

大规格鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)对饲料中花生四烯酸的需求量*

王成强^{1,2} 梁萌青^{2,3①} 徐后国² 郑珂珂² 柳 茜^{1,2}

(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;
3. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 青岛 266071)

摘要 选用初始体重(207.16±0.72) g 的鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)为研究对象, 研究大规格鲈鱼对花生四烯酸(Arachidonic acid, ARA)的最适需求量。通过在基础饲料中添加 ARA-纯化油, 制成 ARA 含量分别为 0.05%、0.22%、0.37%、0.60%、1.38%及 2.32%(占饲料干重)的 6 组等氮等能的实验饲料, 进行为期 84 d 的生长实验。实验结束后, 通过测定鲈鱼生长、体成分、抗氧化及肝脏健康等指标综合评价鲈鱼对饲料中花生四烯酸的需求量。结果显示, 鲈鱼成活率在不同处理组之间无显著差异($P>0.05$); 鲈鱼的特定生长率(SGR)随着饲料中 ARA 含量的升高, 呈先升高后相对平稳的趋势($P<0.05$), 且在 ARA 含量为 0.37%饲料组出现最大值, 饲料效率(FE)呈现出与特定生长率相同的趋势; 饲料中不同 ARA 含量对鲈鱼的肝体比(HSI)、脏体比(VSI)、肥满度(CF)均无显著性影响($P>0.05$); 鱼体粗脂肪含量随着饲料 ARA 含量升高呈先减少后增加的趋势, 粗蛋白含量则呈现出相反趋势; 随着饲料 ARA 含量的升高, 血清和肝脏中超氧化物歧化酶(SOD)活力呈现先升高后降低的趋势($P<0.05$), 肝脏和血清中丙二醛(MDA)含量则呈现先降低后升高的变化趋势($P<0.05$); 血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性均在 0.37%ARA 水平时显著低于对照组($P<0.05$)。以特定生长率与饲料效率作为评定指标, 经折线模型分析得出, (207.16±0.72) g 规格的鲈鱼对饲料中 ARA 的最适需求量均为饲料干重的 0.37%。

关键词 鲈鱼; 花生四烯酸; 生长性能; 需求量

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)05-0046-10

花生四烯酸(Arachidonic acid, ARA), 是全顺二十碳-5, 8, 11, 14-四烯酸, 是一种 n-6 系列的高不饱和脂肪酸, 主要来源于鱼油与海洋藻类, 是海水鱼类生长发育所需要的重要不饱和脂肪酸。近年来, 许多研究结果显示, ARA 在海水鱼类的生长、存活、调节免疫、抗应激及繁育等方面发挥重要的作用(Bruce *et al*, 1999; Sargent *et al*, 1999; 刘镜恪等, 2002; Koven *et al*, 2003; Furuita *et al*, 2003; Esteban *et al*, 2004; van Anholt *et al*, 2004; 徐后国, 2013¹⁾)。研究已经证

实, ARA 在动物体中能够产生许多重要的活性物质, 如白细胞三烯、前列腺素以及凝血恶烷等二十烷类化合物, 这些化合物在动物体内具有重要的作用, 能够调节一系列重要的生理代谢(Sargent *et al*, 1995; Tang *et al*, 1996)。

在海水鱼类对 ARA 需求量的研究表明, 海水仔稚鱼需求量一般为 0.8%–1.5%。Bessonart 等(1999)在金头鲷(*Sparus aurata*)的研究表明, 当饲料中 ARA 的含量为 1%时, 仔稚鱼获得最佳生长效果; 谢奉军

* 农业公益性行业专项(201003200)和中国博士后科学基金第八批特别资助项目(2015T80763)共同资助。王成强, E-mail: chengqiangwang@126.com

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

收稿日期: 2015-06-16, 收修改稿日期: 2015-08-24

1) 徐后国. 饲料脂肪酸对鲈鱼幼鱼生长、健康及脂肪和脂肪酸累积的影响. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2013

(2011)¹⁾在大黄鱼(*Larimichthys crocea*)仔稚鱼饲料中添加 0.93% ARA, 提高了大黄鱼仔稚鱼的生长率。海水幼鱼对 ARA 的需求量一般为 0.3%–1.0%, Bae 等(2010)针对海鳗(*Anguilla japonica*)的研究中得出, 海鳗幼鱼对 ARA 的需求量为 0.69%–0.71%; Xu 等(2010)研究表明, 基于生长指标, 花鲈幼鱼饲料中最适 ARA 含量为 0.32%, 然而, 在大规格的海水鱼类对 ARA 的需求量方面却鲜有报道。

鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)属于鲈形目、鲈科、花鲈属, 俗称花鲈、花寨、伴鲈等, 体长、侧扁、背腹面皆钝圆, 头中等大、略尖, 属于广盐性鱼类, 其生长速度较快, 并且具有较高的经济价值, 成为我国沿海地区一种重要的养殖鱼类。因此, 众多学者也加强了对鲈鱼营养学方面的研究力度, 并且产生了一系列具有重要价值的研究成果(苏传福等, 2005; 梁萌青等, 2006、2014; Mai *et al*, 2006; Zhang *et al*, 2006; Xu *et al*, 2010; 窦兵帅等, 2014), 但是关于花生四烯酸方面的研究大都集中在仔稚鱼与幼鱼阶段, 对养成期阶段鱼的研究较少。目前, 鲈鱼商品饲料 ARA 的添加量主要以幼鱼 ARA 需求量为标准, 但由于鱼体生长阶段不同, 对 ARA 需求量存在差异, 对大规格鲈鱼 ARA 的需求量, 理应进行有针对性的研究。因此, 本研究通过分析饲料中不同 ARA 含量对鲈鱼生长、饲料效率及相关机体免疫酶活的影响, 旨在明确(207.16±0.72) g 规格的鲈鱼对饲料中 ARA 的最适需求量, 为大规格鲈鱼的精准饲料配方设计提供相关的理论依据, 更好地完善鲈鱼营养学参数数据库。

