的繁殖性能($P>0.05$), 但能显著提高雄鱼的抗氧化功能($P<0.05$)。

关键词 南极磷虾粉; 半滑舌鳎; 雄性亲鱼; 繁殖性能; 抗氧化功能

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)06-0049-07

南极磷虾(Antarctic krill)广泛分布于南极海域, 其生殖能力极强, 是全球单一物种蕴藏量最大的生物资源(Ross *et al.*, 1986)。南极磷虾直接干燥获得的南极磷虾粉是一种优质蛋白源, 富含不饱和脂肪酸、磷脂和虾青素。其中, 不饱和脂肪酸是海水鱼的必需脂肪酸(Li *et al.*, 2005), 磷脂是仔鱼生长发育过程中最先分解代谢的营养物质(Rainuzzo *et al.*, 1997), 虾青素的抗氧化活性远远超过现有的其他抗氧化剂(Britton *et al.*, 1995), 它能够保护大黄鱼(*Larimichthys crocea*)冷冻损伤的精细胞(陈海敏等, 2012), 从而提高精子活力(Lignell *et al.*, 2002), 并且能够显著提高鱼类繁殖性能(Vassallo-Agius *et al.*, 2001)。另外, 南极磷虾粉中的

牛磺酸和风味氨基酸能刺激鱼类摄食、促进鱼类生长, 是一种良好的诱食剂(赵红月等, 2010; 陈超等, 2012)。

半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)俗称牛舌头, 生长迅速, 出肉率高, 是我国北方传统的名贵鱼类(李思忠等, 1995)。在自然海域中, 半滑舌鳎雌雄个体差异大, 雄鱼数量少且性腺不发达, 所以自身繁殖能力很弱(庄志猛, 2006)¹⁾。亲鱼饲料的营养质量不仅影响其繁殖性能, 还对卵子及仔稚鱼质量具有重要影响(Izquierdo *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2005; 常青等, 2002), 而半滑舌鳎亲鱼营养需求的研究工作才刚刚起步(赵敏等, 2015; Liang *et al.*, 2014; 肖登元等, 2014; 吕庆凯等, 2013), 实际生产中仍然主要以冰鲜杂鱼或

* 鲆鲽类产业技术体系研究专项(CARS-50-G08)和农业部“南极海洋生物资源开发利用”项目共同资助。赵敏, E-mail: zhaomin452@126.com

① 通讯作者: 梁萌青, 研究员, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2015-09-30, 收修改稿日期: 2015-11-23

1) 庄志猛. 半滑舌鳎早期发育生物学与种质资源研究. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2006

养成阶段的配合饲料来投喂亲鱼, 还没有半滑舌鳎亲鱼的特制饵料。

本研究是在基础饲料中添加不同水平的南极磷虾粉, 探究南极磷虾粉对半滑舌鳎亲鱼繁殖性能及抗氧化功能的影响, 以期在半滑舌鳎亲鱼的人工配合饲料的研发积累资料。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

实验饲料配方及营养组成如表 1 所示, 以鱼粉、酪蛋白、南极磷虾粉和高筋粉为蛋白源, 以鱼油和豆油为脂肪源, 在基础饲料中添加 0%、10%、20% 的南极磷虾粉配置 3 种等氮、等脂的实验饲料(对照组 K-0、K-10、K-20), 调节鱼粉和高筋粉比例, 保证蛋白质含量一致, 调节鱼油比例, 保证脂肪含量一致, 低温烘干后冷冻保存备用。南极磷虾粉购自辽宁远洋渔业有限公司, 鱼粉购自七好生物科技有限公司。

1.2 实验动物与饲养管理

本实验在山东海阳市黄海水产有限公司进行, 实验鱼为人工养殖的半滑舌鳎亲鱼。从亲鱼池中随机挑选性腺未发育的 3 龄雌鱼(1.5 kg 左右)108 尾、雄鱼(0.4–0.5 kg) 153 尾, 随机分配到 3×3 个直径为 230 cm、高为 100 cm 的养殖桶中, 每桶 12 尾雌鱼、17 尾雄鱼, 实验从 2014 年 6 月 1 日–9 月 1 日, 持续 90 d。

