

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180314001

http://www.yykxjz.cn/

李远友, 李孟孟, 汪萌, 张媚, 麻永财, 张关荣, 陈汉毅, 宁丽军, 谢帝芝, 王树启, 游翠红. 卵形鲳鲹营养需求与饲料研究进展. 渔业科学进展, 2019, 40(1): 167-177

Li YY, Li MM, Wang M, Zhang M, Ma YC, Zhang GR, Chen HY, Ning LJ, Xie DZ, Wang SQ, You CH. Research advances in nutritional requirement and feed of *Trachinotus ovatus*. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(1): 167-177

## 卵形鲳鲹营养需求与饲料研究进展\*

李远友<sup>1#①</sup> 李孟孟<sup>1#</sup> 汪萌<sup>2</sup> 张媚<sup>2</sup> 麻永财<sup>1</sup> 张关荣<sup>2</sup>  
陈汉毅<sup>1</sup> 宁丽军<sup>1</sup> 谢帝芝<sup>1</sup> 王树启<sup>2</sup> 游翠红<sup>2</sup>

(1. 华南农业大学海洋学院 广州 510642; 2. 汕头大学 广东省海洋生物技术重点实验室 汕头 515063)

**摘要** 卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)是我国近年来快速发展起来的重要海水养殖鱼类,其年产量高达12万t。目前,国内外有关该鱼的营养需求与饲料研究已有较多报道,但对有些营养素的研究还是空白。本文主要就其蛋白质、氨基酸、脂肪、脂肪酸、碳水化合物和微量营养素的需求,蛋白源和脂肪源替代鱼粉和鱼油,功能性饲料添加剂应用等方面的研究进展进行综述,以期为该鱼的精准营养研究及高效低成本环保配合饲料的研发提供参考资料,从而推动其养殖业的健康可持续发展。

**关键词** 卵形鲳鲹; 营养需求; 饲料; 精准营养

**中图分类号** S963.7 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)01-0167-11

### 1 卵形鲳鲹的生物学特性及养殖现状

卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)俗称金鲳,隶属于鲈形目(Perciformes)、鲹科(Carangidae)、鲳鲹属(*Trachinotus*),为广盐暖水性鱼类。该鱼具有肉质鲜美、生长快、食性简单、抗逆性强和成活率高等特点(区又君等,2014)。由于其生长全程可接受配合饲料,上市规格适中且价格实惠,广受养殖者和消费者的喜爱,已成为我国南方沿海地区主要的海水鱼养殖品种之一。

2003年以来,我国粤、琼、闽等省的沿海地区开始广泛养殖卵形鲳鲹。随后,其繁育技术获得突破,进一步促进了养殖业的发展。2016年,卵形鲳鲹年养殖产量达12万t以上。养殖规模的迅速增长,

也促进其饲料产业的发展。近年来,该鱼配合饲料市场容量达20万t,年销售量约16万t(中国水产养殖网)。

### 2 卵形鲳鲹的营养与饲料研究进展

#### 2.1 卵形鲳鲹的蛋白质营养研究

**2.1.1 蛋白质需求** 蛋白质是鱼类的重要营养物质之一,饲料中适宜的蛋白质对维持鱼体正常新陈代谢、生长和繁殖等具有重要的生理作用(Chou *et al.*, 1996)。研究蛋白质营养需求是鱼类营养学的重要内容,有利于推动饲料配制逐步由“粗蛋白质”向“总氨基酸→理想氨基酸模式”过渡,对于研发高效、环境友好型配合饲料具有重要的意义。

\* 国家海水鱼产业技术体系岗位科学家项目(CARS-47-G13)资助 [This work was supported by China Agriculture Research System (CARS-47-G13)].

#并列第一作者,李孟孟, E-mail: mengmengli1990@126.com

① 通讯作者:李远友,教授, E-mail: yylli16@scau.edu.cn

收稿日期:2018-03-14, 收修改稿日期:2018-04-27

目前,有关卵形鲳鲹的蛋白质需求已有较多研究报道。刘兴旺等(2011)以鱼粉和豆粕为蛋白源,配制粗蛋白水平为30.32%~54.07%的配合饲料,在海水网箱中以卵形鲳鲹幼鱼[(24.39±0.23)g]为对象开展8周养殖实验。以特定生长率(Specific growth rate, SGR)为评价指标,经折线模型分析得到配合饲料中蛋白质的适宜添加量为45.75%。王飞(2012)采用类似于刘兴旺等(2011)的方法对卵形鲳鲹稚鱼(4.70g)的研究发现,其饲料中适宜粗蛋白质水平为45%~49%,适宜粗脂肪水平为6.50%。此结果与佛罗里达鲳鲹(*Trachinotus carolinus*)稚鱼(4.50~6.30g)的45%~50%

蛋白质需求量一致(Lazo *et al.*, 1998)。马学坤(2013)以蒸汽鱼粉、无皮豆粕为蛋白源,通过添加不同量的混合油脂以调节能量水平,设计38%、42%和46%三个蛋白梯度和8%、12%和16%三个脂肪梯度共9种饲料。通过8周的网箱养殖,依据增重率(Weight gain rate, WGR)和饲料利用率(Feed conversion ratio, FCR),发现卵形鲳鲹幼鱼(17.5g)饲料中适宜蛋白质、脂肪、蛋能水平分别为42%、12%和28mg/kJ。综上所述,卵形鲳鲹幼鱼配合饲料中蛋白质适宜添加水平为42%~49%(表1)。但有关其他生长阶段(如中成鱼和成鱼期)配合饲料中适宜蛋白质需求量仍不清楚。

表1 卵形鲳鲹的蛋白质需求  
Tab.1 Dietary protein requirements of *T. ovatus*

实验鱼规格 Fish weight(g)	蛋白质需求量 Protein requirement (%)	蛋白源 Protein sources	评估指标和计算方法 Evaluated index and calculation method	参考文献 Reference
4.70	46.00~49.00	FM, SBM, RM, BYP, WF	SGR, BLM	Wang 等(2013)
17.50	42.00	FM, SBM	WGR, FCR	马学坤(2013)
24.39	46.00	FM, SBM	SGR, BLM	刘兴旺等(2011)
25.02	43.00	FM, SBM	SGR	刘兴旺等(2011)
518.81	41.00	FM, SBM	NSIP	唐媛媛(2014)

注: FM: 鱼粉; SBM: 豆粕; RM: 菜籽粕; BYP: 啤酒酵母; WF: 小麦粉; SGR: 特定生长率; BLM: 折线模型; WGR: 增重率; FCR: 饲料利用率; NSIP: 非特异性免疫指标

Note: FM: Fish meal; SBM: Soybean meal; RM: Rapeseed meal; BYP: Beer yeast powder; WF: Wheat flour; SGR: Specific growth rate; BLM: Broken line model; WGR: Weight gain rate; FCR: Feed conversion ratio; NSIP: Non-specific immunity parameters