1 实验饲料与养殖管理

1.1 实验配方设计与饲料制作

以鱼粉、豆粕和酪蛋白为主要蛋白源, 小麦粉为主要糖源, 配制粗蛋白含量约为 44%、粗脂肪含量约为 11.5%的基础饲料(表 1)。在基础饲料中添加 1.50% DHA 纯化油(DHA 含量占总脂肪酸的 43%; 江苏天凯生物科技有限公司), 确保饲料中的 DHA 含量能够保证鲈鱼正常生长, 以此消除因 DHA 含量不足造成鲈鱼生长不佳的原因(Skallia *et al*, 2004; Xu *et al*, 2010)。在基础饲料中分别添加 0、0.35%、0.71%、1.45%、2.91% 和 5.84% 的 ARA 纯化油(ARA 含量占总脂肪酸的 46%; 江苏天凯生物科技有限公司)来调配饲料中 ARA 的含量, 以硬脂酸甘油三酯进行配平。通过气相色谱分析,

ARA 在各组饲料中所占的比例分别为 0.05%(对照组)、0.22%、0.37%、0.60%、1.38% 和 2.32%(饲料干重), 各组饲料的脂肪酸组成见表 2。在饲料的制作过程中, 先将原料粉碎均匀, 与 ARA 纯化油等油状脂肪充分混合, 然后加水制粒, 颗粒制成后, 放置于烘箱中, 50℃左右烘干, 之后存于阴凉干燥处。

1.2 实验用鱼及饲养管理

实验于 2014 年 8 月 5 日在浙江省象山港湾苗种有限公司进行, 养殖方式为海水浮式网箱养殖, 养殖周期为 84 d, 实验鲈鱼为前一年人工培育的同一批苗种(宁波象山县一养殖户提供)。将所有实验用鱼放置于大网箱中(3.0 m×3.0 m×3.0 m), 用对照组饲料暂养 15 d, 使其适应实验饲料和养殖环境。实验开始前, 将实验鱼饥饿 24 h, 然后用丁香酚麻醉(1:10000)(上海试剂, 中国), 称重。大小均一的鲈鱼[初始均重为(207.16±0.72) g]被随机分到 18 个养殖网箱中(1.5 m×1.5 m×2.0 m), 每个网箱放置 20 尾鲈鱼, 每个实验组 3 个重复, 每天在规定时间内(06:00 和 17:00)各投喂 1 次。实验期间, 水温为 23–30.5℃, 盐度为 26–31, pH 为 7.1–7.4, 溶解氧为 6.5 mg/L 左右。

1.3 样品收集

84 d 的养殖实验结束时, 将实验鱼饥饿 24 h, 然后对每个网箱中的实验鲈鱼进行计数和称重。从每个养殖网箱中随机取出 3 尾鲈鱼, 密封袋装好, 将其置于–20℃冰柜中保存, 用于后期对全鱼常规化学组成的分析。另外, 分别从各个养殖网箱中随机取 5 尾鲈鱼, 进行解剖取样, 分别取肝脏、肌肉等组织, 组织取好后, 将装有组织的离心管迅速置于液氮中速冻后, 将这些冷冻好的样品保存于–80℃超低温冰箱中。从每个网箱中随机取出 4 尾实验鱼, 采用尾部静脉取血法, 取出约 1.5 ml 血, 4℃静置 4 h, 3000 r/min 离心 10 min, 轻轻将血清吸出, –80℃保存备用。

1.4 分析方法

实验样品分析方法: 样品的水分与灰分含量利用失重法分别测得; 粗蛋白含量的测定采用凯氏定氮法(VELP UDK142, 意大利); 粗脂肪含量采用索氏抽提法测得(FOSS 索氏抽提仪 SOXTEC 2050, 瑞

1) 谢奉军. 大黄鱼仔稚鱼氨基酸及脂肪酸营养生理的研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2011

表1 饲料配方及成分分析
Tab.1 Formulation and composition of the diets (%)

原料 Ingredients	饲料花生四烯酸水平 Dietary arachidonic acid level (%)					
	0.05	0.22	0.37	0.60	1.38	2.32
鱼粉 Fish meal ¹	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
豆粕 Soybean meal ¹	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
小麦粉 Wheat meal	30.85	30.85	30.85	30.85	30.85	30.85
酪蛋白 Casein	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
明胶 Gelatin	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
维生素预混料 Vitamin premix ²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
矿物质预混料 Mineral premix ³	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
磷酸二氢钙 Calcium dihydrogen phosphate	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素 C Vitamin C	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
诱食剂 Attractant ⁴	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
乙氧基喹 Ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
防腐剂 Mold inhibitor ⁵	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
大豆卵磷脂 Soy lecithin	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
DHA 纯化油 DHA-enriched oil ⁶	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
ARA 纯化油 ARA-enrich oil ⁷	0.00	0.35	0.71	1.45	2.91	5.84
硬脂酸甘油三酯 Tristearin	7.00	6.65	6.29	5.55	4.09	1.16
成分分析 Proximate composition						
粗蛋白 Crude protein	43.64	43.53	44.40	44.36	43.39	44.13
粗脂肪 Crude lipid	11.32	11.07	11.09	11.24	11.50	11.22
灰分 Ash	6.89	6.94	6.81	6.98	6.92	6.83
花生四烯酸 ARA	0.05	0.22	0.37	0.60	1.38	2.32

¹ 鱼粉: 粗蛋白 69.0%, 粗脂肪 7.8%; 豆粕: 粗蛋白 50.4%, 粗脂肪 0.9%

² 维生素混合料(mg/kg or IU/kg 饲料): 维生素 A, 7500.0IU; 维生素 D, 1500.0IU; 维生素 E, 60.0 mg; 维生素 K₃, 18.0 mg; 维生素 B₁, 12.0 mg; 维生素 B₂, 12.0 mg; 维生素 B₁₂, 0.1 mg; 泛酸, 48.0 mg; 烟酰胺: 90.0 mg; 叶酸, 3.7 mg; D-生物素: 0.2 mg; 肌醇, 60.0 mg; 维生素 C, 310.0 mg

³ 矿物质混合料(mg/kg 饲料): 锌, 35.0 mg; 锰, 21.0 mg; 铜, 8.3 mg; 铁, 23.0 mg; 钴, 1.2 mg; 碘, 1.0 mg; 硒, 0.3 mg