参照柳学周等(2006)的方法, 采用流水培育, 水深为 50 cm, 日换水量为养殖水体的 4–5 倍, 溶氧含量保持在 6 mg/L 以上, 水温控制在 20–25℃。使用白炽灯调控光照强度, 光照时间由 8 h 逐渐延长至 12 h, 每周增加 0.5 h。用对照组饲料暂养 7 d, 观察亲鱼摄食情况, 并确定最终投喂量。实验开始后, 用上述 3 种实验饲料分别饲喂 3×3 组亲鱼, 每天 07:00 和 19:00 饱食投喂 2 次, 投喂 0.5 h 后排水以清除残饵。

1.3 样品收集

养殖周期结束后, 每桶随机选取 2 尾雄鱼, 称重后于尾静脉抽血, 将血液低温静置 4 h 后, 离心 10 min (3000 g/min), 取上清液保存于–20℃冰箱中, 取性腺、肝脏称重后保存, 用于生化分析; 将挤出的精液稀释 100 倍, 在显微镜下用血球计数板测定精液浓度, 每组 3 个重复; 取精液用戊二醛固定, 进行精子透射电镜分析。

1.4 分析方法

饲料在 105℃ 烘干至恒重, 采用凯氏定氮法

表 1 实验饲料配方及营养组成(%干物质)

Tab.1 Diet formulation and proximate composition (% in dry matter)

成分组成 Ingredients	实验组 Experimental groups		
	K-0	K-10	K-20
鱼粉 Fish meal	70.0	62.0	54.0
酪蛋白 Casein	5	5	5
南极磷虾粉 Antarctic krill meal	0	10	20
高筋粉 Wheat gluten meal	11.0	10.0	9.0
鱼油 Fish oil	7.0	6.0	5.0
大豆油 Soybean oil	1.0	1.0	1.0
大豆卵磷脂 Soybean phospholipid	2.0	2.0	2.0
胆碱 Choline	1.0	1.0	1.0
CaH ₂ PO ₄	1.5	1.5	1.5
维生素 C Vitamin C	0.5	0.5	0.5
¹ 维生素混合料 Vitamin mix	0.5	0.5	0.5
² 矿物质混合料 Mineral mix	0.5	0.5	0.5
营养成分 Proximate composition (% DM)			
粗蛋白 Crude protein	55.3	55.3	55.6
脂肪 Lipid	14.2	14.1	14.5
灰分 Ash	12.7	12.4	12.3
总虾青素 Total astaxanthin (mg/kg)	42.8	70.5	114.7

注: ¹ 维生素混合料(mg/kg or g/kg 饲料): 维生素 A, 32 mg; 核黄素, 45 mg; 维生素 B₁₂, 0.1 mg 生物素, 1.20 mg; 维生素 D, 5 mg; 维生素 K₃, 10 mg; 盐酸吡哆醇, 20 mg; 维生素 E, 120 mg; 肌醇, 800 mg; 烟酸, 200 mg; 硫胺素, 25 mg; 叶酸, 20 mg; 泛酸, 60 mg; 次粉 18.67 g

² 矿物质混合料(mg/kg or g/kg 饲料): 氟化钠, 2 mg; 沸石粉, 15.51 g; 硫酸镁, 1200 mg; 硫酸锌, 50 mg; 氯化钴, 50 mg; 硫酸铜, 10 mg; 磷酸二氢钙, 3000 mg; 硫酸铁, 80 mg; 氯化钠, 100 mg; 碘化钾, 0.8 mg

Note: ¹ Vitamin premix (mg/kg or g/kg diet): vitamin A 32 mg, riboflavin 45 mg, vitamin B₁₂ 0.1 mg, biotin 1.2 mg, vitamin D 5 mg, menadione 10 mg, pyridoxine 20 mg, vitamin E 120 mg, inositol 800 mg, tocopherol acetate 200 mg, thiamine 25 mg, folic acid 20 mg, pantothenate 60 mg, wheat flour 18.67 g