**2.1.2 氨基酸需求** 在当前植物性蛋白原料使用日渐增多的情况下,必需氨基酸(Essential amino acids, EAA)的合理供给对维持鱼体正常生长和健康具有重要意义。Lin 等(2015)以精氨酸含量为2.05%~3.58%的6个水平等氮等脂饲料(43%粗蛋白质和12%的粗脂肪)饲喂卵形鲳鲹幼鱼[(18.81±0.18)g],以特定生长率为评价指标,通过二次曲线得出其精氨酸的适宜需求量为2.73%。杜强等(2011)研究发现,卵形鲳鲹幼鱼[(14.78±0.41)g]饲料中赖氨酸适宜添加量为饲料干重的2.94%,占饲料蛋白质含量的6.07%(增重率与饲料中赖氨酸含量的折线模型)。Niu 等(2013)报道,卵形鲳鲹幼鱼对蛋氨酸的最适需求为1.06%。马学坤(2013)用线性模型分析卵形鲳鲹幼鱼增重率和特定生长率与不同添加量氨基酸的关系,得出其对精氨酸、赖氨酸和蛋氨酸的需求量分别为2.68%、2.61%和1.21%。黄忠等(2017)研究表明,饲料中1.82%~2.07%异亮氨酸水平能有效提高卵形鲳鲹消化酶活性和免疫能力。除了上述报道的5种EAA外(表2),卵形鲳鲹对苯丙氨酸、缬氨酸、色氨酸、苏氨酸和组氨酸

等其他EAA的需求量仍不清楚。此外,卵形鲳鲹全鱼和肌肉的氨基酸组成见表3,以供研究者参考。

**2.1.3 替代蛋白源的利用** 鱼粉具有蛋白质含量高、氨基酸平衡、适口性好、抗营养因子少以及易被动物消化吸收等特点,一直以来都被作为水产饲料中最优质的蛋白源。然而,随着水产养殖业的快速发展,鱼粉资源供不应求,价格飙升。因此,寻求鱼粉的适宜替代源成为亟待解决的问题(Turchini *et al.*, 2010)。

近年来,国内外学者对卵形鲳鲹饲料中鱼粉的替代源进行了较多研究。刘兴旺等(2010)研究发酵豆粕和豆粕替代鱼粉对卵形鲳鲹成鱼[(112.21±0.73)g]生长的影响。结果表明,与对照组相比,豆粕替代量达45.10%时,鱼的特定生长率、饲料转化率和蛋白质效率显著降低;发酵豆粕45.10%的替代量对鱼生长性能无影响,但60.80%替代量对生长性能产生负面影响。赵丽梅等(2011)研究表明,发酵豆粕替代23%的鱼粉,对卵形鲳鲹幼鱼[(60.00±4.00)g]生长性能无显著性影响。如果在饲料中额外添加一定量蛋氨酸和赖氨酸,则豆粕替代50%的鱼粉对卵形鲳鲹幼鱼(18g)

表 2 卵形鲳鲆的氨基酸需求  
Tab.2 Dietary amino acid requirements of *T. ovatus*

氨基酸 Amino acid	实验鱼规格 Fish weight (g)	需求量 Requirement (%)	蛋白源 Protein sources	评估指标和计算方法 Evaluated index and calculation method	参考文献 Reference
赖氨酸 Lys	14.78	2.94	FM, SBM, CGM	WGR, BLM	杜强等(2011)
	16.00	2.61	FM, CGM	SGR, BLM	马学坤(2013)
精氨酸 Arg	18.81	2.73	FM, CGM, RM, PM	SGR, PRA	谭小红(2014)
	16.00	2.68	FM, SBM	WGR, PRA	马学坤(2013)
蛋氨酸 Methionine	12.40	1.06	FM, CGM, SBM, PM	WGR, BLM	Niu 等(2013)
	12.40	1.28	FM, CGM, SBM	WGR, BLM	杜强等(2011)
	16.00	1.21	FM, SBM	SGR, BLM	马学坤(2013)
异亮氨酸 Ile	6.36	1.82~2.07	FM, SBM, PM, L-Cry	DP, IF	黄忠等(2017)
亮氨酸 Leu	5.76	3.06	FM, PM, SBM	WGR, BLM	Tan 等(2016)

注: CGM: 玉米蛋白粉; PM: 花生粕; L-Cry: L-晶体氨基酸; DP: 消化性能; IF: 免疫机能; PRA: 二次曲线。其他简写同表 1

Note: CGM: Corn gluten meal; PM: Peanut meal; L-Cry: L-crystal amino acid; DP: Digestive performance; IF: Immune function; PRA: Polynomial regression analysis. Other abbreviations are the same as shown in Tab.1

表 3 卵形鲳鲆全鱼和肌肉的氨基酸组成  
(高文等, 2013; 杨欣怡, 2016)

Tab.3 The amino acid composition of whole fish and muscle of *T. ovatus*

氨基酸 Amino acid	全鱼 Whole fish	肌肉 Muscle
苏氨酸 Thr	2.87	2.98
缬氨酸 Val	3.20	3.63
异亮氨酸 Ile	2.70	3.27
亮氨酸 Leu	4.58	5.53
苯丙氨酸 Phe	2.63	2.74
精氨酸 Arg	4.72	4.25
赖氨酸 Lys	5.13	6.29
组氨酸 His	1.47	1.63
色氨酸 Trp	—	—
蛋氨酸 Met	1.78	2.20
必需氨基酸 EAA	29.08	26.65
胱氨酸 Cys	0.74	0.32
丝氨酸 Ser	2.75	2.46
甘氨酸 Gly	7.28	4.18
脯氨酸 Pro	4.17	2.93
谷氨酸 Glu	9.33	10.15
丙氨酸 Ala	5.14	4.27
天冬氨酸 Asp	6.54	6.90
酪氨酸 Tyr	—	2.46
非必需氨基酸 Non-EAA	36.11	39.56
总氨酸 Total	65.08	66.19

生长也无影响(刘兴旺等, 2010)。当卵形鲳鲆饲料中豆粕替代 20%鱼粉且额外添加 0.15% DL-Met 和 0.24% Lys-HCl(78%)时, 获得优于鱼粉组的最大生长

(高文等, 2013)。另有研究报道, 采用豆粕、玉米蛋白粉和大豆浓缩蛋白的混合植物蛋白替代鱼粉时, 在各替代组都加入不低于对照组含量的晶体赖氨酸和蛋氨酸时, 混合植物蛋白源替代 25%鱼粉对卵形鲳鲆幼鱼[(6.26±0.07) g]的生长性能无显著影响(杜强, 2012)。王飞(2012)采用鸡肉粉作为鱼粉的替代物, 60%替代水平对卵形鲳鲆的肝体比、脏体比和鱼体营养组成都无显著影响。Wang 等(2017)研究显示, 当卵形鲳鲆幼鱼[(16.7±0.2) g]配合饲料中含有 17%家禽副产品粉和 0.01%硒-酵母时, 饲料中豆粕替代 60%鱼粉对其生长性能无显著影响。综上所述, 与鱼粉相比, 豆粕、发酵豆粕和家禽副产品粉等蛋白原料由于具有较低的价格和广泛的可用性, 近年来已成为热门的蛋白源替代物, 适宜的替代水平为 20%~50%(表 4)。然而, 其他植物蛋白源(菜籽粕、花生粕、棉籽粕等)和动物蛋白源(血粉、骨粉、昆虫蛋白粉等)在卵形鲳鲆饲料中应用研究少见报道, 值得进行研究。