⁴ 诱食剂: 甘氨酸+甜菜碱

⁵ 防腐剂: 50%富马酸+50%丙酸钙

⁶ DHA 纯化油: DHA 占总脂肪酸的比例为 43%, 江苏天凯生物科技有限公司

⁷ ARA 纯化油: ARA 占总脂肪酸的比例为 46%, 江苏天凯生物科技有限公司

¹ Fish meal: crude protein 69.0% and crude lipid 7.8%; soybean meal: crude protein 50.4% and crude lipid 0.9%

² Vitamin premix (mg/kg or IU/kg diet): vitamin A 7500.0IU, vitamin D 1500.0IU, vitamin E 60.0 mg, vitamin K₃ 18.0 mg, vitamin B₁ 12.0mg, vitamin B₂ 12.0mg, vitamin B₁₂ 0.1mg, riboflavin 45.0mg, biotin 1.2 mg, vitamin D 5.0 mg, pyridoxine 20.0 mg, vitamin A 32.0 mg, vitamin E 120.0 mg, vitamin B₁₂ 0.1 mg, pantothenate acid 48.0 mg, niacin 90 mg, folic acid 3.7 mg, D-biotin 0.2 mg, vitamin C 310.0 mg

³ Mineral premix (mg/kg diet): Zn 35.0 mg, Mn 21.0 mg, Cu 8.3 mg, Fe 23.0 mg, Co 1.2 mg, I 1.0 mg, Se 0.3 mg

⁴ Feeding attractants: glycine+ betaine

⁵ Preservative: 50% calcium propionic acid + 50% fumaric acid

⁶ DHA-enriched oil: DHA content, 43%; Jiangsu Tiankai biological technology

⁷ ARA-enriched oil: ARA content, 46%; Jiangsu Tiankai biological technology

表 2 实验饲料脂肪酸成分分析(%总脂肪酸)
Tab.2 Fatty acids composition of the experimental diets (% total fatty acids)

脂肪酸组成 Fatty acids composition	饲料花生四烯酸水平 Dietary arachidonic acid level (%)					
	0.05	0.22	0.37	0.60	1.38	2.32
C14 : 0	3.50	3.61	3.61	3.50	3.00	2.38
C16 : 0	26.62	27.12	26.62	25.91	22.38	17.35
C18 : 0	44.46	44.10	41.84	38.76	29.18	12.88
ΣSFA ¹	74.58	74.83	72.07	68.17	54.56	32.61
C16 : 1n-7	0.79	0.81	0.84	0.88	0.87	0.92
C18 : 1n-9	3.87	3.42	3.69	3.85	5.16	6.72
ΣMUFA ²	4.66	4.23	4.53	4.73	6.03	7.64
C18 : 2n-6	7.32	8.05	8.21	8.72	9.71	12.19
C20 : 4n-6	0	1.24	3.04	5.97	11.44	22.86
Σn-6 PUFA ³	7.32	9.29	11.25	14.69	21.15	35.05
C18 : 3n-3	0.70	0.76	0.81	0.80	0.85	0.92
C20 : 5n-3	1.37	1.44	1.49	1.49	1.65	1.57
C22 : 6n-3	6.26	6.39	6.59	6.63	6.60	6.66
Σn-3 PUFA ⁴	8.33	8.89	8.89	8.92	9.10	9.15
ΣPUFA	15.65	17.88	20.14	23.61	30.25	44.20
ΣSFA / ΣPUFA	4.77	4.19	3.58	2.89	1.80	0.74
n-3 / n-6	1.14	0.92	0.79	0.61	0.43	0.26

注: ¹SFA: 饱和脂肪酸; ²MUFA: 单不饱和脂肪酸; ³n-6 PUFA: n-6 系列多不饱和脂肪酸; ⁴n-3 PUFA: n-3 系列多不饱和脂肪酸

Note: ¹SFA, saturated fatty acids; ²MUFA, mono-unsaturated fatty acids; ³n-6 PUFA, n-6 poly-unsaturated fatty acids; ⁴n-3 PUFA, n-3 poly-unsaturated fatty acid

典); 用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定超氧化物歧化酶(SOD)活性和丙二醛(MDA)含量; 测定谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)和碱性磷酸酶(AKP)活性试剂盒由深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司生产; 饲料的脂肪酸含量测定方法参考 Mourente 等(1999)的气相色谱法(GS, HP6890, 美国), 并稍作修改。

1.5 计算公式及统计分析

计算公式:

成活率(Survival rate, *SR*, %)=100×鱼末数量/鱼初数量

增重率(Weight gain rate, *WGR*, %)=100×(鱼末体重-鱼初体重)/鱼初体重

摄食率(Feeding intake, *FI*, %/d)=100×摄食量×2/[(鱼末体重+鱼初体重)×实验天数]

特定生长率(Specific growth rate, *SGR*, %/d)=100×[ln(鱼末体重)-ln(鱼初体重)]/实验天数

饲料效率(Feed efficiency, *FE*)=(鱼末体重-鱼初体重)/摄食饲料干重

肝体比(Hepatosomatic index, *HSI*, %)=实验鱼肝

湿重/实验鱼体重×100

脏体比(Viscerasomatic index, *VSI*, %)=实验鱼内脏湿重/实验鱼体重×100

肥满度(Condition factor, *CF*)=实验鱼体重/实验鱼体长³×100 (体重单位: g, 体长单位: cm)

所得实验数据用平均值±标准误(Mean±SE)来表示, 采用 SPSS 19.0 分析软件对实验数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 另外, 用 Tukey's 检验方法对实验数据进行多重比较, 当 $P < 0.05$ 时表示具有显著性差异。采用折现模型(Robbins, 1979)估计大规模鲈鱼对 ARA 基于特定生长率与饲料效率的最适需求量。

2 结果

2.1 饲料中不同 ARA 含量对鲈鱼生长性能的影响

饲料中不同 ARA 含量对鲈鱼生长性能的影响见表 3。从表 3 可以看出, 不同 ARA 含量对鲈鱼的成活率无显著影响($P > 0.05$), 均在 93.33%–98.33%之间; 当饲料 ARA 含量在一定范围内(0.05%–0.37%)时, 鲈鱼的特定生长率随着饲料 ARA 含量增加而显著上升($P < 0.05$), 当 ARA 含量继续增加时, 鲈鱼的特定生长率基本趋于平稳。各实验组实验鱼的增重率、饲料

表3 饲料中不同ARA含量对鲈鱼生长性能的影响(平均值±标准误)