² Mineral premix (mg/kg or g/kg diet): NaF 2 mg; Mordenzeo 15.51 g; MgSO₄·4H₂O 1200 mg; ZnSO₄·7H₂O 50 mg; CoCl₂·6H₂O 50 mg; FeSO₄·7H₂O 80 g; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 3000 g; CuSO₄·5H₂O 10 mg; NaCl 100 g; KI 0.8 mg

(VELP, UDK142 automatic distillation unit, 意大利) 测定粗蛋白含量; 脂肪含量采用索氏抽提法测定(FOSS 脂肪测定仪 SOXTEC 2050, 瑞典); 样品在马福炉中灼烧 5 h (550℃), 失重法测定灰分含量; 参照国标测定方法(GB/T5009.124-2003), 用日立 L-8900 型氨基酸分析仪测定原料氨基酸组成; 血清中睾酮含量采用光化学方法检测(罗氏 Cobas-6000 全自动电化

学发光仪); 虾青素含量参照孙来娣等(2013)的研究方法进行测定。

1.5 数据统计

采用 SPSS 17.0 软件包对数据结果进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 差异显著后进行 Tukey's 多重比较, 数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示, 差异显著水平为 0.05。

2 结果

2.1 南极磷虾粉与鱼粉营养分析对比

南极磷虾粉与鱼粉化学组成和氨基酸组成对比如表 2 所示, 其中, 南极磷虾粉的蛋白含量低于鱼粉, 而脂肪含量为鱼粉的 2 倍; 另外, 南极磷虾粉的灰分含量略低于鱼粉, 而虾青素含量为 290.40 mg/kg, 是鱼粉的 13 倍。南极磷虾粉中风味氨基酸含量占总氨基酸含量的 42.46%, 高于鱼粉中的比例。

2.2 饲料中添加南极磷虾粉对半滑舌鲷雄鱼繁殖性能的影响

南极磷虾粉对半滑舌鲷雄鱼繁殖性能的影响如表 3 所示, 各实验组存活率、性体比、肝体比均无显著性差异($P>0.05$); K-10 组精液浓度和血清中睾酮含量略高于对照组, 但无显著性差异($P>0.05$)。

2.3 饲料中添加南极磷虾粉对半滑舌鲷雄鱼抗氧化功能的影响

南极磷虾粉对半滑舌鲷雄鱼精巢中虾青素含量的影响见表 4, K-20 组精巢虾青素含量显著高于其他两组($P<0.05$), K-10 组精巢虾青素含量略高于对照组, 但并无显著性差异($P>0.05$); K-10 组与 K-20 组精巢 SOD 的活性无显著性差异($P>0.05$), 但均显著高于对照组($P<0.05$); 随着饲料中南极磷虾粉添加量的增加, 精巢中 MDA 的含量显著降低($P<0.05$)。南极磷虾粉对半滑舌鲷雄鱼血清和肝脏中 SOD 活性和 MDA 含量的影响如表 5 所示, K-10 组与 K-20 组血清、肝脏中 MDA 的含量无显著性差异($P>0.05$), 但均显著低于对照组($P<0.05$)。半滑舌鲷精子透射电镜观察(图 1)显示, K-10 组精子质膜和线粒体结构完整, 而对照组的精子质膜及线粒体溶解破碎。

3 讨论

3.1 饲料中添加南极磷虾粉对半滑舌鲷雄鱼繁殖性能的影响

墨鱼粉、鲑鱼粉、南极磷虾粉是亲鱼饵料极具价

表 2 南极磷虾粉与鱼粉化学组成和氨基酸组成比较(%干物质)

Tab.2 Chemical composition and amino acid composition of krill and fish meal (% in dry matter)