需要注意的是, 随着配合饲料中其他蛋白源替代鱼粉比例的增加, 往往会引起水产动物摄食量下降、饲料利用率降低、生长缓慢、抗病能力降低等问题(Hardy, 2010; Oliva, 2012)。导致水产动物对替代蛋白源利用率不佳的原因较多, 主要有: 1) 替代蛋白源的氨基酸组成不平衡。动物对蛋白质的需求实质上是对氨基酸的需求, 蛋白质营养价值的高低往往取决于其中氨基酸的组成。替代蛋白源氨基酸组成的不平衡性, 尤其是赖氨酸和蛋氨酸等限制性氨基酸的缺乏, 会降低鱼体蛋白质的合成(Li *et al.*, 2009; Wu, 2009)。2) 植物性蛋白源含有较多的抗营养因子, 如胰蛋白

表4 卵形鲳鲹配合饲料中的鱼粉替代研究  
Tab.4 Research on the replacement of fish meal in compound feed of *T. ovatus*

实验鱼规格 Fish weight (g)	替代鱼粉比例 Replacement ratio of fish meal (%)	替代源 Alternative sources	参考文献 Reference
6.26	25.00	SBM, CGM, SPC	杜强(2012)
14.30	20.00	SPC	Wu等(2015)
18.00	50.00	SBM (Added Met and Lys)	高文等(2013)
18.00	20.00	SBM	高文等(2013)
112.21	31.40	SBM	刘兴旺等(2010)
21.20	15.38	FSBM	Lin等(2012)
60.00	25.00	FSBM	赵丽梅等(2011)
112.21	45.10	FSBM	刘兴旺等(2010)
4.70	60.00	CM	王飞(2012)
18.70	40.00	CM, SBM	Ma等(2014)
16.70	73.50	CM, SBM	王飞(2012)
10.30	50.00	RSBM	吴玉波(2014)
31.90	20.00	CGM, SBM	朱明等(2017)

注: SPC: 大豆浓缩蛋白; FSBM: 发酵豆粕; CM: 鸡肉粉。其他简写同表1或2

Note: SPC: Soybean protein concentrate; FSBM: Fermented soybean meal; CM: Chicken meal. Other abbreviations are the same as shown in Tab.1 or 2

酶抑制因子、木质素、生物碱、单宁、植酸、棉酚、植物凝集素、抗维生素因子及抗原蛋白等,会产生系列负作用,如:影响鱼的食欲,降低摄食量,从而抑制其生长(Volkoff *et al*, 2005);抗营养因子与饲料中某些营养物质结合形成难以消化的复合物,影响鱼体对该营养物质的消化利用率(Sugiura *et al*, 1998);影响鱼类消化系统的功能,从而降低鱼体消化酶活性(Ostaszewska *et al*, 2005);扰乱鱼体的生理功能,导致组织器官病变坏死等,从而抑制生长(Krogdahl *et al*, 2010)。针对上述问题,近年来,复合蛋白源替代鱼粉及额外添加晶体氨基酸的研究不断增多。另外,通过对植物蛋白源进行适当的加工和生物技术处理,如物理法、化学法、生物发酵法和酶制剂法等技术,可很大程度上降低抗营养因子含量,从而提高其饲用价值。

## 2.2 卵形鲳鲹的脂类营养研究

### 2.2.1 脂肪需求

脂肪不仅是天然饲料中主要的营养物质之一,也是高效配合饲料中不可缺少的重要原料。鱼类对脂肪的需求,不仅与其生长阶段有关,还与饲料中其他营养因子和环境因子有关。Tutman等(2004)采用脂肪含量为15%的膨化饲料喂养卵形鲳鲹幼鱼,取得较好的生长效果。刘兴旺等(2011)以鱼粉、豆粕为蛋白源,豆油、鱼油为脂肪源的饲料喂养卵形鲳鲹幼鱼[(25.02±0.16)g] 56 d。结果表明,在蛋白质水平为43%、粗脂肪为6%、蛋能比为24.4 mg/kJ

时,其幼鱼获得最佳生长性能。马学坤(2013)研究了不同蛋能比饲料对卵形鲳鲹幼鱼(17.5±0.1g)生长性能的影响,发现投喂42%蛋白质和12%脂肪的饲料获得最大生长性能和饲料利用率。唐媛媛等(2013)研究显示,在正常海水盐度(25~30)条件下,卵形鲳鲹适宜的脂肪需求为5%~12%。在低温胁迫条件下,饲料脂肪水平为8.23%时,能够有效改善脂质代谢、促进卵形鲳鲹的生长,提高其抗氧化能力和低温应激能力(冉长城, 2013)。

综上所述,配合饲料中6.5%~12%的粗脂肪能基本满足卵形鲳鲹幼鱼(5~50 g)的生长需求(表5)。但是,卵形鲳鲹作为广盐性鱼类,其在不同盐度条件下对脂肪需求的研究未见报道。

### 2.2.2 脂肪酸需求

不同鱼类的高不饱和脂肪酸(Highly unsaturated fatty acid, HUFA)或称长链多不饱和脂肪酸(Long-chain polyunsaturated fatty acid, LC-PUFA)的合成能力不同,导致其必需脂肪酸(Essential fatty acids, EFA)需求的种类和数量不同,进而决定其配合饲料的脂肪源不同;同种鱼在不同生长阶段(稚鱼、幼鱼和成鱼)对EFA的需求也不一样。目前,有关卵形鲳鲹EFA需求的研究报道很少,仅见戚常乐(2016)有过初步研究,以特定生长率为依据,通过二次曲线分析得出,卵形鲳鲹幼鱼对亚麻酸(18:3n3, ALA)、花生四烯酸(20:4n6, ARA)、二十二碳六烯酸(22:6n3, DHA)和二十碳五烯酸(20:5n3, EPA)的适宜需求量分

别为 1.04%、0.53%、0.42%和 0.85%(表 5)。本课题组最近的研究结果显示,卵形鲳鲹的 HUFA 合成能力缺乏或很弱(待发表结果),故其配合饲料中需要添加富含 HUFA 的鱼油才能满足鱼体正常生长和生理功

能对 EFA 的需要。但是,关于其饲料中适宜 HUFA 含量及 DHA/EPA 比率目前尚不明确,有待进一步研究。在此,呈现卵形鲳鲹全鱼和肌肉中脂肪酸组成(表 6),以供研究者参考。

表 5 卵形鲳鲹的脂肪和脂肪酸需求  
Tab.5 Dietary fat and fatty acids requirements of *T. ovatus*