Tab.3 Effects of different dietary ARA levels on the growth performance of Japanese seabass (Mean±SE)

指标 Parameters	饲料花生四烯酸水平 Dietary arachidonic acid level (%)					
	0.05	0.22	0.37	0.60	1.38	2.32
初始体重 Initial weight (g)	207.35±0.95	207.23±0.71	207.30±0.66	206.83±0.19	206.73±1.23	207.53±0.55
终末体重 Final weight (g)	380.66±4.74 ^c	403.34±4.79 ^{bc}	434.34±5.01 ^a	425.37±11.89 ^{ab}	425.64±7.67 ^{ab}	429.33±13.23 ^a
成活率 Survival rate (%)	95.00±5.00	93.33±2.89	96.67±2.89	98.33±2.89	95.00±5.00	98.33±2.89
增重率 WGR (%)	83.59±3.07 ^c	94.49±2.91 ^{bc}	109.53±2.86 ^a	105.66±5.93 ^{ab}	105.91±4.91 ^{ab}	106.88±6.41 ^{ab}
特定生长率 SGR (%/d)	0.72±0.02 ^c	0.79±0.01 ^b	0.88±0.02 ^a	0.86±0.03 ^{ab}	0.86±0.03 ^{ab}	0.87±0.04 ^{ab}
摄食率 FI (%/d)	1.43±0.02	1.42±0.03	1.37±0.01	1.38±0.03	1.36±0.03	1.41±0.05
饲料效率 FE	0.49±0.01 ^c	0.54±0.01 ^b	0.62±0.01 ^a	0.60±0.01 ^a	0.60±0.01 ^a	0.60±0.01 ^a

注：同一行数据中上标无字母或字母相同表示差异不显著($P>0.05$)，下同

Note: values with no superscripts or same superscripts in the same row are not significantly different ($P>0.05$), the same as the following

效率同特定生长率具有相同变化趋势。不同的实验组中，实验鱼的摄食率并没有显著性差异($P>0.05$)。

从图1可看出，以饲料中ARA含量为横坐标，以鲈鱼特定生长率为纵坐标，利用折线模型回归分析得 $Y=0.867+0.465(X-0.370)+0.002(0.370-X)$ ， $R^2=0.856$ ，所以当饲料中ARA含量为0.37%时，实验鱼得到最大特定生长率；从图2可以看出，以饲料中ARA含

量为横坐标，以鲈鱼FE为纵坐标，利用折线模型回归分析得 $Y=0.606+0.372(X-0.370)+0.005(0.370-X)$ ， $R^2=0.949$ ，所以当饲料中ARA含量为0.37%时，饲料效率达到最大值。

2.2 饲料中不同ARA含量对鲈鱼肝体比、脏体比和肥满度的影响

饲料中不同ARA含量对鲈鱼肝体比、脏体比和肥满度的影响见表4。从表4可以看出，各实验组鲈鱼的脏体比和肥满度均无显著影响($P>0.05$)，分别在8.20%–9.69%和1.51%–1.59%之间。同时，各实验组鲈鱼的肝体比呈现出一定的下降趋势，但没表现出显著性差异($P>0.05$)。

2.3 饲料中不同ARA含量的鲈鱼鱼体化学组成的影响

不同ARA含量的饲料对鲈鱼鱼体化学组成的影响见表5。从表5可以看出，饲料中ARA含量增加，鱼体粗蛋白含量呈现先升高后降低的趋势；饲料中ARA含量从0.05%升高到0.60%时，鱼体粗脂肪含量逐渐降低，之后呈现上升趋势，ARA含量为0.22%、0.37%、0.60%饲料组的实验鱼鱼体粗脂肪含量显著低于2.32%饲料组的实验鱼($P<0.05$)；另外，不同实验组间实验鱼鱼体的灰分与水分含量差异不显著($P>0.05$)。

2.4 饲料中不同ARA含量对鲈鱼血清和肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量的影响

从表6可以看出，血清SOD活性随着ARA含量的升高呈先升高后降低的趋势，在ARA含量为0.37%时达到最大值，且显著高于ARA含量为0.05%、1.38%与2.32%饲料组($P<0.05$)；肝脏SOD活性变化趋势同血清SOD类似，也在ARA含量为0.37%时饲料组达到最大值，但与ARA含量为0.05%饲料组无显著差异($P>0.05$)。

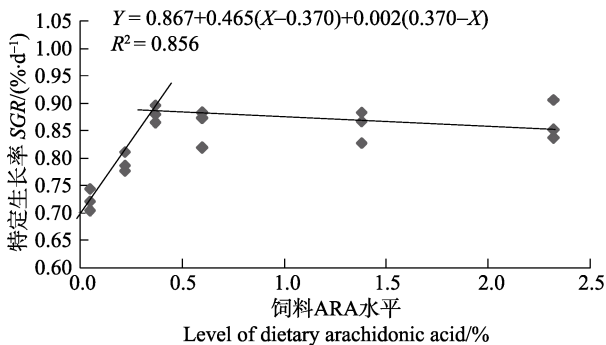


图1 鲈鱼特定生长率与饲料中ARA含量的折线模型
Fig.1 The broken-line regression analysis of dietary ARA levels and SGR of Japanese seabass

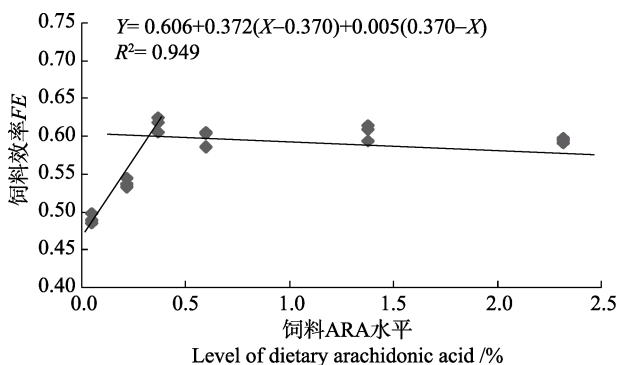


图2 鲈鱼饲料效率与饲料中ARA含量的折线模型
Fig.2 The broken-line regression analysis of dietary ARA levels and FE of Japanese seabass

表 4 饲料中不同 ARA 含量的鲈鱼肝体比、脏体比和肥满度的影响(平均值 ± 标准误)