项目 Items	南极磷虾粉 Antarctic krill meal	鱼粉 Fish meal
化学组成 Chemical composition		
蛋白质 Protein	54.88	68.99
脂肪 Lipid	16.60	7.81
灰分 Ash	12.55	14.62
虾青素 Astaxanthin (mg/kg)	290.40	22.08
氨基酸组成 Amino acid composition (g/100 g)		
天冬氨酸**Asp	7.42	5.57
苏氨酸*Thr	2.24	2.99
丝氨酸 Ser	2.33	2.70
谷氨酸**Glu	9.99	9.34
甘氨酸**Gly	3.42	4.23
丙氨酸**Ala	3.07	4.04
半胱氨酸 Cys	0.45	0.80
缬氨酸*Val	2.70	3.57
甲硫氨酸*Met	2.33	1.54
异亮氨酸*Ile	2.66	3.01
亮氨酸*Leu	4.12	5.24
酪氨酸 Tyr	2.01	2.31
苯丙氨酸*Phe	3.93	3.62
赖氨酸*Lys	4.64	5.64
组氨酸*His	1.12	2.31
精氨酸*Arg	3.54	4.07
牛磺酸 Tau	0.33	0.38
∑AA	56.30	61.36
∑DAA	23.91	23.18
∑DAA/∑AA	42.46	37.77

*为必需氨基酸, **为风味氨基酸, AA 为氨基酸总量, DAA 为风味氨基酸总量

*: Essential amino acids; **: Delicious amino acids; AA: Total amino acids; DAA: Total delicious amino acids

值的原料成分, 其中, 南极磷虾粉富含极性脂和非极性脂, 极性脂中的磷脂和非极性脂中的虾青素均能提高卵子质量(Watanabe *et al*, 1991)。Verakunpiriya 等(1996)研究发现, 用含有 10%南极磷虾粉的饲料饲养黄尾鲷(*Seriola quinqueradiata*)亲鱼, 能提高黄尾鲷亲鱼的卵子质量, 推测可能是南极磷虾粉中的极性脂对卵子质量的提高起到促进作用。已有研究表明, 在饲料中添加虾青素能提高亲鱼的繁殖性能(Hansen *et al*, 2016; Ahmadi *et al*, 2006), Sawanboonchun 等(2008)研究发现, 在饲料中添加 73.7 mg/kg 虾青素, 可以提

表 3 南极磷虾粉对半滑舌鳎雄鱼繁殖性能的影响

Tab.3 Effects of dietary krill on the reproductive performance of male tongue sole

项目 Items	实验组 Experimental groups		
	K-0	K-10	K-20
存活率 Survival rate ¹ (%)	87.90±5.71	87.10±6.00	87.37±10.71
性体比 Sex index ² (%)	0.56±0.04	0.64±0.06	0.54±0.08
肝体比 Hepatosomatic index ³ (%)	1.24±0.07	1.11±0.35	0.99±0.13
精液浓度 Sperm concentration ⁴ (10 ⁹ ind/ml)	9.34±0.47	9.48±0.15	9.39±0.18
睾酮含量 Testosterone content (nmol/L)	0.20±0.11	0.21±0.06	0.19±0.10

注: ¹存活率(%)=成活鱼尾数/投放鱼尾数×100; ²性体比(%)=精巢重量/雄鱼体重×100; ³肝体比(HSI %)=肝脏重/雄鱼体重×100; ⁴精液浓度(ind/ml)=80 个小方格细胞总数/80×400×10000×稀释倍数

Notes: ¹Survival rate (%) = survived fish/total fish; ²Sex index (%) = semen weight/body weight×100; ³Hepatosomatic index (%) = liver weight/body weight×100; ⁴Sperm concentration (ind/ml) = cell number of 80 grid/80 × 400 × 10000 × dilution factor

高大西洋鳕鱼(*Gadus morhua* L.)的卵子和仔鱼质量,而在本研究中, K-10 组中虾青素含量为 70.5 mg/kg, 但对该组半滑舌鳎亲鱼的精液浓度和睾酮含量并无显著性影响($P>0.05$), 其原因可能是虾青素只对雌鱼繁殖性能有促进作用, 而对雄鱼影响较小或者没有影响; 或是饲料中 42.8 mg/kg 的虾青素已经满足半滑舌