项目 Items	实验鱼规格 Fish weight (g)	需求量 Requirement (%)	脂肪源 Fat source	评估指标和计算方法 Evaluated index and calculation method	参考文献 Reference
脂肪 Fat	4.70	6.50	FO	WGR, BLM	王飞, 2012
	15.20	8.23	FO, SBO, SPO	WGR, PRA	冉长城, 2013
	17.50	12.00	FO	WGR, FCR	马学坤, 2013
	25.02	6.50	FO, SBO	SGR	刘兴旺等, 2011
	50.30	6.95~9.56	FO, LO	WGR, BLM	张伟涛, 2009
脂肪酸 Fatty acids					
C18:3n3	10.38	1.04	FO, LO, LSO	SGR, PRA	戚常乐, 2016
C20:4n6	15.20	0.53	FO, LO, ARA-O	SGR, BLM	戚常乐, 2016
C20:5n3	5.41	0.42	PO, ARA-O, EPA-O	SGR, PRA	戚常乐, 2016
C22:6n3	8.31	0.85	PO, ARA-O, DHA-O	SGR, PRA	戚常乐, 2016

注: FO: 鱼油; SBO: 豆油; SPO: 大豆磷脂油; LO: 猪油; LSO: 亚麻籽油; PO: 棕榈油; ARA-O: 花生四烯酸纯化油; EPA-O: 二十碳五烯酸纯化油; DHA-O: 二十二碳六烯酸纯化油。其他简写同表 1 或 2

Note: FO: Fish oil; SBO: Soybean oil; SPO: Soybean phospholipid oil; LO: Lard oil; LSO: Linseed oil; PO: Palm oil; ARA-O: Arachidonic acid purified oil; EPA-O: Eicosapentaenoic acid purified oil; DHA-O: Docosahexaenoic acid purified oil. Other abbreviations are the same as shown in Tab.1 or 2

**2.2.3 替代脂肪源的利用** 据不完全统计,水产养殖业消耗的鱼油已超过世界鱼油总产量的 75%以上(Turchini *et al.*, 2010)。在目前鱼油产量不会增加且呈减少趋势、水产养殖和人类保健对鱼油需求日益增加的情况下,寻找适宜的鱼油替代品显得非常迫切。降低水产养殖业发展对鱼油的依赖,已成为学术界和企业界共同关注的焦点。其中,资源丰富、价格较低的植物油成为鱼油的理想替代源。目前,大豆油、菜籽油和亚麻籽油已在鱼类配合饲料中开展研究。孙卫(2013)采用 4.4%混合油(鱼油:豆油=1:1)、4.4%鱼油、4.4%玉米油、4.4%橄榄油为脂肪源的 4 种等氮(45%)等脂(9%)配合饲料以及商品饲料(全鱼油)饲喂卵形鲳鲹[(15.06±0.9)g] 6 周,发现混合油组鱼的成活率、增重率和饵料系数等指标都优于玉米油组和橄榄油组,且与商品料组无显著差异。黄劭等(2013)以进口鱼粉和豆粕为蛋白源的配合饲料,对初始体重为(70.63±1.78)g 的卵形鲳鲹进行养殖实验。结果表明,饲料中鱼油被豆油(磷脂)替代 50%或 100%时,其生长性能不受影响。张伟涛(2009)研究陆生动物脂肪替代鱼油对卵形鲳鲹(50.30 g 左右)的影响,发现配合饲料中猪油部分或全部替换鱼油对鱼的生长指标无影

响,但显著降低鱼体 HUFA 的含量。上述研究表明,在添加鱼粉、满足卵形鲳鲹对 EFA 需求的情况下,动植物油替代一定量的鱼油是可行的。

由于海水鱼 HUFA 的合成能力大多缺乏或很弱,其必需脂肪酸为 EPA 和 DHA 等(Tocher, 2010; Li *et al.*, 2010)。当以植物油部分或完全替代鱼油时,一方面会引起饲料中 EFA 无法满足卵形鲳鲹的营养需求,另一方面饲料中脂肪酸组成不均衡,可能导致卵形鲳鲹生长缓慢、肝脏病变和鱼体脂肪过度沉积等,从而影响替代效果(刘康, 2017)。因此,在满足鱼体最低 EFA 需求情况下开展混合植物油或动植物油替代鱼油的研究,对于研发高效低成本卵形鲳鲹配合饲料具有重要的现实意义。

### 2.3 卵形鲳鲹对碳水化合物的需求研究

配合饲料中添加适量的碳水化合物有利于饲料的适口性,对鱼类正常生长和肠道健康具有重要作用,同时,可起到节约蛋白质的效应。然而,鱼类(特别是肉食性海水鱼类)对碳水化合物的利用能力有限,海水鱼饲料中碳水化合物添加量一般不超过 20%,淡水鱼不超过 40%(蔡春芳等, 2006; 窦兵帅等, 2014)。

表 6 卵形鲳鲹全鱼和肌肉的脂肪酸组成  
(刘康, 2017; 杨欣怡, 2016)

Tab. 6 The fatty acid composition of whole fish and muscle of *T. ovatus*

脂肪酸 Fatty acids	全鱼 Whole fish	肌肉 Muscle
C14:0	1.81	1.97
C15:0	—	0.30
C16:0	24.46	24.02
C17:0	—	0.28
C18:0	4.74	5.09
C20:0	—	0.34
C22:0	—	0.33
C24:0	—	0.16
ΣSFA	31.00	32.58
C16:1n7	2.83	3.29
C17:1	—	0.21
C18:1n9	26.98	27.74
C20:1n-9	1.54	0.11
C22:1n-9	0.74	0.39
C24:1n-9	—	0.35
ΣMUFA	32.07	34.70
C20:2n7	—	1.33
C22:2n-6	—	0.18
C18:2n-6c	20.08	20.49
C20:3n-6	—	0.11
C20:4n-6	0.16	0.27
C18:3n-3	2.00	3.91
C20:3n-3	—	0.69
C20:5n-3	0.83	0.64
C22:6n-3	4.75	5.05
ΣPUFA	27.82	32.72
n-6PUFA	20.24	21.11
n-3PUFA	7.58	10.29
n-6/n-3 PUFA	2.67	2.05

在基础饲料中添加梯度糊化玉米淀粉,对卵形鲳鲹[(31.24±0.58) g]进行饲养实验,特定生长率和饲料糖水平的二次曲线回归分析表明,饲料中糖的适宜水平为 19.80%(董兰芳, 2016; 董兰芳等, 2016a、b)。Zhou 等(2015a)使用玉米淀粉为糖源,得出卵形鲳鲹幼鱼[(9.24±0.03) g]饲料中碳水化合物的适宜添加水平为 11.20%~16.80%。胡金城(2004)研究发现,卵形鲳鲹摄入过多糖类后,超过其利用能力,多余的部分通过代谢可能转化为脂肪,引起脂肪肝,妨碍正常的