Tab.4 Effects of different dietary ARA levels on HSI, VSI and CF of Japanese seabass (Mean±SE)

指标 Parameters	饲料花生四烯酸水平 Dietary arachidonic acid level (%)					
	0.05	0.22	0.37	0.60	1.38	2.32
肝体比 HSI(%)	1.22±0.11	1.11±0.09	1.03±0.14	0.97±0.05	0.96±0.05	0.97±0.09
脏体比 VSI(%)	8.78±0.40	8.55±0.38	8.98±0.95	8.20±0.75	8.38±0.44	9.69±0.37
肥满度 CF	1.51±0.11	1.56±0.09	1.59±0.12	1.57±0.03	1.59±0.13	1.57±0.03

表 5 饲料中不同 ARA 含量的鲈鱼鱼体化学组成的影响(%湿重; 平均值 ± 标准误)

Tab.5 Effects of different dietary ARA levels on body chemical composition of Japanese seabass (% wet weight; Mean±SE)

指标 Parameters(%)	饲料花生四烯酸水平 Dietary arachidonic acid level (%)					
	0.05	0.22	0.37	0.60	1.38	2.32
水分 Moisture	70.23±2.88	71.41±0.86	71.11±2.61	71.71±1.52	70.50±1.13	69.76±1.11
粗蛋白 Crude protein	16.65±0.83 ^{ab}	16.99±0.31 ^{ab}	17.36±0.19 ^a	17.01±0.16 ^{ab}	16.48±0.32 ^{ab}	16.00±0.29 ^b
粗脂肪 Crude lipid	7.59±0.57 ^{ab}	6.91±0.44 ^b	6.72±0.53 ^b	6.52±0.54 ^b	7.60±0.74 ^{ab}	8.61±0.40 ^a
灰分 Ash	4.73±0.30	4.37±0.15	4.61±0.30	4.34±0.22	4.43±0.30	4.24±0.20

当饲料 ARA 含量升高时, 血清中 MDA 含量呈先降低后升高的趋势, 在 ARA 含量为 0.37% 时含量最低, 并且 ARA 含量为 0.05%、2.32% 时饲料组中血清 MDA 含量显著高于 0.37% 饲料组 ($P < 0.05$), 肝脏中 MDA 含量呈现与血清中 MDA 含量相似的变化趋势。

2.5 饲料中不同 ARA 含量对鲈鱼血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶和碱性磷酸酶活性的影响

从表 7 可以看出, 当饲料中 ARA 含量从 0.05% 提高到 2.32% 时, 血清谷草转氨酶(GOT)活性呈现先降低后升高的趋势, 并且 ARA 含量为 0.37% 时, 饲料组实验鱼其血清 GOT 活性显著低于对照组 ($P < 0.05$), 与 ARA 含量为 0.60% 饲料组无显著差异 ($P > 0.05$); 血清谷丙转氨酶(GPT)活性在 ARA 含量为 0.05%–0.60% 范围内时, 呈先降低后升高的趋势, 且在 ARA 含量为 0.37% 饲料组时达到最低值, 显著低于对照组 ($P < 0.05$)。

随着 ARA 含量的升高, 血清中碱性磷酸酶(AKP)活性呈现先降低后升高的趋势, 且在 ARA 含量为 0.37% 与 0.60% 时, 饲料组显著低于其他 4 组 ($P < 0.05$), 但这两组间 AKP 活性无显著性差异 ($P > 0.05$)。

3 讨论

本研究结果显示, 大规模鲈鱼的特定生长率、饲料效率均随着饲料中 ARA 含量的变化表现出一定的变化趋势, 这说明饲料中适量的 ARA 对大规模鲈鱼的生长和生理功能具有重要的作用。采用折线模型分析方法, 分别拟合特定生长率、饲料效率与饲料中 ARA 含量的关系, 分析得到(207.16±0.72) g 规格鲈鱼对 ARA 的最适需求量均为 0.37% (图 1、图 2)。这一结果低于一些海水仔稚幼鱼对 ARA 的需求量, 比如低于大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)幼鱼的 1% (Castell *et al.*,

表 6 饲料中不同 ARA 含量对鲈鱼血清和肝脏超氧化物歧化酶活性和丙二醛含量的影响(平均值 ± 标准误)

Tab.6 Effects of different dietary ARA levels on the activity of SOD and MDA content in serum and liver of Japanese seabass (Mean±SE)

指标 Parameters	饲料花生四烯酸水平 Dietary arachidonic acid level (%)					
	0.05	0.22	0.37	0.60	1.38	2.32
血清超氧化物歧化酶活性 Serum SOD activity (U/ml)	81.49±3.16 ^b	84.57±2.05 ^{ab}	92.28±3.34 ^a	88.62±3.16 ^{ab}	82.88±1.92 ^b	80.54±3.70 ^b
肝脏超氧化物歧化酶活性 Liver SOD activity (U/mg · prot)	30.13±1.14 ^{ab}	31.78±2.88 ^{ab}	36.70±1.13 ^a	31.79±1.49 ^{ab}	27.88±2.94 ^b	25.50±3.92 ^b
血清丙二醛含量 Serum MDA content (nmol/ml)	40.70±2.71 ^{ab}	39.82±5.31 ^{ab}	22.63±6.19 ^c	30.71±5.19 ^{bc}	32.37±4.77 ^{bc}	52.06±6.15 ^a
肝脏丙二醛含量 Liver MDA content (nmol/mg · prot)	1.85±0.03 ^b	1.64±0.11 ^c	1.29±0.06 ^d	1.33±0.06 ^d	1.87±0.10 ^b	2.30±0.09 ^a

表 7 饲料中不同 ARA 含量对鲈鱼血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶及碱性磷酸酶活性的影响(平均值 ± 标准误)

Tab.7 Effects of different dietary ARA levels on the activity of GOT, GPT and AKP in serum of Japanese seabass (Mean±SE)