鳎雄鱼的需求, 过高的添加量对雄鱼繁殖性能没有显著性影响($P>0.05$)。

3.2 饲料中添加南极磷虾粉对半滑舌鳎雄鱼抗氧化功能的影响

机体内过多的自由基能攻击各种生物大分子, 引起 DNA 损伤、脂质过氧化等一系列氧化损伤, 进而导致生物体病变(Jin *et al*, 2001)。孔凡华等(2012)研究发现, 以南极磷虾粉替代鱼粉饲养大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.), 能够促进机体内氧自由基的清除, 提高机体抗氧化功能。南极磷虾粉中富含虾青素, 其清除自由基的能力远超过现有的其他抗氧化剂, 它可以在性腺成熟过程中, 激发氧化应激效应来抑制机体氧化, 保护脂质、DNA 等生物关键因子(Liñán-Cabello *et al*, 2003)。已有研究表明, 饲料中添加虾青素可以显著降低血清中 MDA 含量, 提高机体的抗氧化能力(Li *et al*, 2014; Wang *et al*, 2006)。本研究发现, K-20 组精巢中 SOD 活性显著高于对照组($P<0.05$), MDA 含量显著低于对照组($P<0.05$), 而 SOD 是机体清除自由基的关键酶, MDA 是自由基引发的脂质过氧化反应的最终产物, 这两个指标可以综合反映机体的抗氧化能力。作者推测, 本研究中 K-20 组精巢中高含量的虾青素, 发挥了清除自由基的作用, 从而提高了精巢的抗氧化功能, 有效防止精子质膜氧化损伤, 保证 DNA 完整性。

陈海敏等(2012)研究发现, 在冷冻液中添加虾青素能够提高大黄鱼精子质量, 保护质膜和线粒体结构完整性, 而质膜是精子细胞的最外层结构, 是精子细

表 4 南极磷虾粉对半滑舌鳎雄鱼精巢虾青素含量、SOD 活性和 MDA 含量的影响

Tab.4 Effects of dietary krill on astaxanthin contents, SOD activities and MDA contents in semen of male tongue sole

项目 Items	实验组 Experimental groups		
	K-0	K-10	K-20
虾青素含量 Astaxanthin content (mg/kg DM)	35.14±4.00 ^a	38.56±3.68 ^a	54.54±4.41 ^b
SOD 活性 SOD activity (U/mg prot)	36.27±3.71 ^a	60.73±4.88 ^b	64.67±5.05 ^b
MDA 含量 MDA content (nmol/mg prot)	31.64±3.56 ^a	17.54±3.00 ^b	9.86±0.87 ^c

注: 同行数据中的不同字母表示差异显著($P<0.05$), 下同

Note: Data within the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$), same as below

表 5 南极磷虾粉对半滑舌鳎雄鱼血清、肝脏中 SOD 活性和 MDA 含量的影响

Tab.5 Effects of dietary krill on SOD activities and MDA contents in serum and liver of male tongue sole

项目 Items	实验组 Experimental groups		
	K-0	K-10	K-20
血清 SOD 活性 Activity of SOD in serum (U/ml)	127.65±20.43	200.00±29.37	184.68±44.03
肝脏 SOD 活性 Activity of SOD in liver (U/mg prot)	22.99±0.94	22.18±0.81	22.31±1.46
血清 MDA 含量 Content of MDA in serum (nmol/ml)	100.02±14.56 ^a	60.07±8.35 ^b	39.46±2.28 ^b
肝脏 MDA 含量 Content of MDA in liver (nmol/mg prot)	8.87±0.94 ^a	6.24±0.43 ^b	7.05±0.64 ^b