生理机能。目前,未见不同生长阶段卵形鲳鲹对不同糖源的需求量及耐受能力方面的研究。

此外,随着植物性原料在卵形鲳鲹配方饲料中使用量的提高,粗纤维(CF)的作用也凸显出来。唐媛媛等(2013)对报道文献进行统计分析,推荐卵形鲳鲹配合饲料中 CF 含量为:稚鱼和幼鱼≤3.0%,中成鱼和成鱼≤6.0%,但关于卵形鲳鲹对 CF 的适宜需求量还需进一步研究。

## 2.4 卵形鲳鲹对微量营养素的需求研究

维生素是维持动物机体正常生长、发育和繁殖所必需的微量小分子有机化合物,其主要生理功能有:作为辅酶参与物质代谢和能量代谢调控;作为生理活性物质直接参与生理活动;作为生物体内的抗氧化剂保护细胞和器官组织的正常结构和生理功能;还有部分维生素能够作为细胞和组织的结构成分(麦康森, 2011)。迄今为止,有关卵形鲳鲹对维生素需求的研究仅见肌醇需求量的报道。黄忠等(2011)依据增重率和特定生长率得出,卵形鲳鲹幼鱼[(8.03±0.11) g]饲料中肌醇适宜添加量为 720 mg/kg。但是,有关卵形鲳鲹对许多具有重要生理功能的其他维生素的需求量仍不清晰,有待研究。

矿物质在鱼体内具有重要的生理功能,主要包括:作为骨骼、牙齿、甲壳及其他组织的构成成分;作为酶的辅基或激活剂;参与构成某些特殊功能物质;作为体液的电解质,维持体液渗透压和酸碱平衡;特定的金属元素与特异性蛋白结合形成金属酶;维持神经和肌肉的正常敏感性(周磊, 2012)。目前,关于卵形鲳鲹对矿物质需求量的研究尚未见报道,有必要加强研究。

## 2.5 卵形鲳鲹的饲料添加剂研究

饲料添加剂是指能够提高水产养殖动物生长性能、增强抗病力、提高营养物质的消化利用率、减少饲料营养物质排放、降低饲料中有毒有害物质含量并且不存在毒副残留等的少量或微量饲料添加物,包括酶制剂、微生态制剂、中草药、酸化剂、霉菌毒素吸附剂、免疫增强剂等(黄沧海, 2015; 麦康森, 2011)。

目前,国内外对于卵形鲳鲹饲料添加剂的研究已有报道,主要分为 3 个方面。生物活性物质的应用:饲料中添加 40 mg/kg 大豆异黄酮可以显著提高卵形鲳鲹的生长性能、非特异性免疫和肝脏抗氧化能力以及热应激蛋白 70(HSP70)基因的表达(Zhou *et al.*, 2015b);添加 0.5~4.0 g/kg 壳聚糖能显著改善卵形鲳鲹幼鱼(10.0 g 左右)的生长性能,增强免疫力(Lin *et al.*,

2012; 柳旭东等, 2016)。饲料中添加 0.11%~0.13% 虾青素可促进卵形鲳鲹生长性能, 提高缺氧诱导因子-1 $\alpha$  mRNA 的表达水平(Xie *et al.*, 2017)。微生态制剂的应用: 唐龙(2014)研究发现, 饲料中添加 2% 光合细菌复合制剂能促进卵形鲳鲹成鱼[(250.16 $\pm$ 1.02) g] 的生长、降低脂肪肝的发病率。添加 0.50% 胶红酵母可以显著提高卵形鲳鲹的生长性能和消化酶活力(夏冬梅, 2014)。植物提取物的应用: 饲料中添加蒲公英和山楂提取物可促进卵形鲳鲹的生长性能和生长相关基因表达, 改善肠道形态、免疫能力、抗氧化能力和肠道屏障, 维持肠道健康(Tan *et al.*, 2017、2018)。这些研究成果可为研发卵形鲳鲹高效配合饲料提供参考。

## 2.6 卵形鲳鲹饲料产业发展现状

目前, 我国卵形鲳鲹的饲料生产企业及品牌较多, 市场竞争激烈。据不完全统计, 2013 年华南沿海地区卵形鲳鲹饲料市场容量为 10 万 t 左右(刘锡强等, 2014)。2014 年由于 2 次大台风袭击了华南三省区, 致使海水养殖损失惨重, 卵形鲳鲹饲料市场容量约 8.8 万 t, 比 2013 年减少 12%(刘锡强, 2015)。2015 年和 2016 年是卵形鲳鲹养殖产业快速发展的阶段, 据不完全统计, 2016 年卵形鲳鲹饲料的市场容量已达 20 多万 t(廖静等, 2017)。

目前, 虽然卵形鲳鲹养殖产业发展迅速, 但其营养与饲料研究相对滞后。同时, 饲料企业的激烈竞争, 导致饲料产品质量参差不齐。虽然福建省(2008)制定了《卵形鲳鲹配合饲料》地方标准, 然而, 由于其营养需求的基础数据尚不完善, 且不同地区养殖环境差异较大, 同一品种不同生长阶段的营养需求也不尽相同。所以, 科学完善的《卵形鲳鲹配合饲料》行业标准的制定还需开展大量研究工作。

## 3 总论及展望

近年来, 卵形鲳鲹营养需求与饲料的研究主要集中在幼鱼对三大常量营养物质(蛋白质、脂肪、碳水化合物)需求量方面, 其配合饲料中蛋白质、脂肪和碳水化合物适宜的添加量分别为 41%~49%、6.5%~12%和 11.2%~16.8%; 赖氨酸、精氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸和亮氨酸适宜添加量分别为 2.61%~2.94%、2.68%~2.73%、1.06%~1.28%、1.82%~2.07%和 3.06%; 初步研究显示, 幼鱼对 ALA、ARA、EPA 和 DHA 的适宜需求量分别为 1.04%、0.53%、0.42%和 0.85%。利用其他蛋白源和脂肪源替代鱼粉和鱼油也进行了初步探究, 其中, 豆粕或发酵豆粕替代鱼粉的适宜水

平为 20%~50%; 在饲料中添加一定量鱼粉的情况下, 动植物油替代一定量鱼油是可行的; 卵形鲳鲹幼鱼饲料中大豆异黄酮、壳聚糖和胶红酵母发酵产品的适宜添加水平分别为 40 mg/kg、4.0 g/kg 和 500 mg/kg。

目前, 有关卵形鲳鲹营养需求与饲料研究仍然存在较多不足, 例如基础营养参数不全面: 如配合饲料中氨基酸和脂肪酸可用数据有限, 对维生素和矿物质的需求研究基本空白, 在不同生长阶段(幼鱼、中成鱼等)和不同养殖模式下(普通网箱、深海网箱、池塘等)的营养需求参数和特点不清楚; 蛋白源(植物蛋白、动物蛋白)替代鱼粉, 脂肪源(混合植物油、其他动物油)替代鱼油的研究需要深入, 其适宜的替代水平和技术还没有建立起来; 卵形鲳鲹脂肪含量较高, 脂类代谢与营养品质的关系有待研究。针对上述问题开展研究, 对于促进卵形鲳鲹高效低成本环保配合饲料的研发及其养殖业的健康可持续发展具有重要作用。