指标 Parameters	饲料花生四烯酸水平 Dietary arachidonic acid level (%)					
	0.05	0.22	0.37	0.60	1.38	2.32
谷草转氨酶 GOT (U/L)	23.83±1.00 ^a	18.87±1.72 ^b	13.83±1.46 ^c	13.97±1.00 ^c	16.57±1.04 ^{bc}	18.47±2.20 ^b
谷丙转氨酶 GPT (U/L)	10.23±0.57 ^a	8.67±0.51 ^{bc}	7.63±0.47 ^c	8.00±0.46 ^{bc}	7.93±0.25 ^{bc}	9.17±0.70 ^{ab}
碱性磷酸酶 AKP (U/L)	33.57±0.67 ^a	29.80±1.87 ^b	23.77±0.55 ^c	24.43±0.51 ^c	29.77±2.19 ^b	30.07±1.06 ^{ab}

1994)、金头鲷仔稚鱼的 1%(Bessonart *et al.*, 1999)、牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*)仔稚鱼的 1.5%(刘镜恪等, 2005)、欧洲鲈鱼(*Dicentrarchus labrax*)仔稚鱼的 1.20%(Atalah *et al.*, 2011)。但与牙鲆亲鱼的 0.6%(Furuita *et al.*, 2003)、鲈鱼幼鱼的 0.36%–0.56%(Xu *et al.*, 2010)相近。此外,也有一些研究表明,饲料中添加 ARA 并不能显著提高海水鱼类的生长性能(Zheng *et al.*, 1996; Willey *et al.*, 2003; Villalta *et al.*, 2005)。这种实验生长结果的差异可能是由实验鱼种类和规格、饲养方式与养殖环境的不同所造成的。

当前,许多研究表明,ARA 衍生物前列腺素 E₂ 与前列腺素 F_{2a} 在动物体能起到重要的生理调节作用,E₂ 在体内能抑制肌原纤维的形成,从而可以导致肌肉降解,F_{2a} 则具有相反的作用(Palmer, 1990)。由此可以推断,不同 ARA 含量的饲料之所以能够对鱼体的生长造成不同的影响,主要是因为不同含量的 ARA 在鱼体内代谢产生不同含量的衍生物,使得鱼体内前列腺素 E₂ 与 F_{2a} 的比例不同。本研究结果显示,实验鲈鱼的特定生长率和饲料效率具有相同的变化趋势,并且对照组的实验鱼肝脏与血清 SOD 活性偏低,而 MDA 含量偏高,血清中转氨酶活性偏高,这一系列结果均表明,饲料中 ARA 缺乏可能会降低鱼体的抗氧化能力并损害肝脏健康,降低鲈鱼生长性能与饲料利用率。这一结果与 Xu 等(2010)在鲈鱼幼鱼中的研究结果相似。

本研究表明,不同 ARA 含量的饲料对鲈鱼的成活率没有显著影响,在其他一些研究中也得到了类似的结果(Villalta *et al.*, 2005; Bransden *et al.*, 2005; Lund *et al.*, 2007)。但是,也有研究表明,饲料中适量的 ARA 对海水仔稚幼鱼的成活率具有促进作用。如 Bessonart 等(1999)在金头鲷仔稚鱼的研究中指出,当 ARA 含量提高到 1.8%时,仔稚鱼的成活率有了显著的提高;谢奉军(2011)¹⁾研究也指出,饲料中 ARA 含量为 0.87%时,大黄鱼仔稚鱼获得最佳存活率。产生这一差异的原因可能是因为 ARA 在海水鱼类的抗应激过

程中能够发挥重要的生理作用,在仔稚鱼及幼鱼阶段,鱼体抗应激能力弱,对 ARA 的需要量就高,而规格较大的鱼本身的抗应激能力就较强,所以在抗应激方面对 ARA 的需求相对较低(Koven *et al.*, 2001、2003; Rezek *et al.*, 2009),而本研究使用的实验鱼是大规格鲈鱼,其抗应激能力已经较强,因此,成活率受饲料中 ARA 含量的影响不大。这一结论也很好的解释了为什么大规格的鱼对 ARA 的需求量比仔稚鱼及大部分幼鱼都低。

本研究中,随着 ARA 含量的增加,鲈鱼的肝体比、脏体比和肥满度并没有产生显著性差异($P>0.05$)。但实验对照组的肝体比要高于其他组,这一实验结果与刘亮(2008)²⁾在军曹鱼(*Rachycentron canadum*)和 Xu 等(2010)在鲈鱼幼鱼中的研究结果相似,造成这一结果的原因可能是因为对照组饲料中脂肪酸营养失衡,导致实验鱼肝脏健康受到一定程度的损伤。同时,实验结果显示,随着饲料中 ARA 含量升高,全鱼脂肪含量呈现先降低后升高的趋势,这可能是由于饲料中过高的 ARA 含量造成了鲈鱼体脂肪的沉积(杜震宇等, 2002)。

根据相关报道,ARA 对鱼体的抗氧化能力具有一定的调节作用,饲料中适宜的 ARA 含量可以增强鱼体的抗氧化功能(Beel *et al.*, 1996; Sargent *et al.*, 1999; Good *et al.*, 2001; Xu *et al.*, 2010)。本研究结果显示,当饲料中 ARA 的含量在 0.37%–0.60%时,实验鲈鱼的血清与肝脏中 SOD 活性显著提高,这可以证明,ARA 在机体的抗氧化反应中具有调节作用。Xu 等(2010)研究发现,在饲料中添加 0.56%的 ARA 能提高鲈鱼幼鱼血清中 SOD 的活性的结果一致。也与牡蛎(*Ostrea gigas*)(Delaporte *et al.*, 2006; Hurtado *et al.*, 2009)的研究结果类似。本研究结果显示,肝脏与血清中 MDA 含量的变化趋势正好和 SOD 活性相对应,说明 ARA 对于抵抗机体脂质过氧化、提高机体抗氧化能力有一定促进作用。

肝脏是鱼类重要的代谢场所,也是反应机体健康

1) 谢奉军. 大黄鱼仔稚鱼氨基酸及脂肪酸营养生理的研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2011