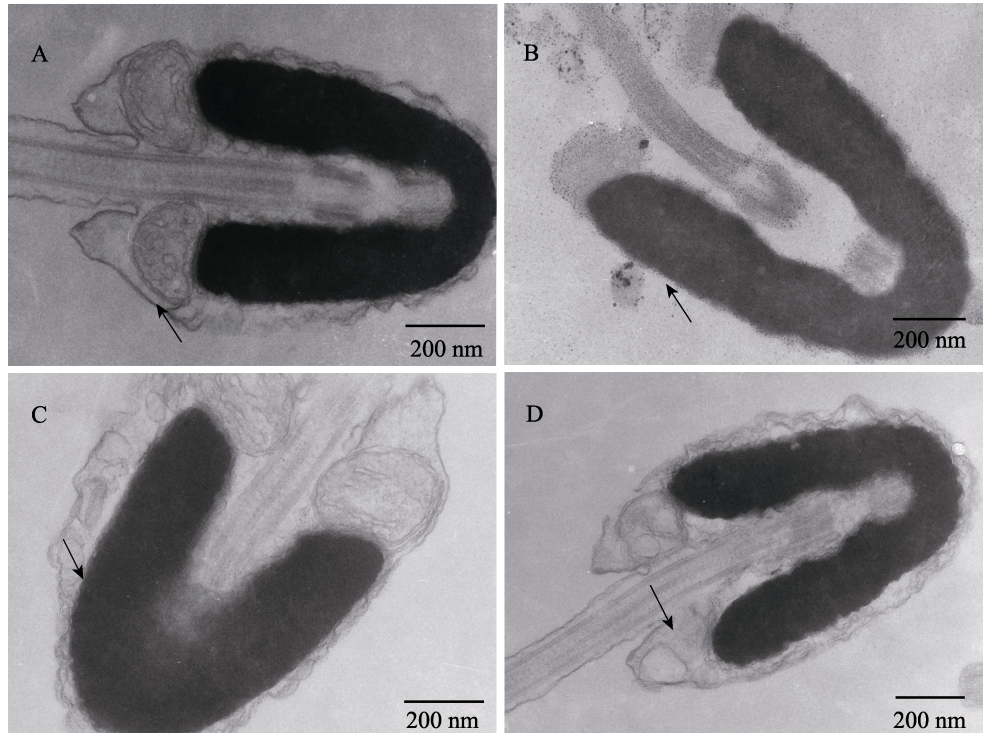


图 1 半滑舌鳎精子透射电镜观察($\times 100000$)

Fig.1 TEM image showing ultrastructure of spermatozoa of tongue sole($\times 100000$)

A: K-20 组精子质膜结构完整; B: 对照组精子质膜破碎溶解; C: K-20 组精子线粒体结构完整;

D: 对照组精子线粒体开始破碎溶解

A: Plasma membrane structural integrity of K-20 group; B: Plasma membrane in the process of dissolving of the control group;

C: Mitochondrion structural integrity of K-20 group; D: Mitochondrion in the process of dissolving of the control group

胞的生理屏障,其结构完整性是保障精子各项功能正常运行的基础。本研究发现,南极磷虾粉添加组的精子质膜结构完整(图 1-A),而对照组的精子质膜破碎溶解(图 1-B)。作者推测,这可能与虾青素在生物膜上特殊的定位定向及其保护线粒体的功能相关。

线粒体不仅是生成自由基的基础场所,它还是自由基损伤的主要靶子。因此,清除线粒体内的自由基,可以有效降低脂质过氧化反应。文佳等(2010)认为,维生素 E 可以有效清除线粒体中的氧化自由基,改善线粒体脂质过氧化反应。Kurashige 等(1990)研究表明,虾青素抑制线粒体脂质过氧化反应的性能优于维生素 E。本研究发现,K-20 组精子中线粒体结构完整(图 1-C),而对照组中有的线粒体已经部分破碎溶解(图 1-D),这也验证了 K-20 组精巢抗氧化活性高于对照组。K-10 组与 K-20 组受精卵中 SOD 活性高于对照组,可能正是饲料中添加南极磷虾粉,提高了雄鱼精巢的抗氧化功能,保护精子免受自由基损伤,提高精子抵御自由基损伤的能力,进而提高了受精卵 SOD 活性。