## 参 考 文 献

- Cai CF, Chen LQ. A review of the use of fish for sugar. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(5): 608–613 [蔡春芳, 陈立乔. 鱼类对糖的利用评述. *水生生物学报*, 2006, 30(5): 608–613]
- Chou B, Shiau S. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus*  $\times$  *Oreochromis aureus*. *Aquaculture*, 1996, 143(2): 185–195
- Dong LF, Zhang Q, Cheng GP, *et al.* Effect of different carbohydrate sources on the growth, body composition, plasma biochemical indices and glycolytic enzyme activities of *Trachinotus ovatus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2016a, 37(5): 22–29 [董兰芳, 张琴, 程光平等. 不同糖源饲料对卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)生长、体组成、血糖水平和肝脏糖酵解酶活力的影响. *渔业科学进展*, 2016a, 37(5): 22–29]
- Dong LF, Zhang Q, Cheng GP, *et al.* Effect of different carbohydrate sources on daily weight growth, feed utilization and digestive enzyme activities of *Trachinotus ovatus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2016b, 37(3): 42–48 [董兰芳, 张琴, 许明珠, 等. 不同糖源对卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)日增重、饲料利用和消化酶活性的影响. *渔业科学进展*, 2016b, 37(3): 42–48]
- Dong LF. Effects of dietary carbohydrate source and level on growth and glycometabolism of golden pompano (*Trachinotus ovatus*). Master's Thesis of Guangxi University, 2016 [董兰芳. 饲料不同糖源和糖水平对卵形鲳鲹生长和糖代谢的影响. 广西大学硕士研究生学位论文, 2016]
- Dou BS, Liang MQ, Zheng KK, *et al.* Effects of dietary carbohydrate level on growth, physiology and body composition of Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(1): 46–54 [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]
- Du Q, Lin HZ, Niu J, *et al.* Dietary lysine requirements of juvenile pompano (*Trachinotus ovatus*). Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(10): 1725–1732 [杜强, 林黑着, 牛津, 等. 卵形鲳鲹幼鱼的赖氨酸需求量. 动物营养学报, 2011, 23(10): 1725–1732]
- Du Q. Dietary lysine and methionine requirements and substitution of fish meal in diets for juvenile *Trachinotus ovatus*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2012 [杜强. 卵形鲳鲹赖氨酸和蛋氨酸需求量及饲料中鱼粉替代的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2012]
- Gao W, Andreas L, Silva C, *et al.* Comparison of performance between DL-methionine add or not in fish meal reduction diet for juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). Feed Industry, 2013(20): 28–33 [高文, Andreas L, Silva C, 等. 豆粕替代鱼粉饲料中添加 DL-蛋氨酸对卵形鲳鲹幼鱼生长性能和体组成的影响. 饲料工业, 2013(20): 28–33]
- Hardy RW. Utilization of plant proteins in fish diets: Effects of global demand and supplies of fishmeal. Aquaculture Research, 2010, 41(5): 770–776
- Hu JC. The prevention and control of fatty liver disease in the factory farming of golden pompano. Scientific Fish Breeding, 2004(1): 42 [胡金城. 工厂化养殖卵形鲳鲹脂肪肝病的防治. 科学养鱼, 2004(1): 42]
- Huang CH. Research and application of environmentally friendly aquatic feed additives. Feed China, 2015(7): 38–41 [黄沧海. 环保型水产饲料添加剂的研究与应用. 饲料广角, 2015(7): 38–41]
- Huang J, Cheng ZP, Jin MC, *et al.* Effects of different fat sources in feed on the growth of fish oil in gold pomfret. Journal of Yangtze University (Natural Science), 2013(17): 48–50 [黄劼, 程志萍, 金明昌, 等. 饲料中不同脂肪源替代鱼油对金鲷鱼生长的影响. 长江大学学报(自然科学版), 2013(17): 48–50]
- Huang Z, Lin HZ, Niu J, *et al.* Effects of dietary inositol on growth, feed utilization and blood biochemical index of juvenile pompano (*Trachinotus ovatus*). South China Fisheries Science, 2011, 7(3): 39–44 [黄忠, 林黑着, 牛津, 等. 肌醇对卵形鲳鲹生长、饲料利用和血液指标的影响. 南方水产科学, 2011, 7(3): 39–44]
- Huang Z, Zhou CP, Lin HZ, *et al.* Effects of dietary isoleucine levels on activities of digestive enzymes and immune index of *Trachinotus ovatus*. South China Fisheries Science, 2017, 13(1): 50–57 [黄忠, 周传朋, 林黑着, 等. 饲料异亮氨酸水平对卵形鲳鲹消化酶活性和免疫指标的影响. 南方水产科学, 2017, 13(1): 50–57]
- Krogdahl Å, Penn M, Thorsen J, *et al.* Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: An update on recent findings regarding responses in salmonids. Aquaculture Research, 2010, 41(3): 333–344
- Li P, Mai KS, Trushenski J, *et al.* New developments in fish amino acid nutrition: Towards functional and environmentally oriented aquafeeds. Amino Acids, 2009, 37(1): 43–53
- Li Y, Monroig O, Zhang L, *et al.* Vertebrate fatty acyl desaturase with  $\Delta 4$  activity. Proceedings of National Academy of Science of USA, 2010, 107(39): 16840–16845
- Liao J, Zhong XF. The “industrial revolution” of golden pompano is about to be launched. Ocean & Fishery, 2017(4): 24–25 [廖静, 钟小芳. 金鲷鱼“产业革命”即将开启. 海洋与渔业. 2017(4): 24–25]
- Lin H, Chen X, Chen S, *et al.* Replacement of fish meal with fermented soybean meal in practical diets for pompano *Trachinotus ovatus*. Aquaculture Research, 2012, 44(1): 151–156
- Lin S, Mao S, Guan Y, *et al.* Dietary administration of chitooligosaccharides to enhance growth, innate immune response and disease resistance of *Trachinotus ovatus*. Fish & Shellfish Immunology, 2012, 32(5): 909–913
- Liu K. Comparative study of carbohydrate and lipid metabolism of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*) and juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Doctoral Dissertation of Guangdong Ocean University, 2017 [刘康. 卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)幼鱼和大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)幼鱼糖脂代谢比较研究. 广东海洋大学博士研究生学位论文, 2017]
- Liu XD, Wang SX, Wang JY, *et al.* Application of shell oligosaccharides in diet of *Trachinotus ovatus*. Qilu Fishery, 2016(2): 4–7 [柳旭东, 王世信, 王际英, 等. 壳寡糖在卵形鲳鲹饲料中的应用研究. 齐鲁渔业, 2016(2): 4–7]
- Liu XQ, Ma XK, Liu K, *et al.* Report of golden pompano in south China. Current Fisheries, 2014(2): 26–29 [刘锡强, 马学坤, 刘康, 等. 华南地区金鲷鱼养殖报告. 当代水产, 2014(2): 26–29]
- Liu XQ. Review and prospect of the 2014 golden pompano farming in south China. Current Fisheries, 2015(2): 31–33 [刘锡强. 2014 年华南沿海金鲷鱼养殖回顾和展望. 当代水产, 2015(2): 31–33]
- Liu XW, Wang HL, Zhang HT, *et al.* Research on the optimum protein energy ratio in the feed of juvenile ovate pompano. Fisheries Science, 2011, 30(3): 136–139 [刘兴旺, 王华朗, 张海涛, 等. 卵形鲳鲹幼鱼饲料中适宜蛋白能量比的研究. 水产科学, 2011, 30(3): 136–139]
- Liu XW, Wang HL, Zhang HT, *et al.* The effects of soybean meal and fermented soybean meal on the growth of feed intake of golden pompano. China Feed, 2010(18): 27–29 [刘兴旺, 王华朗, 张海涛, 等. 豆粕和发酵豆粕替代鱼粉对卵形鲳鲹摄食生长的影响. 中国饲料, 2010(18): 27–29]
- Liu XW, Xu D, Zhang HT, *et al.* Research on the protein requirements of juvenile ovate pompano. Southern Fisheries Science, 2011, 7(1): 45–49 [刘兴旺, 许丹, 张海涛, 等. 卵形鲳鲹幼鱼蛋白质需要量的研究. 南方水产科学, 2011, 7(1): 45–49]



- Local standard of Fujian Province. Compound feed of *Trachinotus ovatus* (DB/35 848-2008). 2008 [福建省地方标准. DB/35 848-2008《卵形鲳鲹配合饲料》(DB/35 848-2008). 2008]
- Ma X, Wang F, Han H, *et al.* Replacement of dietary fish meal with poultry by-product meal and soybean meal for golden pompano, *Trachinotus ovatus*, reared in net pens. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2014, 45(6): 662–671
- Ma XK. The Study on dietary protein to energy ratios and several essential amino acids of juvenile ovate pompano. Doctoral Dissertation of Ocean University of China, 2013 [马学坤. 卵形鲳鲹幼鱼对饲料中蛋白能量比和几种必需氨基酸需求的研究. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2013]
- Mai KS. Nutrition and feed science of aquatic animals. Beijing: China Agricultural Press, 2011 [麦康森. 水产动物营养与饲料学. 北京: 中国农业出版社, 2011]
- Niu J, Du Q, Lin HZ, *et al.* Quantitative dietary methionine requirement of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* at a constant dietary cystine level. *Aquaculture Nutrition*, 2013, 19(5): 677–686
- Oliva TA. Nutrition and health of aquaculture fish. *Journal of Fish Diseases*, 2012, 35(2): 83–108
- Ostaszewska T, Dabrowski K, Palacios ME, *et al.* Growth and morphological changes in the digestive tract of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*) due to casein replacement with soybean proteins. *Aquaculture*, 2005, 245(1): 273–286
- Ou YJ, Fan CY, Li JE, *et al.* Effects of salinity on the osmoregulation and weight loss from starvation in *Trachinotus ovatus* juvenile. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(24): 7436–7443 [区又君, 范春燕, 李加儿, 等. 盐度对卵形鲳鲹幼鱼渗透压调节和饥饿失重的影响. 生态学报, 2014, 34(24): 7436–7443]
- Qi CL. The study on effects of dietary LNA, ARA, DHA and EPA levels on growth performance and immunity of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2016 [戚常乐. LNA、ARA、DHA 和 EPA 对卵形鲳鲹幼鱼生长及免疫影响的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2016]
- Ran CC. The influence of the fat level of feed on the physiological and biochemical indexes of *Trachinotus ovatus* juvenile in the low temperature. Master's Thesis of Guangdong Ocean University, 2013 [冉长城. 饲料脂肪水平对低温胁迫下卵形鲳鲹生理生化指标的影响. 广东海洋大学硕士研究生学位论文, 2013]
- Sugiura SH, Dong FM, Rathbone CK, *et al.* Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. *Aquaculture*, 1998, 159(3): 177–202
- Sun W. Influence of dietary lipids on physiology, biochemical and the fatty acid composition in *Trachinotus ovatus* under stress. Master's Thesis of Guangdong Ocean University, 2013 [孙卫. 不同脂肪源在低温胁迫下对卵形鲳鲹生理生化指标和脂肪酸组成的影响. 广东海洋大学硕士研究生学位论文, 2013]
- Tan X, Lin H, Huang Z, *et al.* Effects of dietary leucine on growth performance, feed utilization, non-specific immune responses and gut morphology of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus*. *Aquaculture*, 2016, 465: 100–107
- Tan X, Sun Z, Huang Z, *et al.* Effects of dietary hawthorn extract on growth performance, immune responses, growth-and immune-related genes expression of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*) and its susceptibility to *Vibrio harveyi* infection. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, 70: 656–664
- Tan X, Sun Z, Zhou C, *et al.* Effects of dietary dandelion extract on intestinal morphology, antioxidant status, immune function and physical barrier function of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 2018, 73: 197–206
- Tan XH. Dietary arginine requirements of juvenile gold pompano. Abstract of the Academic Annual Conference of the China Society of Fisheries, 2014 [谭小红. 卵形鲳鲹幼鱼的精氨酸需求量. 中国水产学会学术年会, 2014]
- Tang L. Effect of diet supplemented with photosynthetic bacteria on growth performance, serum indexes of liver and parts of the nutritional evaluation of protein in *Trachinotus ovatus*. Master's Thesis of Guangxi University, 2014 [唐龙. 饲料添加光合细菌对卵形鲳鲹生长性能、肝脏、血清指标的影响及其各部位蛋白质营养价值评价. 广西大学硕士研究生学位论文, 2014]
- Tang YY, Zhang JN, Ai CX, *et al.* Review of nutrient requirements and formula dietary for *Trachinotus ovatus*. *Feed Industry*, 2013(8): 46–50 [唐媛媛, 张蕉南, 艾春香, 等. 卵形鲳鲹的营养需求研究及其配合饲料研发. 饲料工业, 2013(8): 46–50]
- Tang YY. Effects of dietary protein levels on digestive enzymes, non-specific immunity and intestinal contents bacteria of *Trachinotus ovatus* (Linn). Master's Thesis of Xiamen University, 2014 [唐媛媛. 饲料蛋白质水平对卵形鲳鲹消化酶、非特异性免疫和肠道内容物细菌的影响. 厦门大学硕士研究生学位论文, 2014]
- Tocher DR. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research*, 2010, 41(5): 717–732
- Turchini GM, Ng WK, Tocher DR, *et al.* Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 2010
- Tutman P, Glavic N, Kozul V, *et al.* Preliminary information on feeding and growth of pompano, *Trachinotus ovatus* (Linnaeus, 1758) (Pisces; Carangidae) in captivity. *Aquaculture International*, 2004, 12(4–5): 387–393
- Volkoff H, Canosa LF, Unniappan S, *et al.* Neuropeptides and the

- control of food intake in fish. *General and Comparative Endocrinology*, 2005, 142(1): 3–19
- Wang F, Han H, Wang Y, *et al.* Growth, feed utilization and body composition of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* fed at different dietary protein and lipid levels. *Aquaculture Nutrition*, 2013, 19(3): 360–367
- Wang F. Study on the optimum protein and lipid requirement and supplementation with animal and plant ingredient in feeds for golden pompano *Trachinotus ovatus*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2012 [王飞. 卵形鲳鲹饲料最适蛋白和脂肪需求及添加不同动植物原料的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2012]
- Wang Y, Ma XZ, Wang F, *et al.* Supplementations of poultry by-product meal and selenium yeast increase fish meal replacement by soybean meal in golden pompano (*Trachinotus ovatus*) diet. *Aquaculture Research*, 2017, 48(4): 1904–1914
- Wu G. Amino acids: Metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, 2009, 37(1): 1–17
- Wu Y, Han H, Qin J, *et al.* Replacement of fishmeal by soy protein concentrate with taurine supplementation in diets for golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Aquaculture Nutrition*, 2015, 21(2): 214–222
- Wu YB. The potential and nutritional mechanisms to replace dietary fish meal with soy protein ingredients in golden pompano diet. Doctoral Dissertation of Zhejiang University, 2014 [吴玉波. 利用大豆蛋白原料替代卵形鲳鲹饲料鱼粉的潜力和营养学机理. 浙江大学博士研究生学位论文, 2014]
- Xia DM. Effects of *Rhodotorula mucilaginosa* on growth, digestive enzyme activity, immunity of *Litopenaeus vannamei*, *Oreochromis niloticus* and *Trachinotus ovatus*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2014 [夏冬梅. 胶红酵母对凡纳滨对虾、罗非鱼、卵形鲳鲹生长、消化酶活力和免疫的影响. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2014]
- Xie J, Chen X, Liu Y, *et al.* Effects of dietary astaxanthin on growth performance, hepatic antioxidative activity, hsp70, and HIF-1 $\alpha$  gene expression of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). 2017, 69: 1430–1442
- Yang XY. Study on nutritional composition and flavor compounds of sea-cage cultured *Trachinotus ovatus* muscles. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2016 [杨欣怡. 网箱海养卵形鲳鲹肌肉营养品质评价和风味物质研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2016]
- Zhang WT. Studies on the utilization of dietary lipid in innovate pompano (*Trachinotus ovatus*). Master's Thesis of Suzhou University, 2009 [张伟涛. 卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)对饲料脂肪利用的研究. 苏州大学硕士研究生学位论文, 2009]
- Zhao LM, Wang XB, Zhang HT, *et al.* Study on the substitution of fermented soybean meal in the feed of juvenile pompano. *China Feed*, 2011(11): 20–22 [赵丽梅, 王喜波, 张海涛, 等. 金鲷鱼饲料中发酵豆粕替代鱼粉的研究. 中国饲料, 2011(11): 20–22]
- Zhou C, Ge X, Niu J, *et al.* Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance, body composition, intestinal and hepatic enzyme activities, and growth hormone gene expression of juvenile golden pompano, *Trachinotus ovatus*. *Aquaculture*, 2015a, 437: 390–397
- Zhou C, Lin H, Ge X, *et al.* The effects of dietary soybean isoflavones on growth, innate immune responses, hepatic antioxidant abilities and disease resistance of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 2015b, 43(1): 158
- Zhou L. Effects of dietary magnesium levels on the growth and physiology response of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) cultured in freshwater and seawater: A comparative study. Master's Thesis of Jimei University, 2012 [周磊. 饲料镁水平对淡水与海水环境中鲈鱼生长和生理影响的比较研究. 集美大学硕士研究生学位论文, 2012]
- Zhu M, Wu YB, Ren X, *et al.* The potential to replace dietary fish meal with corn gluten meal for golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(8): 1298–1307 [朱明, 吴玉波, 任幸, 等. 利用 $\gamma$ -射线辐照提高玉米蛋白粉替代卵形鲳鲹饲料中鱼粉的潜力. 水产学报, 2017, 41(8): 1298–1307]

(编辑 冯小花)

## Research Advances in Nutritional Requirement and Feed of *Trachinotus ovatus*

LI Yuanyou<sup>1#①</sup>, LI Mengmeng<sup>1#</sup>, WANG Meng<sup>2</sup>, ZHANG Mei<sup>2</sup>, MA Yongcai<sup>1</sup>, ZHANG Guanrong<sup>2</sup>,  
CHEN Hanyi<sup>1</sup>, NING Lijun<sup>1</sup>, XIE Dizhi<sup>1</sup>, WANG Shuqi<sup>2</sup>, YOU Cuihong<sup>2</sup>

(1. College of Marine Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642;

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Marine Biotechnology, Shantou University, Shantou 515063)

**Abstract** The ovate pompano *Trachinotus ovatus* is a marine fish species with important economic value, whose culture was developed rapidly in recent years in China, and the annual cultured output has reached about 120,000 tons, which has become one of the most potential cultured marine fish in southern China. Up to now, there have been a lot of reports on its nutritional requirements and feed, however studies on some nutrients are still absent. This paper summarized the requirements of pompano on protein, amino acids, lipid, fatty acids, carbohydrates and micronutrient, dietary replacement of fish meal with other protein resources and fish oil with other lipid resources, as well as the application of functional feed additives. Available data showed that the optimum dietary requirements of juvenile golden pompano for protein, lipid and carbohydrate are 41%~49%, 6.5%~12% and 11.2%~16.8%, respectively. The optimal requirements for lysine, arginine, methionine, isoleucine, leucine, linolenic acid and arachidonic acid have also been determined. Preliminary studies on the replacement of dietary fish meal (FM) and fish oil (FO) with other protein or lipid resources have been conducted, and the results showed that the suitable substitution levels of FM by soybean meal (SBM) or fermented soybean meal (FSBM) are 20%~50%. When certain amount of FM was added in diet, it is feasible to replace FO with other animal or vegetable oils. The optimum dietary addition levels for soy isoflavone, chitosan and fermented product of *Rhodotorula mucilaginosa* are respectively 40 mg/kg, 4.0 g/kg and 500 mg/kg. However, studies on the requirements of vitamins and minerals are not reported. Besides, fewer studies were conducted on the nutritional requirements of fish during different growth stages or in different cultured patterns. We hope that this review can provide reference for the study of accurate nutrition and development of high-efficient, low cost and environment-friendly formula feed, and thus promote the healthy and sustainable development of *T. ovatus* aquaculture industry.

**Key words** *Trachinotus ovatus*; Nutritional requirement; Feed; Accurate nutrition

① Corresponding author: LI Yuanyou, E-mail: yyli16@scau.edu.cn