2) 刘亮. 军曹鱼幼鱼对花生四烯酸的需求与调控. 汕头大学硕士研究生学位论文, 2008

与否的重要器官。肝脏中 GPT 和 GOT 是最具有代表性的转氨酶,其活力大小常作为评价肝细胞完整性及肝脏健康的酶学指标(冯健等, 2004; 潘鲁青等, 2005; 王丽宏等, 2011; 陆凯等, 2015)。本研究结果显示, ARA 含量为 0.37%、0.60% 饲料组的实验鱼血清中 GPT 和 GOT 活性显著低于对照组($P < 0.05$), 表明这两组实验鱼的肝脏健康状况要好于对照组, 这一结果与本研究鱼体特定生长率显示的结果一致。因此, 表明 ARA 对鱼体肝脏健康具有重要的影响, 这与 Ganga 等(2006)、Atalan 等(2011)的研究结果是一致的。碱性磷酸酶是指示胆汁淤积及机体健康的重要指标, 当体内碱性磷酸酶总活性发生改变时, 说明某些代谢性疾病(如肝胆疾病)在体内已经处于发生发展的过程中(夏树等, 2010)。本研究 ARA 含量的不同对血清中 AKP 的活性也产生了一定的影响, 但其原因有待进一步研究。

综上所述, 饲料中适量添加 ARA 对鲈鱼的生长性能具有促进作用。以 SGR 和 FE 作为评价指标经折线模型分析得出, (207.16±0.72) g 规格的鲈鱼饲料中 ARA 的最适含量均为 0.37% 饲料干重, 占饲料脂肪的 3.29%。在该饲料 ARA 含量下, 鲈鱼同样具有最好的抗氧化水平及肝脏健康状态。

参 考 文 献

- 王丽宏, 叶元士, 张宝彤, 等. 几种养殖鱼类血清转氨酶活性参考值的探讨. 饲料工业, 2011, 32(24): 18–20
- 冯健, 刘永坚, 田丽霞, 等. 草鱼试验性镉中毒对肝脏、肾脏和骨骼的影响. 水产学报, 2004, 28(2): 195–200
- 刘镜格, 周利, 雷霖霖. 海水仔稚鱼脂类营养研究进展. 海洋与湖沼, 2002, 33(4): 446–452
- 刘镜格, 陈晓琳. 实验微粒饲料中花生四烯酸含量对牙鲆仔稚鱼生长、存活的影响. 海洋与湖沼, 2005, 36(5): 418–422
- 杜震宇, 刘永坚, 郑文晖, 等. 三种脂肪源和两种降脂因子对鲈生长、体营养成分组成和血清生化指标的影响. 水产学报, 2002, 26(6): 542–550
- 苏传福. 花鲈营养需求的研究进展. 饲料研究, 2005(11): 30–33
- 陆凯, 徐玮, 麦康森, 等. 生长中期花鲈对 L-异亮氨酸需要量的研究. 水产学报, 2015, 39(2): 203–212
- 夏树, 赵德明. 817 肉杂鸡饲料中锌适宜水平的研究. 饲料工业, 2010, 31(16): 5–8
- 梁萌青, 王家林, 常青, 等. 饲料中硒的添加水平对鲈鱼生长性能及相关酶活性的影响. 中国水产科学, 2006, 13(6): 1017–1022
- 窦兵帅, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 饲料中碳水化合物水平对鲈鱼生长、生理状态参数及体组成的影响. 渔业科学进展, 2014, 35(1): 46–54
- 窦秀丽, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)生长后期对苏氨酸需要量. 渔业科学进展, 2014, 35(6): 45–52
- 潘鲁青, 吴众望, 张红霞. 重金属离子对凡纳滨对虾组织转氨酶活力的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2005, 35(2): 195–198
- Atalan E, Hernandez-Cruz CM, Ganuza E, *et al.* Importance of dietary arachidonic acid for the growth, survival and stress resistance of larval European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed high dietary docosahexaenoic and eicosapentaenoic acids. Aquac Res, 2011, 42(9): 1261–1268
- Bae JY, Kim DJ, Yoo KY, *et al.* Effects of dietary arachidonic acid (20:4n-6) levels on growth performance and fatty acid composition of juvenile eel, *Anguilla japonica*. Asian Aust Anim Sci, 2010, 23(4): 508–514
- Bessonart M, Izquierdo MS, Salhi M, *et al.* Effect of dietary arachidonic acid levels on growth and survival of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) larvae. Aquaculture, 1999, 179(1–4): 265–275
- Bruce M, Oyen F, Bell G, *et al.* Development of broodstock diets for the European seabass (*Dicentrarchus labrax*) with special emphasis on the importance of n-3 and n-6 HUFA to reproductive performance. Aquaculture, 1999, 177(1–4): 85–97
- Castell JD, Bell JG, Tocher DR, *et al.* Effects of purified diets containing different combinations of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture, 1994, 128(s3–4): 315–333
- Delaporte M, Soudant P, Moal J, *et al.* Impact of 20:4n-6 supplementation on the fatty acid composition and hemocyte parameters of the pacific oyster *Crassostrea gigas*. Lipids, 2006, 41(6): 567–576
- Esteban MA, Rodriguez A, Ayala AG, *et al.* Effects of high doses of cortisol on innate cellular immune response of seabream (*Sparus aurata* L.). Gen Comp Endocrinol, 2004, 137(1): 89–98
- Furuita H, Tanaka T, Yamamoto N, *et al.* Effect of high levels of n-3 HUFA in broodstock diet on egg quality and egg fatty acid composition of the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 2002, 210(1–4): 323–333
- Furuita H, Tanaka T, Yamamoto N, *et al.* Effect of arachidonic acid levels in broodstock diet on larval and egg quality of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 2003, 220(1–4): 725–735
- Ganga R, Tort L, Acerote L, *et al.* Modulation of ACTH-induced cortisol release by polyunsaturated fatty acids in interrenal cells from gilthead seabream (*Sparus aurata*). J Endocrinol, 2006, 190(1): 39–45
- Good JE, Bell JG, Thompson KD, *et al.* Assessment of immune response in Atlantic salmon (*Salmo salar*) receiving alternative oil diets. An abstract and poster presentation at the 5th Nordic Fish Immunology Symposium June Institute

- of Pharmacy. Oslo, Norway: University of Oslo, 2001, 42: 99–120
- Hurtado MA, Reza M, Ibarra AM, *et al.* Arachidonic acid (20:4n-6) effect on reproduction, immunology, and prostaglandin E₂ levels in *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951). *Aquaculture*, 2009, 294(3–4): 300–305
- Khozin-Goldberg I, Cohen Z, Pimenta-Leibowitz M, *et al.* Feeding with arachidonic acid-rich triacylglycerols from the microalga *Parietochloris incise* improved recovery of guppies from infection with *Tetrahymena* sp. *Aquaculture*, 2006, 255(1–4): 142–150
- Koven W, Barr S, Lutzky I, *et al.* The effect of dietary arachidonic acid (20:4n-6) on growth, survival and resistance to handling stress in gilthead seabream, *Sparus aurata* larvae. *Aquaculture*, 2001, 193(1–2): 107–122
- Koven W, van Anholt R, Lutzky S, *et al.* The effect of dietary arachidonic acid on growth, survival, and cortisol levels in different-age gilthead sea bream larvae (*Sparus auratus*) exposed to handling or daily salinity change. *Aquaculture*, 2003, 228(1–4): 307–320
- Lund I, Steinfeldt SJ, Hansen BW. Effect of dietary arachidonic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid on survival, growth and pigmentation in larvae of common sole (*Solea solea* L.). *Aquaculture*, 2007, 272(4): 532–544
- Mai KS, Zhang L, Ai QH, *et al.* Dietary lysine requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture*, 2006, 258(1–4): 535–542
- Navas JM, Bruce M, Thrush M, *et al.* The impact of seasonal alteration in the lipid composition of broodstock diets on egg quality in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *J Fish Boil*, 1997, 57(1): 760–773
- Palmer RM. Prostaglandins and the control of muscle protein synthesis and degradation. *Prostaglandins Leukot. Essent. Prostag Leukotr Ess*, 1990, 39(2): 95–104
- Rezek T, Watanabe WO, Harel M, *et al.* Effects of dietary docosahexaenoic acid (22:6n-3) and arachidonic acid (20:4n-6) on the growth, survival, stress resistance and fatty acid composition in black sea bass *Centropristis striata* (Linnaeus 1758) larvae. *Aquac Res*, 2009, 41(9): 1302–1314
- Salhi M, Izquierdo MS, Hernandez-Cruz CM, *et al.* Effect of lipid and n3HUFA levels in microdiets on growth, survival and fatty acid composition of larval gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 1994, 124(1–4): 275–282
- Sargent JR, Bell JG, Bell MV, *et al.* Requirement criteria for essential fatty acids. *J Appl Ichthyol*, 1995, 11(11): 183–198
- Sargent JR, McEvoy LA, Estévez A, *et al.* Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions. *Aquaculture*, 1999, 179(1–4): 217–229
- Skalli A, Robin JH. Requirement of n-3 long chain polyunsaturated fatty acids for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles: growth and fatty acid composition. *Aquaculture*, 2004, 240(1–4): 399–415
- Tang DG, Chen YQ, Honn KV. Arachidonate lipoxigenases as essential regulators of cell survival and apoptosis. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1996, 93(11): 5241–5246
- Van Anholt RD, Koven WM, Lutzky S *et al.* Dietary supplementation with arachidonic acid alters the stress response of gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. *Aquaculture*, 2004, 238(1–4): 369–383
- Villalta M, Estévez A, Bransden MP, *et al.* Arachidonic acid enriched live prey induces albinism in Senegal sole (*Solea senegalensis*) larvae. *Aquaculture*, 2005, 245(1): 193–209
- Willey S, Bengtson DA, Harel M. Arachidonic acid requirements in larval summer flounder, *Paralichthys dentatus*. *Aquacult Int*, 2003, 11(1): 131–49
- Xu HG, Ai QH, Mai KS, *et al.* Effects of dietary arachidonic acid on growth performance, survival, immune response and tissue fatty acid composition of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture*, 2010, 307(1–2): 75–82
- Zhang CX, Mai KS, Ai QH, *et al.* Dietary phosphorus requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture*, 2006, 255(1–4): 201–209
- Zheng FT, Takeuchi K, Yoseda M, *et al.* Requirement of larval cod for arachidonic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid using by their enriched *Artemia nauplii*. *Nippon Suisan Gakk*, 1996, 62: 669–676

(编辑 陈严)

Requirement of Arachidonic Acid in Adult Japanese Seabass (*Lateolabrax japonicus*)

WANG Chengqiang^{1,2}, LIANG Mengqing^{2,3①}, XU Houguo², ZHENG Keke², LIU Xi^{1,2}

(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;

3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071)

Abstract It has been clear that the dietary arachidonic acid (ARA) is essential in the growth of juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*), and the requirement of ARA could vary at different growth stages. A 12-week feeding experiment was conducted to investigate the optimal level of ARA in diet of Japanese seabass [mean initial weight (207.16±0.72) g]. Six isonitrogenous and isoenergetic diets were formulated with graded levels of dietary ARA, 0.05%, 0.22%, 0.37%, 0.60%, 1.38% and 2.32%, respectively. Triplicate groups of 20 fish were fed to apparent satiation twice daily. The water temperature ranged from 23 to 30.5°C, the salinity from 26 to 31 and the dissolved oxygen content was approximately 6.5 mg/L during the experimental period. The results showed that no significant differences in survival rate (93.33%–98.33%) were found among dietary treatments ($P>0.05$). With the increase of dietary ARA levels, the specific growth rate (SGR) and feed efficiency (FE) increased at first, and then kept steady after reaching their peaks at the 0.37% dietary ARA level ($P<0.05$). No significant differences were found in hepatosomatic index (HSI), viscerasomatic indexes (VSI) and condition factor (CF) among dietary treatments ($P>0.05$). The body composition analysis showed that the whole-body protein content first increased and, then decreased with increasing dietary ARA, while the whole-body lipid content followed the opposite pattern. With the increase of dietary ARA levels, the activities of superoxide dismutase (SOD) in serum and liver significantly increased at first and then showed a declining tendency ($P<0.05$), but the malondialdehyde (MDA) contents in serum and liver had a converse trend with SOD ($P<0.05$). The activities of glutamic-oxaloacetic transaminase (GOT) and glutamic-pyruvic transaminase (GPT) in serum observably decreased when the dietary ARA level increased from 0.05% to 0.37%, and then increased when the dietary ARA level increased from 0.37% to 2.32% ($P<0.05$). The broken-line model analysis based on SGR and FE indicated that the optimal level of dietary ARA for Japanese seabass of (207.16±0.72) g of the diet was 0.37%.

Key words Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*); Arachidonic acid; Growth performance; Requirement

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