综上所述,在本实验条件下,饲料中添加 10%和

20%的南极磷虾粉均未能显著提高半滑舌鳎雄鱼的繁殖性能,但能显著提高雄鱼的抗氧化功能。

参 考 文 献

- 文佳,葛素云,罗海玲,等. 日粮维生素 E 水平对羊肌纤维细胞膜和线粒体抗氧化性的影响. 中国草食动物科学, 2010(s1): 286-289
- 孔凡华,梁萌青,吴立新,等. 南极磷虾粉对大菱鲆生长、非特异性免疫及氟残留的影响. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 54-60
- 吕庆凯,梁萌青,郑珂珂,等. 饲料中添加不同脂肪源对半滑舌鳎亲鱼繁殖性能和仔鱼质量的影响. 渔业科学进展, 2013, 33(6): 44-52
- 孙来娣,高华,刘坤,等. 南极磷虾粉中虾青素的提取. 食品与发酵工业, 2013, 39(3): 196-201
- 陈超,陈京华. 牛磺酸、晶体氨基酸对大菱鲆摄食、生长和饲料利用率的影响. 中国农学通报, 2012, 28(23): 108-112
- 陈海敏,王峰,马建,等. 虾青素对超低温冷冻大黄鱼精子具有细胞膜保护作用. 生物物理学报, 2012, 28(8): 663-669
- 李思忠,王惠民. 中国动物志: 硬骨鱼纲鲷形目. 北京: 科学出版社, 1995, 68-334

- 肖登元, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 维生素 C 对半滑舌鲷亲鱼繁殖性能及后代质量的影响. 动物营养学报, 2014, 26(9): 2664-2676
- 赵红月, 薛敏, 韩冬, 等. 氨基酸等化学刺激物对异育银鲫摄食行为的影响. 水生生物学报, 2010, 34(5): 956-965
- 赵敏, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 牛磺酸对半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis*)亲鱼繁殖性能及仔鱼质量的影响. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 101-108
- 柳学周, 孙中之, 马爱军, 等. 半滑舌鲷亲鱼培育及采卵技术研究. 海洋水产研究, 2006, 27(2): 25-32
- 常青, 梁萌青, 薛华, 等. 亲鱼营养的研究进展. 海洋水产研究, 2002, 23(2): 65-71
- Ahmadi MR, Bazyar AA, Safi S, *et al.* Effects of dietary astaxanthin supplementation on reproductive characteristics of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). J Appl Ichthyol, 2006, 22(5): 388-394
- Britton G. Structure and properties of carotenoids in relation to function. FASEB J, 1995, 9(15): 1551-1558
- Hansen ØJ, Puvanendran V, Bangera R. Broodstock diet with water and astaxanthin improve condition and egg output of brood fish and larval survival in Atlantic cod, *Gadus morhua* L. Aquac Res, 2016, 47(3): 819-829
- Izquierdo MS, Fernandez-Palacios H, Tacon AGJ, *et al.* Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. Aquaculture, 2001, 197(1-4): 25-42
- Jin LH, Bahn JH, Eum WS, *et al.* Transduction of human catalase mediated by an HIV-1 TAT protein basic domain and arginine-rich peptides into mammalian cells. Free Radical Bio Med, 2001, 31(11): 1509-1519
- Kurashige M, Okimasu E, Inoue M, *et al.* Inhibition of oxidative injury of biological membranes by astaxanthin. Physiol Chem Phys Med NMR, 1990, 22(1): 27-38
- Liñán-Cabello MA, Paniagua-Michel J, Zenteno-Savín T. Carotenoids and retinal levels in captive and wild shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquacult Nutr, 2003, 9(6): 383-389
- Li M, Wu W, Zhou PP, *et al.* Comparison effect of dietary astaxanthin and *Haematococcus pluvialis* on growth performance, antioxidant status and immune response of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*. Aquaculture, 2014, 434: 227-232
- Li YY, Chen WZ, Sun ZW, *et al.* Effects of n-3 HUFA content in broodstock diet on spawning performance and fatty acid composition of eggs and larvae in *Plectorhynchus cinctus*. Aquaculture, 2005, 245(1-4): 263-272
- Lignell A, Inborr J, Nicolin C. Method of increasing the production and improving the quality of semen. United States Patent, 2002, 6(25): 6, 410, 602B1
- Liang MQ, Lu QK, Qian C, *et al.* Effects of dietary n-3 to n-6 fatty acid ratios on spawning performance and larval quality in tongue sole *Cynoglossus semilaevis*. Aquacult Nutr, 2014, 20(1): 79-89
- Rainuzzo JR, Reitan KI, Olsen Y. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review. Aquaculture, 1997, 155(1-4): 103-115
- Ross RM, Quetin LB. How productive are Antarctic krill? BioScience, 1986, 36(4): 264-269
- Sawanboonchun J, Roy WJ, Robertson DA, *et al.* The impact of dietary supplementation with astaxanthin on egg quality in Atlantic cod broodstock (*Gadus morhua* L.). Aquaculture, 2008, 283(1-4): 97-101
- Vassallo-Agius R, Watanabe T, Imaizumi H, *et al.* Effects of dry pellets containing astaxanthin and squid meal on the spawning performance of striped jack *Pseudocaranx dentex*. Fisheries Sci, 2001, 67(4): 667-674
- Verakunpiriya V, Watanabe T, Mushiaki K, *et al.* Effect of broodstock diets on the chemical components of milt and eggs produced by yellowtail. Fisheries Sci, 1996, 62(4): 610-619
- Watanabe T, Lee MJ, Mizutani J. Effect of polar and nonpolar lipids from krill on quality of eggs of red seabream *Pagrus major*. Nippon Suisan Gakkaishi, 1991, 57(4): 694-698
- Wang YJ, Chien YH, Pan CH. Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival, growth, pigmentation, and antioxidant capacity of characins, *Hyphessobrycon callistus*. Aquaculture, 2006, 261(2): 641-648

(编辑 冯小花)

Effects of Dietary Antarctic Krill on the Reproductive Performance and Antioxidant Function in Male Broodstock Tongue Sole (*Cynoglossus semilaevis*)

ZHAO Min^{1,2}, LIANG Mengqing^{1①}, ZHENG Keke¹, XU Houguo¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract The tongue sole *C. semilaevis* is a flatfish with high economic value and is extensively exploited in northern China. However, broodstock nutrition of this species is still based on a diet of fresh feeds, which has an important sanitary risk, and contributes to the deterioration of water quality. Therefore, a 90 days feeding trial was conducted to investigate the effect of dietary Antarctic krill meal in broodstock diets on reproductive performance and antioxidant function of male tongue sole *Cynoglossus semilaevis*. Three diets were formulated to contain respectively 0, 10%, 20% Antarctic krill meals. Three-year-old tongue sole *C. semilaevis* were stocked in concrete tanks (25 m³) and acclimated to laboratory conditions for 7 days. Then they were randomly divided into three groups, each group had three polyethylene tanks (diameter: 230 cm, high: 100 cm), and they were fed to apparent satiation twice per day for 12 weeks. Results showed that, the hepatosomatic index, sex index, sperm concentration and testosterone contents had no significant differences on each experimental groups ($P>0.05$). The superoxide dismutase (SOD) activities in semen and eggs had no significant differences between K-10 and K-20 group ($P>0.05$), but were significantly higher than that of the control group ($P<0.05$); The malondialdehyde (MDA) content in semen, serum and liver had no significant differences between K-10 and K-20 group ($P>0.05$), but were significantly lower than that of the control group ($P<0.05$). In conclusion, the present study suggested that dietary Antarctic krill meal had no significant effect on reproductive performance ($P>0.05$), but can significant improve antioxidant function for male *C. semilaevis* ($P<0.05$).

Key words Antarctic krill meal; *Cynoglossus semilaevis*; Male broodstock; Reproductive performance; Antioxidant function

① Corresponding author: LIANG Mengqing, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn