

军曹鱼营养需求与饲料研究进展

麻永财^{1*} 张关荣^{2*} 李孟孟¹ 陈汉毅¹ 宁丽军¹ 谢帝芝¹ 李远友¹

(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: 目前, 养殖鱼类已成为满足人类对水产品需求的主要来源。军曹鱼(*Rachycentron canadum*)具有生长速度快、肉质细嫩鲜美、营养价值高等特点, 已成为我国南方重要的海水网箱养殖鱼类。然而, 目前饲养军曹鱼仍主要依靠冰鲜杂鱼, 特别是大规格鱼的养殖, 这严重制约其养殖业的健康发展, 研发适合不同生长阶段需要的配合饲料非常必要。文章重点总结了军曹鱼对蛋白质、脂肪、氨基酸、脂肪酸、微量营养素等的需求, 饲料中鱼粉和鱼油替代研究, 饲料添加剂应用及其饲料产业发展现状, 以期对军曹鱼营养需求和配合饲料开发的深入研究提供参考。

关键词: 军曹鱼; 养殖现状; 营养需求; 配合饲料

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2019)03-0680-13

军曹鱼(*Rachycentron canadum*)亦称海鲷, 海竺鱼, 竹五, 海甘草, 属于鲈形目(Actinopterygii)、军曹鱼科(Rachycentridae)、军曹鱼属(*Rachycentron*), 为广盐性(4‰—35‰)肉食性热带海水鱼类^[1]。军曹鱼肉质可以与三文鱼相媲美, 是做生鱼片的上好材料, 且含有丰富的多不饱和脂肪酸, 被认为是我国南方沿海极具养殖潜力的海水鱼之一^[2]。军曹鱼具有摄食量大, 抢食凶猛, 消化力强, 生长迅速等特点, 其年生长体重可达6—8 kg, 2年可达10 kg以上。根据FAO(联合国粮食及农业组织)报道, 近几年来, 我国军曹鱼养殖产量近 4×10^7 kg。然而, 在养殖生产中, 军曹鱼仍以冰鲜鱼喂养为主。这不仅浪费渔业资源, 而且容易造成养殖水体污染、病害流行, 制约其养殖业的健康可持续发展。在配合饲料开发方面, 军曹鱼幼鱼的营养需求研究较多, 浮性膨化配合饲料已应用于养殖生产; 但是, 对于大规格军曹鱼(>2 kg), 由于其体型和口较大, 目前尚无适合的大粒径专用配合饲料, 仍主要以投喂冰鲜杂鱼为主。因此, 研究探明军曹鱼的营养需求, 开发较大规格鱼种的高效配合饲料及其生产工艺等是促进其养殖业发展的关键。本文就军曹鱼对基础

营养和微量营养需求, 替代蛋白源和脂肪源开发以及饲料产业现状等进行综述, 以供后续相关研究参考。

1 军曹鱼营养需求研究进展

1.1 军曹鱼的蛋白质营养研究

蛋白质需求 目前, 有关军曹鱼的蛋白质需求已有较多研究报道。Chou等^[3]以鱼粉和酪蛋白为蛋白源, 配制蛋白含量为36%—60%配合饲料开展8周养殖试验。以增重率和饲料利用率为评价指标, 发现军曹鱼幼鱼(32.00 g, 本处及后文都指初始平均体重)对蛋白质的适宜需要量为44.50%。Craig等^[4]以酪蛋白为蛋白源, 增重率为评价指标, 发现7.40和49.30 g幼鱼对饲料蛋白质需求为40%—50%。骆艺文等^[5]以鱼粉和酪蛋白为蛋白源, 配制蛋白质水平分别为35.8%、41.0%、46.1%、51.0%、55.7%和60.4%的6种等脂等能饲料, 以特定生长率为评价指标, 发现(16.70±0.50) g和(246.80±3.00) g军曹鱼的适宜蛋白质需求分别为52.5%和51.50%。上述有关军曹鱼对蛋白质需求的数据主要基于鱼粉等动物蛋白源(表1), 有关其对小麦面筋、棉粕、米糠粕、豆粕等植物蛋白源适

收稿日期: 2018-06-20; 修订日期: 2018-11-18

基金项目: 国家海水鱼产业技术体系岗位科学家项目资助 [Supported by China Agriculture Research System (CARS-47-G13)]

作者简介: 麻永财(1992—), 男, 甘肃庆阳人; 硕士研究生; 主要从事水生动物营养与饲料研究。E-mail: 479156257@qq.com *共同第一作者

通信作者: 李远友, 教授, 博士生导师; E-mail: yyli16@scau.edu.cn

宜需求的研究少见报道。

蛋白源的消化率 物质的可消化性影响着鱼类对物质的利用率。Zhou等^[6]研究了军曹鱼(10.00 g)幼鱼对不同蛋白源的消化率,显示其对进口鱼粉、鸡肉粉、肉骨粉等动物蛋白源的干物质表观消化率为60.42%—87.56%,蛋白质表观消化率为87.21%—96.27%;对脱脂大豆、菜籽粕、花生粕、玉米蛋白粉等植物蛋白源的干物质表观消化率为58.52%—70.51%,蛋白质表观消化率为88.97%—94.42% (表 2)。然而,关于军曹鱼在不同生长阶段对不同蛋白源的表观消化率的差异如何尚不清楚,对其他蛋白源的消化利用率也有待研究。

氨基酸需求 蛋白质经消化后变成氨基酸小分子被鱼类吸收利用,鱼类对蛋白质的需求实际上是对蛋白质中比例平衡的氨基酸的需求^[7]。研究发现,军曹鱼必需氨基酸主要有:赖氨酸、亮氨酸、精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸和缬氨酸;且含硫氨基酸(蛋氨酸和胱氨酸)是军曹鱼肌肉的第一限制氨基酸^[8]。

赵红霞等^[9, 10]利用含有不同水平蛋氨酸(0.69%—1.61%)和精氨酸(1.84%—2.67%)的等氮等能配合饲料投喂军曹鱼幼鱼[(14.70±0.30) g] 56d,以增重率为评价指标,显示其对蛋氨酸和精氨酸的适宜需要量分别为1.23%和2.38%。赵红霞等^[9]通

过鱼体的必需氨基酸模式,推算出军曹鱼对亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、苏氨酸、缬氨酸的需要量分别为6.37%、2.71%、4.09%、2.00%、4.66%和3.83%。何远法等^[11]利用低鱼粉饲料饲养军曹鱼幼鱼[(9.79±0.04) g] 16周,以增重率为评价指标,发现其对蛋氨酸的适宜补充量为1.12%。王震等^[12]通过在基础饲料中添加晶体缬氨酸,配制3种缬氨酸水平(1.26%、2.21%和2.62%)的等氮等脂配合饲料喂养军曹鱼幼鱼[(40.90±0.80) g] 10周,发现2.21%缬氨酸有利于肌肉脂肪沉积,改善血浆生化指标和肝脏脂肪代谢基因表达水平。周萌等^[13]用不同水平赖氨酸(2.30%、2.53%、2.76%、2.99%和3.22%)的等氮等能精制饲料饲喂军曹鱼[(14.70±0.30) g] 56d,以增重率为评价指标,发现其对赖氨酸的适宜需要量为2.79%。另有研究报道,用鱼粉和小麦蛋白为蛋白源,以增重率为评价指标,发现军曹鱼(1.25 g)对赖氨酸的适宜需要量为2.33%^[14] (表 3)。有关军曹鱼对其他必需氨基酸的需求尚未见报道。

不同氨基酸的消化率 一般而言,氨基酸的可用性反映了饲料蛋白质的消化率,且影响着机体正常生长。Zhou等^[6]用军曹鱼幼鱼(10.00 g)为研究对象,发现其对动物蛋白源中的鱼粉和鸡肉粉的氨基酸消化率高于骨粉,植物蛋白源中玉米蛋白粉的

表 1 军曹鱼对蛋白质需求量

Tab. 1 The requirement of dietary protein for *Rachycentron canadum* (%)

试验鱼规格 Initial body weight (g)	蛋白质需求量 Protein requirement (%)	蛋白源 Protein source	评估指标 Evaluated index	参考文献 Reference
32.00	44.50	鱼粉, 酪蛋白FM, Cas	增重率和饲料利用率WG and FCR	[3]
7.40	40.00—50.00	鱼粉FM	增重率WG	[4]
49.30	40.00—50.00	鱼粉FM	增重率WG	[4]
16.70±0.50	52.50	鱼粉, 酪蛋白FM, Cas	特定生长率SGR	[5]
246.80±3.00	51.50	鱼粉, 酪蛋白FM, Cas	特定生长率SGR	[5]

注: 鱼粉Fish meal (FM); 酪蛋白Casein (Cas); 增重率Weight gain rate (WG); 饲料利用率Feed conversion ratio (FCR); 特定生长率Specific growth rate (SGR)

表 2 军曹鱼对不同蛋白源的干物质、粗蛋白、粗脂肪和总能的表现消化率

Tab. 2 Apparent digestibility of different protein sources for dry matter, crude protein, crude fat, energy by *Rachycentron canadum* (%)

蛋白源Protein source	干物质Dry matter (%)	粗蛋白Crude protein (%)	粗脂肪Crude lipid (%)	总能Energy (%)
鱼粉FM	87.56	96.27	95.86	95.46
肉骨粉MBM	60.42	87.21	91.59	90.37
鸡肉粉PM	80.91	90.90	92.06	90.58
豆粕SBM	70.51	92.81	95.36	90.63
花生粕RM	58.52	88.97	93.71	83.07
鸡肉粉PM	64.92	90.24	93.85	84.25
玉米蛋白粉CGM	84.58	94.42	95.93	94.23

注: 肉骨粉Meat and bone meal (MBM); 鸡肉粉Poultry meal (PM); 豆粕Soybean meal (SBM); 菜籽粕Rapeseed meal (RM); 花生粕Peanut meal (PM); 玉米蛋白粉Corn gluten meal (CGM)。其他简写同表 1 Other abbreviations are the same as shown in the Tab. 1

氨基酸消化率高于豆粕、菜籽粕和花生粕(表 4)。

军曹鱼饲料替代蛋白源的利用 近年来,随着鱼粉的价格持续攀升,且供不应求,寻找和开发鱼粉替代蛋白源成为我国水产养殖业发展面对的首要问题。其中,价格较低、来源广的饼粕类植物蛋白源成为较理想的鱼粉替代源。Chou等^[15]的研究显示,用豆粕替代配合饲料中的鱼粉,以增重率为评价指标,发现替代16.9%的鱼粉对军曹鱼幼鱼(32.00 g)生长性能无影响。骆艺文等^[5]用菜籽粕替代军曹鱼[(94.60±2.80) g]饲料中12.50%—50.00%

鱼粉,以特定生长率为评价指标,发现适宜替代比例为12.50%。杨珺^[16]以花生粕和棉粕分别替代军曹鱼[(3.15±0.03) 和(3.16±0.03) g]饲料中10%—40%鱼粉,通过56d试验,以增重率为评价指标,发现花生粕和棉粕替代鱼粉的适宜比例分别为13.35%和5.51%。由此可见,在军曹鱼幼鱼配合饲料中,豆粕、菜粕和棉粕等植物蛋白源替代鱼粉的水平有限(<20%),其原因可能是植物蛋白源中的一些抗营养因子影响物质的利用;此外,上述植物蛋白源的蛋白含量较低可能也是原因之一。

表 3 军曹鱼对必需氨基酸的需求量
Tab. 3 Requirements of dietary essential amino acids for *Rachycentron canadum* (%)

必需氨基酸 Essential amino acids	试验鱼规格 Initial body weight (g)	需求量 Requirement (%)	蛋白源 Protein source	氨基酸剂型 Amino acid formulation	评估指标 Evaluated index	参考文献 Reference
蛋氨酸Met	14.70±0.30	1.23	酪蛋白和明胶 Casein and gelatin	晶体蛋氨酸CM	增重率WG	[9]
蛋氨酸Met	9.79±0.04	1.12	红鱼粉RFM	晶体蛋氨酸CM	增重率WG	[11]
精氨酸Arg	14.70±0.30	2.38	酪蛋白和明胶 Casein and gelatin	晶体精氨酸CA	增重率WG	[10]
缬氨酸Val	40.90±0.80	2.21	酪蛋白和明胶 Casein and gelatin	晶体缬氨酸CV	肝脏脂肪含量HFF	[12]
赖氨酸Lys	1.25	2.33	鱼粉和小麦蛋白 FM and WP	晶体赖氨酸CL	特定生长率SGR	[14]

注: 赖氨酸Lysine (Lys); 精氨酸Arginine (Arg); 蛋氨酸Methionine (Met); 缬氨酸Valine (Val); 小麦蛋白wheat protein (WP); 红鱼粉Red fish meal (RFM); 晶体蛋氨酸Crystal methionine (CM); 晶体精氨酸Crystal arginine (CA); 晶体缬氨酸Crystal valine (CV); 晶体赖氨酸Crystal lysine (CL); 肝脏脂肪含量Hepatic fat fraction (HFF)。其他简写同表 1—2 Other abbreviations are the same as shown in the Tab. 1—2

表 4 军曹鱼对不同蛋白源中各种氨基酸的表现消化率
Tab. 4 Apparent digestibility of amino acids in different protein sources consumed by *Rachycentron canadum* (%)

氨基酸表现消化率 Amino acid apparent availability (%)	蛋白源Protein source						
	鱼粉FM	肉骨粉MBM	鸡肉粉PM	豆粕SBM	菜籽粕RM	花生粕PM	玉米蛋白粉CGM
赖氨酸Lys	97.52	84.54	91.82	94.95	92.60	96.40	96.86
蛋氨酸Met	95.87	92.58	92.51	92.20	90.67	93.74	95.88
苏氨酸Thr	96.55	91.62	93.22	93.09	91.13	94.89	95.54
精氨酸Arg	97.64	93.13	94.18	94.75	93.74	96.73	96.44
甘氨酸Gly	96.24	93.24	94.30	92.58	91.90	95.42	96.10
丝氨酸Ser	96.88	90.60	92.88	93.24	91.48	95.24	95.13
组氨酸His	97.42	88.20	92.88	93.18	85.72	91.68	93.18
异亮氨酸Ile	96.78	91.06	92.22	92.16	90.52	94.93	95.29
亮氨酸Leu	96.70	92.62	92.92	93.87	92.04	95.76	95.29
苯丙氨酸Phe	95.15	91.53	91.35	85.59	89.75	95.02	95.70
酪氨酸Tyr	96.55	91.62	93.22	93.09	91.13	94.89	95.54
缬氨酸Val	95.24	91.38	92.18	92.92	89.99	95.23	95.47
天冬氨酸Asp	96.54	91.41	92.78	93.15	90.93	95.51	95.56
丙氨酸Ala	95.68	91.72	91.62	91.09	89.61	94.98	94.26
谷氨酸Glu	96.37	93.60	93.96	94.84	94.58	97.23	96.01

注: 菜籽粕Rapeseed meal (RM); 花生粕Peanut meal (PM); 苏氨酸Threonine (Thr); 甘氨酸Glycine (Gly); 丝氨酸Serine (Ser); 组氨酸Histidine (His); 异亮氨酸Isoleucine (Ile); 亮氨酸Leucine (Leu); 苯丙氨酸Phenylalanine (Phe); 酪氨酸Tyrosine (Tyr); 天冬氨酸Aspartic acid (Asp); 丙氨酸Alanine (Ala); 谷氨酸Glutamic acid (Glu)。其他简写同表 1—3 Other abbreviations are the same as shown in the Tab. 1—3

研究显示, 军曹鱼对高蛋白含量的植物蛋白源的利用能力较高。例如, 杨珺^[16]对军曹鱼[(10.50±0.03) g]的研究显示, 以增重率为评价指标, 小麦蛋白粉可替代饲料中34.05%的鱼粉。用特定生长率和增重率为评价指标, 大豆浓缩蛋白可替代军曹鱼[(62.40±0.60)和(81.70±0.30)g]饲料中50%—75%的鱼粉而不影响其正常生长^[17, 18]。以特定生长率为评价指标, 玉米蛋白可替代军曹鱼(108.20±3.00 g)饲料中52.50%的鱼粉^[5]。

相比于植物蛋白源, 军曹鱼对陆上动物蛋白源的利用率更高。Saadiah等^[19]以鸡肉粉为基础蛋白替代20%—100%的鱼粉, 发现鸡肉粉全部替代鱼粉也不影响军曹鱼[(30.70±0.78) g]的生长性能; 但为了提高生长性能和饲料利用率, 建议适宜替代水平约为60%左右。Costa-Bomfim等^[20]用虾蛋白水解物替代鱼粉, 以增重率为评价指标, 发现替代12%的鱼粉不影响军曹鱼(11.90 g)的生长。韩涛等^[21]以鱼蛋白水解物替代军曹鱼稚鱼[(3.79±0.22) g]饲料中17%—51%的鱼粉蛋白, 用增重率为评价指标, 发现鱼蛋白水解物可以部分替代鱼粉, 过高的替代水平会对其产生不良的影响。微生物蛋白源也可作为鱼粉替代物, 以增重率为评价指标, Lunger等^[22]发现酵母蛋白至少可以替代军曹鱼(11.50 g)饲料中25%的鱼粉。

综上所述, 有关军曹鱼饲料中鱼粉替代的研究已取得较多数据, 主要是利用价格低、来源广泛的饼粕类植物性蛋白源和陆上动物蛋白源作为鱼粉

替代物(表 5)。同时, 为弥补替代蛋白源中氨基酸种类和含量不均问题, 采取添加晶体氨基酸使饲料中氨基酸更为均衡。但替代鱼粉的原料主要还集中在单一蛋白源替代方面, 对多种混合蛋白源替代鱼粉的研究有待进一步加强。

1.2 军曹鱼的脂类营养研究

脂肪需求 Wang等^[23]研究报道, 在粗蛋白为47%的饲料中添加不同比例鱼油(5%、15%和25%), 以特定生长率为评价指标, 发现军曹鱼幼鱼[(7.71±0.16) g]饲料中鱼油的适宜添加量为15%, 而添加量过高(25%)反而抑制其生长。同样, Craig等^[4]以初始平均体重49.30 g军曹鱼为对象, 通过饲喂不同鱼油水平(6%、12%和18%)的饲料, 以增重率为评价指标, 发现6%和12%鱼油添加组获得较好的生长性能指标。Chou等^[3]以鱼油和豆油(2:1)为混合脂肪源, 用增重率为评价指标, 发现军曹鱼(41.00 g)摄食5.76%脂肪水平饲料生长速度最快。上述研究表明, 军曹鱼对饲料脂肪的需求, 不仅与鱼体大小有关, 也受饲料蛋白水平和脂肪源种类的影响。然而, 军曹鱼对饲料脂肪的精准营养需求还有待于进一步研究。

脂肪酸需求 一般认为, 海水鱼跟淡水鱼不同, 除黄斑蓝子鱼(*Siganus oramin*)^[24]、塞内加尔鲷(*Solea senegalensis*)、金鲷^[26](*Pagrus major*)等少数种类外, 大多缺乏高不饱和脂肪酸(Highly unsaturated fatty acid, HUFA)合成能力或该能力很弱, 需要HUFA(如DHA、EPA、ARA等)作为必需脂肪酸

表 5 军曹鱼饲料中其他蛋白源替代鱼粉量

Tab. 5 The replacement amount of dietary fish meal by other protein resources for *Rachycentron canadum* (%)

蛋白源 Protein resource	试验鱼规格 Initial body weight (g)	替代量 Replacement amount (%)	评估指标 Evaluated index	参考文献 References
菜籽粕RM	94.60±2.80	12.50	特定生长率SGR	[5]
豆粕SBM	32.00	16.90	增重率WG	[15]
玉米蛋白粉CGM	108.20±3.00	52.50	特定生长率SGR	[5]
玉米蛋白粉CGM	11.50±0.05	26.27	增重率WG	[16]
花生粕PM	3.15±0.03	13.35	增重率WG	[16]
棉籽粕CM	3.16±0.03	5.51	增重率WG	[16]
小麦蛋白粉WP	10.50±0.03	34.05	增重率WG	[16]
大豆浓缩蛋白SPC	62.40±0.60	50.00	特定生长率SGR	[17]
大豆浓缩蛋白SPC	81.7±0.30	75.00	增重率WG	[18]
鸡肉粉PM	30.70±0.78	100	特定生长率SGR	[19]
虾蛋白水解物SPH	11.90	12.00	增重率WG	[20]
鱼蛋白水解物FPH	3.79±0.22	17—34	增重率WG	[21]
酵母粉YEA	11.50	25.00	增重率WG	[22]

注: 大豆浓缩蛋白Soy protein concentrate (SPC); 酵母粉Yeast (YEA); 棉籽粕Cottonseed meal (CM); 小麦蛋白粉Wheat protein (WP); 虾蛋白水解物Shrimp protein hydrolysates (SPH); 鱼蛋白水解物Fish protein hydrolysate (FPH)。其他简写同表 1—4 Other abbreviations are the same as shown in the Tab. 1—4

(Essential fatty acids, EFA)以满足正常生长发育及生理功能的需要。刘兴旺等^[27]以牛油和鱼油为混合脂肪源,用含不同n-3 HUFA水平的配合饲料饲养军曹鱼幼鱼[(8.30±0.50) g] 56d,以特定生长率为评价指标,确定其对n-3 HUFA的需求量约为1.49%。张海柱^[28]以橄榄油和鱼油为混合脂肪源,分析军曹鱼幼鱼[(6.86±0.03) g]饲料中EPA和DHA适宜添加水平,以特定生长率为评价指标,发现0.80% EPA和DHA水平对鱼的生长效果较好,过量n-3 HUFA反而抑制鱼的生长。

鱼类对EFA的需求不仅要考虑量,也要考虑不同种类脂肪酸的比例^[29]。周萌等^[30]以精制鲮鱼油和豆油的混合油为脂肪源,配制不同n-3/n-6 PUFA (Polyunsaturated fatty acid, PUFA)比例的配合饲料,饲喂军曹鱼[(14.82±0.44) g] 56d,以增重率为评价指标,发现其饲料中适宜的n-3/n-6 PUFA比为2.98。张海柱^[28]采用不同DHA/EPA比的饲料(n-3 HUFA总量相同)饲喂军曹鱼幼鱼[(6.86±0.03) g] 56d,以特定生长率为评价指标,显示DHA/EPA=1.3饲料组鱼体的生长性能最好。用特定生长率为

评价指标,刘亮^[31]研究发现,军曹鱼幼鱼[(12.90±0.17) g]饲料中花生四烯酸的适宜添加量为1.01%,饲料中DHA、EPA和ARA三者之间的适宜比为2.20/1/0.16。另有报道,以增重率为评价指标,军曹鱼幼鱼[(4.59±0.36) g]饲料中花生四烯酸的适宜量为0.45%^[32]。许友卿等^[33]利用分别添加鱼油(富含n-3 PUFA)、苏籽油(富含亚油酸, LA)、红花油(富含亚麻酸, LNA)和红花油+鱼油(富含n-3和n-6 PUFA)的饲料饲喂军曹鱼幼鱼84d,发现红花油+鱼油组鱼体的终体重[(143.73±1.90) g]显著高于红花油组[(127.40±1.84) g]和鱼油组[(121.46±2.08) g]。综上所述,军曹鱼自身的HUFA合成能力有限,需要在饲料中添加EPA、DHA等EFA才能满足其正常生长(表6)。

军曹鱼替代脂肪源的开发研究 随着水产养殖业的不断扩大,鱼油供需矛盾日益突出,寻找适宜的鱼油替代品、降低水产业对鱼油的依赖,已成为学术界和企业界共同关注的焦点。其中,来源广泛,产量高且价格较低的植物油已成为鱼油的理想替代源(表7)。王骥腾等^[34]在军曹鱼幼鱼

表6 军曹鱼对脂肪和脂肪酸的需求量

Tab. 6 Requirements of dietary lipid and fatty acid for *Rachycentron canadum* (%)

项目 Item	试验鱼体规格 Initial body weight (g)	需求量 Requirement (%)	脂肪源 Lipid source	评估指标 Evaluated index	参考文献 Reference
脂肪需求Lipid requirement					
	41.00	5.76	鱼油, 豆油FO, SBO(2:1)	增重率WG	[3]
	49.30	6.00—12.00	鱼油FO	增重率WG	[4]
	7.71±0.16	15.00	鱼油FO	特定生长SGR	[23]
必需脂肪酸Essential fatty acid					
EPA+DHA	8.30±0.50	1.49	鱼油, 牛油FO, BO	特定生长率SGR	[28]
EPA/DHA	6.86±0.03	1.30	鱼油, 橄榄油FO, OLO	特定生长率SGR	[28]
n-3/n-6PUFA	14.82±0.44	2.98	鱼油, 豆油FO, SBO	增重率WG	[30]
ARA	12.90±0.17	1.01	鱼油, 茶油, AA油 FO, TO, AAO	特定生长率SGR	[31]
ARA	4.59±0.36	0.45	鱼油FO	增重率WG	[32]
DHA/EPA/ARA	17.84±0.13	2.20/1/0.16	鱼油, 茶油, AA油 FO, TO, AAO	特定生长率SGR	[31]

注: 鱼油Fish oil (FO); 茶油tea oil (TO); AA油Arachidonic acid oil (AAO); 牛油Butter oil (BO); 橄榄油Olive oil (OLO); 豆油Soybean oil (SBO)。其他简写同表1—5 Other abbreviations are the same as shown in the Tab. 1—5

表7 军曹鱼饲料中其它脂肪源替代鱼油量

Tab. 7 The replacement amount of dietary fish oil by other lipid resources for *Rachycentron canadum* (%)

脂肪源 Lipid resource	试验鱼规格 Initial body weight (g)	替代量 Replacement amount (%)	评估指标 Evaluated index	参考文献 Reference
豆油SBO	62.40±0.60	33.00—67.00	特定生长率SGR	[17]
豆油SBO	13.00	40.00—80.00	增重率WG	[35]
大豆磷脂油SPO	15.00	40.00—100.00	增重率WG	[35]
亚麻油LO	13.00	40.00—100.00	增重率WG	[35]

注: 大豆磷脂油Soy phospholipid oil (SPO); 亚麻油Linseed oil (LO)。其他简写同表1—6 Other abbreviations are the same as shown in the Tab. 1—6

[(10.29±0.22) g]的饲料中分别添加大豆油、菜籽油、亚麻油代替鱼油, 结果显示, 鱼油组生长效果最好; 由于植物油缺乏HUFA不能满足军曹鱼的EFA需要, 造成军曹鱼n-3 HUFA沉积不足, 影响其营养价值。林华锋^[35]采用植物油替代饲料中0—100%的鱼油, 以增重率为评价指标, 发现军曹鱼幼鱼(13.00—15.00 g)饲料中大豆油、大豆磷脂油、亚麻油适宜替代比例分别为40%—80%、40%—100%、40%—100%。相似研究中, 用特定生长率为评价指标, 大豆油可替代军曹鱼幼鱼饲料33%—67%的鱼油^[36]。

综上所述, 初步的研究显示, 在军曹鱼配合饲料中, 大豆油、菜籽油和亚麻籽油等植物油替代适量鱼油对生长性能影响不大。然而, 目前的研究仅限于单一脂肪源的替代效果评估, 采用混合植物油或混合动植物油替代鱼油的应用研究将是未来的重点。需要特别关注的是, 配合饲料中植物油替代鱼油虽然对生长性能不一定有负面作用, 但一般会导致养殖水产品的HUFA含量明显降低, 从而影响其营养价值, 这是亟待研究和解决的问题。

1.3 军曹鱼对碳水化合物的需求研究

虽然鱼类(特别是肉食性鱼类)利用碳水化合物的能力较差, 然而, 在饲料中添加适量碳水化合物可提高鱼体对蛋白质和脂肪的利用率, 从而起到节约蛋白质、降低饲料成本的效果^[37—39]。

目前, 有关军曹鱼对碳水化合物的需求研究已有较多报道。吴建开等^[40]用含不同水平糊精(5%、10%、15%、20%和25%)的饲料喂养军曹鱼[(14.72±0.43) g] 56d, 以增重率为评价指标, 得出饲料碳水化合物的添加量不宜超过17.27%。任鸣春^[41]采用相似方法, 用特定生长率和饲料利用率为评价指标, 得出军曹鱼幼鱼(3.38±0.04) g饲料中糊化玉米淀粉适宜添加量为18.00%—21.10%。刘迎隆^[42]的研究显示, 以特定生长率和饲料利用率为评价指标, 172.56±0.80 g的军曹鱼饲料中小麦淀粉的适宜

添加量为23.14%—25.30%, 598.44±4.60 g大规模军曹鱼的小麦淀粉适宜添加量为23.24%—23.51%。刘泓宇等^[43]研究发现, 军曹鱼对葡萄糖耐受能力比吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)和卵形鲳鲷(*Trachinotus ovatus*)低。为了研究军曹鱼配合饲料中最适糖源, 任鸣春^[41]以7种等氮等脂但糖源不同(纤维素、葡萄糖、蔗糖、糊化小麦淀粉、糊化玉米淀粉、糊化木薯淀粉和生玉米淀粉)的配合饲料喂养该鱼70d, 发现糊化小麦淀粉是其最适糖源。

综上所述, 军曹鱼饲料中碳水化合物的适宜添加量为20%—30% (表 8), 且糊化小麦淀粉较适合做为碳水化合物原料。然而, 不同生长阶段的需求情况、混合碳水化合物源的应用效果等有待进一步研究。

1.4 军曹鱼对其他营养素的需求研究

军曹鱼对维生素的需求已有一些报道。维生素C和E作为免疫增强剂能显著提高血清溶菌酶和替代补体活力^[44—48]。Sejin等^[48]以增重率为评价指标, 得出军曹鱼幼鱼[(4.60±0.40) g]对维生素C的需求量为44.74 mg/kg; 王立改^[49]以特定生长率为评价指标, 得出军曹鱼幼鱼(6 g左右)配合饲料中维生素C和E的适宜添加量分别为13.60和13.2 mg/kg。导致军曹鱼对维生素C需求差异的原因可能与配合饲料中蛋白原料不同及其中含有少量维生素C有关。吡哆醇、肌醇、泛酸等对氨基酸代谢、促进鱼类生长和肝脏及其他组织中脂肪代谢具有重要意义^[51, 52]。研究发现, 以增重率和特定生长率为评价指标, 军曹鱼幼鱼(3—5 g)对饲料中吡哆醇、肌醇、泛酸、硫胺素、核黄素、烟酸和胆碱的需求量分别为3.09—6.87 mg/kg、351.0—363.4、16.39—18.87、6.8、7.63、15.03和695.89 mg/kg^[50, 53]。军曹鱼对维生素等的需求汇总见表 9。

军曹鱼对矿物质的需求已有较多报道。研究表明, 饲料中锌水平显著影响军曹鱼的平均增重率。乔永刚^[54]以蛋氨酸锌为锌源, 配制锌含量为

表 8 军曹鱼对碳水化合物的需求量

Tab. 8 The requirement of dietary carbohydrate for *Rachycentron canadum* (%)

试验鱼规格 Initial body weight (g)	需求量 Requirement (%)	糖源 Carbohydrate source	评估指标 Evaluated index	参考文献 References
14.72±0.43	17.27	糊精Dextrin	增重率WG	[40]
3.38±0.04	18.00—21.10	糊化玉米淀粉GCS	特定生长率SGR和 饲料利用率FCR	[41]
172.56±0.80	23.14—25.30	小麦淀粉WS	特定生长率SGR和 饲料利用率FCR	[42]
598.44±4.60	23.24—23.51	小麦淀粉WS	特定生长率SGR和 饲料利用率FCR	[42]

注: 糊化玉米淀粉Gelatinized corn starch (GCS); 小麦淀粉Wheat starch (WS)。其他简写同表 1—7 Other abbreviations are the same as shown in the Tab. 1—7

13.20—328.20 mg/kg的配合饲料,通过56d的养殖试验,以碱性磷酸酶活性为评价指标,得出军曹鱼幼鱼[(7.15±0.85) g]饲料中锌的适宜添加量为54.20 mg/kg;杨原志等^[55]以硫酸锌为锌源,用特定生长率为评价指标,发现7 g左右军曹鱼对锌的适宜需求量为75.47 mg/kg。研究表明,鱼体和骨骼中铜含量随着饲料中铜含量的增加而升高,肌肉和血浆中铜含量不受饲料中铜含量的影响。乔永刚^[54]以不同铁源和铜源,配制铁和铜含量分别为45.80—524.30和3.30—57.40 mg/kg的配合饲料开展养殖试验。用增重率为评价指标,结果显示,以硫酸亚铁或蛋氨酸铁为铁源,军曹鱼[(15.89±0.84) g]饲料中铁的适宜添加量分别为80.60和71.30 mg/kg;以硫酸铜或蛋氨酸铜为铜源,(9.92±0.47) g幼鱼饲料中铜的适宜添加量分别为11.50和8.30 mg/kg。

磷是鱼类等水产动物不可或缺的营养元素,是骨骼和鱼鳞的组成成分,并与鱼类的生长、繁殖、抗病性、酶的活性息息相关^[56]。周萌等^[57]以磷酸二氢钙为磷源,以增重率为评价指标,得出军曹鱼[(22.10±1.90) g]饲料中磷的适宜添加量为880 mg/kg。刘仙钦^[58]以磷酸二氢钙为磷源和以乳酸钙及磷酸二氢钠为钙源及磷源,分别配制6组不同磷水平(0.61%—1.51%)和不同钙磷比例(1:0.5、1:0.8、1:1、1:2、1:3和1:4)的配合饲料喂养军曹鱼(6 g左右),以增重率为评价指标,得出饲料中磷的适宜添加量为930 mg/kg;钙磷适宜比为1:1。硒和锰是维持动物正常生理状态、生长及保持内环境平衡的必需元素^[59—61]。刘康^[61]用酪蛋白和明胶作为蛋白源,蛋氨酸硒为硒源、硫酸锰为锰源制作配合饲料,开展养殖试验,以特定生长率为评价指标,得出军曹鱼幼鱼[(6.27±0.03) g]饲料中硒和锰的适宜添加

量分别为0.79和21.72 mg/kg。杨原志等^[62]用相似的方法,以蛋氨酸硒和亚硒酸钠为硒源,同样以特定生长率为评价指标,得出军曹鱼[(22.18±0.35) g]对硒的最适需求量分别为1.29和1.46 mg/kg。上述有关军曹鱼对一些常见矿物质的需求量汇总见表10,但有关其缺乏对鱼体免疫、抗氧化、抗应激能力的影响有待进一步探讨。

1.5 军曹鱼饲料添加剂的研究

饲料添加剂是指在饲料生产加工、使用过程中添加的少量或微量物质,对强化基础饲料营养价值,提高动物生产性能,保证动物健康,节省饲料成本,改善产品品质等方面有明显的效果。目前,有关军曹鱼饲料添加剂研究主要集中在生物活性物质和微生态制剂两方面。

张文超等^[63]给军曹鱼幼鱼[(3.00±0.05) g]饲喂含0—0.40%甜菜碱的配合饲料,得出其对甜菜碱适宜需要量为0.05%。胆汁酸具有保肝护胆、降低成本和提高饲料利用率的作用。周书耘等^[64]在饲料中添加0—0.045%的胆汁酸,以饲料利用率为评价指标,发现军曹鱼幼鱼[(5.40±0.120) g]饲料中胆汁酸的适宜添加量为0.03%,胆汁酸具有促进军曹鱼生长,降低脂肪沉积的作用。丁兆坤等^[65]在军曹鱼[(14.87±0.51) g]饲料中添加不同剂量丙氨酸-谷氨酰胺,以增重率为评价指标,发现0.5%添加量组的生长效果最佳。郭志勋等^[66]以半乳低聚糖为糖源,研究不同饲料添加量对军曹鱼(19 g左右)生长、免疫功能和健康状况的影响,用特定生长率为评价指标,得出适宜添加量为0.20%—0.40%。何伟聪^[67]在军曹鱼幼鱼(22 g左右)饲料中按1:1添加枯草芽孢杆菌和嗜酸乳杆菌的复合物 2.0×10^7 cfu/g,以特定生长率为评价指标,显示其能够促进生长,提高免

表9 军曹鱼对维生素的需求量

Tab. 9 The requirement of dietary vitamin for *Rachycentron canadum* (mg/kg)

维生素 Vitamin	试验鱼规格 Initial body weight (g)	需求量 Requirement (mg/kg)	评估指标 Evaluated index	参考文献 Reference
维生素C VC	5.46±0.02	13.60	特定生长率SGR	[49]
维生素C VC	4.60±0.40	44.74	增重率WG	[50]
维生素E VE	6.08±0.08	13.20	特定生长率SGR	[49]
胆碱Choline	4.60±0.40	695.89	增重率WG	[50]
硫胺素Thiamine	4.60±0.40	6.80	增重率WG	[50]
核黄素Riboflavin	4.30±0.20	7.63	增重率WG	[50]
烟酸Niacin	4.60±0.40	15.03	增重率WG	[50]
泛酸Pantothenic acid	3.23±0.06	16.39—18.87	特定生长率SGR	[53]
吡哆醇Pyridoxine	3.23±0.06	3.09—6.87	特定生长率SGR	[53]
肌醇Inositol	3.23±0.06	351.00—363.40	特定生长率SGR	[53]

注: 维生素C Vitamin C (VC); 维生素E Vitamin E (VE)。其他缩写同表1—8 Other abbreviations are the same as shown in the Tab. 1—8

疫和消化相关酶的活性, 改善肠道菌群结构。在军曹鱼(10 g左右)饲料中添加0.60%枯草芽孢杆菌和0.10%壳聚糖, 能够促进其生长^[68, 69]。骆艺文等^[70]研究发现, 在饲料中添加1%牛磺酸能够显著促进军曹鱼[(108.20±3.00) g]的摄食、生长、存活和饲料利用率, 添加1%胆固醇对其摄食和生长无明显影响, 但可提高全鱼的粗脂肪水平。陈强等^[71]在以豆粕、酪蛋白、鱼粉为蛋白源的基础饲料中添加0—2%的胆固醇, 以增重率为评价指标, 发现添加少量胆固醇可以改善军曹鱼幼鱼生长, 但过多添加会抑制生长, 适宜添加量为0.57%。上述有关军曹鱼饲料添加剂的适应添加水平见表 11, 这为优质配合饲料研发提供参考。

2 军曹鱼配合饲料产业发展现状

目前, 养殖军曹鱼主要使用冰鲜杂鱼, 幼鱼阶

段也使用人工配合饲料^[72, 73]。冰鲜鱼具有储存较困难, 容易腐败变质和滋生病菌以及造成养殖水体富营养化等缺点, 已远远不能满足其集约化养殖的需要。相反, 配合饲料具有营养全面, 容易运输存储, 对养殖水体污染少, 有利于养殖产业健康发展等优点, 值得大力推广应用。

军曹鱼已有多年的养殖历史, 但配合饲料的应用率目前还较低, 特别是大规格商品鱼的养殖基本上还是投喂冰鲜杂鱼。当前, 从养殖效果和生产成本方面考虑, 军曹鱼配合饲料的优越性并不突出。有研究表明, 投喂软颗粒饲料的养殖效果与冰鲜鱼相近, 存活率更高^[74]。前几年, 台湾地区军曹鱼的配合饲料主要参考同属鲈形目的石斑鱼(*Epinephelus*)和真鲷(*pagrosomus major*)饲料, 导致饲料系数高达1.8, 远高于鲑鳟鱼类饲料系数1.0^[61]。当前, 我国研发的军曹鱼幼鱼配合饲料主要以浮性膨化

表 10 军曹鱼对矿物质的添加量

Tab. 10 The requirement of Dietary mineral for *Rachycentron canadum* (mg/kg)

矿物质 Mineral	试验鱼规格 Initial body weight (g)	需求量 Requirement (mg/kg)	评估指标 Evaluated index	参考文献 Reference
铁Fe	15.89±0.84	71.30—80.60	增重率WG	[54]
铜Cu	9.92±0.47	8.30—11.50	增重率WG	[54]
锌Zn	7.15±0.85	54.2	碱性磷酸酶活性ALP	[54]
锌Zn	7.00±0.20	75.47	特定生长率SGR	[55]
磷P	22.10±1.90	880	增重率WG	[57]
磷P	6.13±0.21	930	增重率WG	[58]
磷/钙Ca/P	6.03±0.26	1	增重率WG	[58]
锰Mn	6.27±0.03	21.72	特定生长率SGR	[61]
硒Se	6.27±0.03	0.79	特定生长率SGR	[61]
硒Se	22.18±0.35	1.29—1.46	特定生长率SGR	[62]

注: 磷Phosphorus (P); 钙Calcium (Ca); 锌Zinc (Zn); 铜Cuprum (Cu); 铁Ferrum (Fe); 锰Manganese (Mn); 硒Selenium (Se); 碱性磷酸酶活性Alkaline phosphatase (ALP)。其他简写同表 1—9 Other abbreviations are the same as shown in the Tab. 1—9

表 11 军曹鱼饲料中添加剂的适宜添加量

Tab. 11 Optimal amounts of additives in diets of *Rachycentron canadum* (%)

添加剂 Additive	试验鱼规格 Initial body weight (g)	添加量 Addition amount (%)	评估指标 Evaluated index	参考文献 Reference
甜菜碱Betaine	3.00±0.05	0.05	增重率 WG	[63]
胆汁酸Bile acid	5.40±0.12	0.03	饲料利用率 FCR	[64]
丙氨酰-谷氨酰胺Alanyl-glutamine	14.87±0.51	0.50	特定生长率 SGR	[65]
半乳低聚糖Galacto-oligosaccharides	18.55±0.23—19.03±0.06	0.20—0.40	特定生长率 SGR	[66]
枯草芽孢杆菌和嗜酸乳杆菌BaS and LaA	22.00±0.15	2.0×10 ⁷ cfu/g	特定生长率 SGR	[67]
枯草芽孢杆菌BaS	10.10±0.50	0.60	特定生长率 SGR	[68]
壳聚糖Chitosan	9.40±0.40	0.10	特定生长率 SGR	[69]
牛磺酸Taurine	108.20±3.00	1.00%	特定生长率 SGR	[70]
胆固醇Cholesterol	24.00±0.19	0.57	增重率 WG	[71]

注: 枯草芽孢杆菌Bacillus subtilis (BaS); 嗜酸乳杆菌Lactobacillus acidophilus (LaA)。其他简写同表 1—10 Other abbreviations are the same as shown in the Tab. 1—10

饲料为主(蛋白45%, 脂肪5%—15%), 并取得了良好的效果。但是, 对于大规模军曹鱼(>2 kg), 由于开展养殖试验的难度较大、成本较高, 相关研究报道很少, 对其营养需求不太清楚; 另一方面, 大规模军曹鱼的嘴较大, 需大口径饲料, 目前的饲料机械难以生产出适合养殖生产需要的大粒径配合饲料。因此, 今后需要加强大规模军曹鱼的营养需求研究及生产大粒径配合饲料机械的开发和生产工艺的研究。同时, 目前市场上的军曹鱼商品饲料品质存在良莠不齐的现象, 部分配合饲料由于技术不成熟, 存在适口性差的现象, 导致其生理代谢异常, 抗病能力差, 消化吸收能力低^[75—77]。为满足军曹鱼规模化和集约化养殖的需求, 其养殖产业迫切需要开发高效、环保的优质配合饲料。

3 结论与展望

目前, 有关军曹鱼的营养需求与饲料的研究已经取得较大进展, 其对蛋白质的适宜需求量为40%—50%, 脂肪为6%—15%, 碳水化合物为20%—30%。同时, 有关鱼体对不同蛋白源的表现消化率, 必需氨基酸、维生素、矿物质的适宜需要量, 替代蛋白源、替代脂肪源及饲料添加剂的开发应用等也取得较多数据, 这些为军曹鱼配合饲料的研制提供了科学依据。

但是, 目前仍有一些影响军曹鱼饲料和养殖产业发展的的问题需要解决: (1)除上述蛋白源外, 军曹鱼对其他蛋白源的适宜需求量和表现消化率未见研究报道, 如小麦面筋、米糠粕、发酵菜籽粕、发酵花生粕、发酵棉粕等。(2)替代蛋白源和脂肪源利用方面, 目前主要集中在单种蛋白源替代鱼粉和单一油源替代鱼油, 而不同蛋白源或脂肪源混合使用替代鱼粉和鱼油的研究少见报道, 值得研究。(3)目前, 对于军曹鱼的营养需求研究均停留在幼鱼阶段, 有必要对其不同生长阶段的营养需求进行研究。(4)微量元素缺乏对鱼体免疫、抗氧化、抗应激能力的影响需要进一步研究。(5)由于军曹鱼具有生长速度快(年生长体重可达6—8 kg)、个体大(2年可达10 kg以上)的特点, 目前适合军曹鱼成鱼养殖的大粒径配合饲料缺乏, 导致配合饲料使用率低。在饲料原料确定的情况下, 加工工艺是影响饲料质量的主要因素之一。如膨化技术可以破坏或降低饲料原料中的抗营养因子, 提高饲料适口性和利用率。因此, 急需研发适合大规模鱼种生长需要的配合饲料及相应的饲料加工设备及工艺, 生产大粒径配合饲料并加以推广应用, 以提高配合饲料的

使用率, 减少冰鲜杂鱼的使用量。(6)针对军曹鱼适宜做生鱼片的特点, 开展脂类代谢调控机理及鱼肉风味和品质影响机制的研究, 对于促进该鱼的消费需求及其养殖业的发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] Gu Q H, Xi F Y, Wu P P, *et al.* Introduction of Bratwax Aquaculture Varieties in Guangdong Province (2) [J]. *China Fisheries*, 2010, (10): 42—45 [古群红, 洗凤英, 吴缥飘, 等. 广东省咸淡水养殖品种介绍(二). 中国水产, 2010, (10): 42—45]
- [2] Chen B S, Ke H. Biological characterization and net-cage cultured technology of Canadian sergeant fish, *Rachycentron canadum* (Linnaeus) [J]. *Fisheries Information and Strategy*, 1999, (9): 16—19 [陈毕生, 柯浩. 军曹鱼 *Rachycentron canadum* (Linnaeus) 的生物学特征及网箱养殖技术. 渔业信息与战略, 1999, (9): 16—19]
- [3] Chou R L, Su M S, Chen H Y. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Fisheries Science & Technology*, 2003, **193**(1-2): 81—89
- [4] Craig S R, Schwarz M H, Mclean E. Juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) can utilize a wide range of protein and lipid levels without impacts on production characteristics [J]. *Aquaculture*, 2006, **261**(1): 384—391
- [5] Lou Y W. Nutrition requirement of dietary protein and optimal replacement of fish meal protein by rapeseed meal and corn gluten meal in cobia, *Rachycentron canadum* [D]. China Ocean University. 2012 [骆艺文. 军曹鱼蛋白质需要量及菜籽粕、玉米蛋白粉替代鱼粉的研究. 中国海洋大学. 2012]
- [6] Zhou Q, Tan B, Mai K, *et al.* Apparent digestibility of selected feed ingredients for juvenile cobia *Rachycentron canadum* [J]. *Aquaculture*, 2004, **241**(1-4): 441—451
- [7] Li A J. Aquatic Animal Nutrition and Feed Science [M]. China Agriculture Press. 1996, 26—36 [李爱杰. 水产动物营养与饲料学. 中国农业出版社. 1996, 26—36]
- [8] Li L D, Chen B S, Feng J, *et al.* Analysis and Evaluation in Nutritive value of *Rachycentron canadum* (Linnaeus) [J]. *Acta Tropical Sinica*, 2002, **21**(1): 76—82 [李刘冬, 陈毕生, 冯娟, 等. 军曹鱼营养成分的分析及评价. 热带海洋学报, 2002, **21**(1): 76—82]
- [9] Zhao H X, Cao J M, Wu J K, *et al.* Studies of Methionine requirement for juvenile cobia [J]. *Feed Industry*, 2006, **27**(4): 32—34 [赵红霞, 曹俊明, 吴建开, 等. 军曹鱼幼鱼对蛋氨酸的需要量. 饲料工业, 2006, **27**(4): 32—34]
- [10] Zhao H X, Cao J M, Wu J K, *et al.* Studies of Arginine requirement for juvenile cobia [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2007, **28**(4): 87—90 [赵红霞, 曹俊明, 吴建开, 等. 军曹鱼幼鱼对饲料中精氨酸的需要量. 华南农业大学学报, 2007, **28**(4): 87—90]
- [11] He Y F, Guo Y, Chi S Y, *et al.* Effects of Methionine sup-

- plementation in low fish meal diet on growth performance, body composition and muscle Amino acid composition of cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, **30**(2): 624—634 [何远法, 郭勇, 迟淑艳, 等. 低鱼粉饲料中补充蛋氨酸对军曹鱼生长性能、体成分及肌肉氨基酸组成的影响. 动物营养学报, 2018, **30**(2): 624—634]
- [12] Wang Z, Xu W, Mai K S, *et al.* The effects of valine level on plasma biochemical indexes, Lipid content and gene expression involved in lipid Metabolism in cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, **40**(4): 744—751 [王震, 徐玮, 麦康森, 等. 饲料缬氨酸水平对军曹鱼鱼体脂肪含量、血浆生化指标和肝脏脂肪代谢基因表达的影响. 水生生物学报, 2016, **40**(4): 744—751]
- [13] Zhou M, Wu J K, Cao J M, *et al.* Research on lysine requirement of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Journal of Yangtze University* (Natural Science Edition), 2005, **2**(2): 50—52 [周萌, 吴建开, 曹俊明, 等. 军曹鱼幼鱼对赖氨酸需要量的初步研究. 长江大学学报(自然科学版), 2005, **2**(2): 50—52]
- [14] Zhou Q, Wu Z, Chi S, *et al.* Dietary lysine requirement of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2007, **273**(4): 634—640
- [15] Chou R L, Her B Y, Su M S, *et al.* Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum* [J]. *Aquaculture*, 2004, **229**(1-4): 325—333
- [16] Yang J. Study on utilization of four plant protein sources for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* [D]. Guangdong Ocean University. 2010 [杨珺. 军曹鱼(*Rachycentron canadum*)对四种植物蛋白源的利用研究. 广东海洋大学. 2010]
- [17] Trushenski J, Laporte J, Lewis H, *et al.* Fish meal replacement with soy-derived protein in feeds for juvenile cobia: influence of replacement level and attractant supplementation [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2011, **42**(3): 435—443
- [18] Salze G, Mclean E, Battle P R, *et al.* Use of soy protein concentrate and novel ingredients in the total elimination of fish meal and fish oil in diets for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* [J]. *Aquaculture*, 2010, **298**(3-4): 294—299
- [19] Saadih I, Abol-Munafi A M, Utama C M C. Replacement of fishmeal in cobia (*Rachycentron canadum*) diets using poultry by-product meal [J]. *Aquaculture International*, 2011, **19**(4): 637—648
- [20] Costa-Bomfim C N, Silva V A, Bezerra R D S, *et al.* Growth, feed efficiency and body composition of juvenile cobia (*Rachycentron canadum* Linnaeus, 1766) fed increasing dietary levels of shrimp protein hydrolysate [J]. *Aquaculture Research*, 2016, **10**(1): 13011—13013
- [21] Han T, Wang J T, Wang Y, *et al.* Effect of different fish protein hydrolysate (FPH) level of dietary supplements on growth and body composition of larvae of cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(1): 94—100 [韩涛, 王骥腾, 王勇, 等. 饲料中不同水平鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼生长及体组成的影响. 水生生物学报, 2010, **34**(1): 94—100]
- [22] Lunger A N, Craig S R, Mclean E. Replacement of fish meal in cobia (*Rachycentron canadum*) diets using an organically certified protein [J]. *Aquaculture*, 2006, **257**(1-4): 393—399
- [23] Wang J T, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2005, **249**(1-4): 439—447
- [24] Li Y Y, Hu C B, Zheng Y J, *et al.* The effects of dietary fatty acids on liver fatty acid composition and Delta(6)-desaturase expression differ with ambient salinities in *Siganus canaliculatus* [J]. *Comparative Biochemistry & Physiology Part B*, 2008, **151**(2): 183—190
- [25] Morais S, Castanheira F, Martinez-Rubio L, *et al.* Long chain polyunsaturated fatty acid synthesis in a marine vertebrate: ontogenetic and nutritional regulation of a fatty acyl desaturase with Delta4 activity [J]. *BBA - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 2012, **1821**(4): 660—671
- [26] Sarker A A, Yamamoto Y, Haga Y, *et al.* Influences of low salinity and dietary fatty acids on fatty acid composition and fatty acid desaturase and elongase expression in red sea bream *Pagrus major* [J]. *Fisheries Science*, 2011, **77**(3): 385—396
- [27] Liu X W, Tan B P, Mai K S, *et al.* Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and fatty acids composition of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, **31**(2): 190—195 [刘兴旺, 谭北平, 麦康森, 等. 饲料中不同水平n-3 HUFA对军曹鱼生长及脂肪酸组成的影响. 水生生物学报, 2007, **31**(2): 190—195]
- [28] Zhang H Z. Effects of different ratios of DHA/EPA on the growth and fatty acids of cobia (*Rachycentron canadum*) juvenile [D]. Shantou University. 2007 [张海柱. 不同比例的DHA/EPA对军曹鱼稚鱼的生长和脂肪酸影响. 汕头大学. 2007]
- [29] Xie D Z, Wang S Q, You C H, *et al.* Influencing factors and mechanisms on HUFA biosynthesis in teleosts [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, **20**(2): 456—466 [谢帝芝, 王树启, 游翠红, 等. 鱼类高度不饱和和脂肪酸合成的影响因素及其机理. 中国水产科学, 2013, **20**(2): 456—466]
- [30] Zhou M, Cao J M, Liang H O, *et al.* Effects of feedstuff n-3/n-6 fatty acid ratio on growth, fatty acid composition in tissues of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2006, **10**(12): 77—81 [周萌, 曹俊明, 梁海鸥, 等. 饲料n-3/n-6脂肪酸比值对军曹鱼生长及鱼体组织脂肪酸组成的影响. 广东农业科

- 学, 2006, **10**(12): 77—81]
- [31] Liu L. Requirement and regulation of arachidonic acid in young cobia (*Rachycentron canadum*) [D]. Shantou University. 2008 [刘亮. 军曹鱼幼鱼对花生四烯酸的需求与调控. 汕头大学. 2008]
- [32] Xiao L D, Mai K S, Q. H. A I, *et al* Dietary ascorbic acid requirement of cobia, *Rachycentron canadum* Linneaus [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, **16**(6): 582—589
- [33] Xu Y Q, Li W F, Zheng Y M, *et al*. Effect of polyunsaturated fatty acids on the growth and metabolism of nuclear acids in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Feed industry*, 2017, **38**(22): 1—9 [许友卿, 李伟峰, 郑一民, 等. 多不饱和脂肪酸对军曹鱼幼鱼生长和核酸代谢的影响. 饲料工业, 2017, **38**(22): 1—9]
- [34] Wang J T, Han T, Tian L X, *et al*. Impact of three vegetable oil sources on growth, body composition and tissue fatty acid composition of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University* (Natural Science), 2007, **26**(3): 237—245 [王骥腾, 韩涛, 田丽霞, 等. 3种植物油源对军曹鱼生长、体组成和脂肪酸组成的影响. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2007, **26**(3): 237—245]
- [35] Lin H F. Effects of replacement of dietary fish oil by vegetable oils on growth, serum biochemical parameters and fatty acid profiles of juvenile cobia, (*Rachycentron canadum*) [D]. Guangdong Ocean University. 2012 [林华锋. 3种植物油替代鱼油对军曹鱼幼鱼生长、血清生化指标和脂肪酸组成的影响. 广东海洋大学. 2012]
- [36] Trushenski J, Schwarz M, Lewis H, *et al*. Effect of replacing dietary fish oil with soybean oil on production performance and fillet lipid and fatty acid composition of juvenile cobia *Rachycentron canadum* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, **17**(2): 1437—1447
- [37] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish [J]. *Aquaculture*, 1994, **124**(1-4): 67—80
- [38] Lou Y P, Xie X J. Progress of carbohydrate utilization in fish [J]. *Southern Fisheries Science*, 2010, **17**(2): 381—390 [罗毅平, 谢小军. 鱼类利用碳水化合物的研究进展. 中国水产科学, 2010, **17**(2): 381—390]
- [39] Grisdale-Helland B, Helland S J. Replacement of protein by fat and carbohydrate in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the end of the freshwater stage [J]. *Aquaculture*, 1997, **152**(1—4): 167—180
- [40] Wu J K, Cao J M, Liang H O, *et al*. Effects of dietary carbohydrate levels on growth, Serum biochemical indices and hepatic carbohydrate Metabolic enzymes in cobia juvenile [C]. Chinese Society of Animal Husbandry and Veterinary Nutrition Branch – Symposium. 2004 [吴建开, 曹俊明, 梁海鸥, 等. 饲料中碳水化合物水平对军曹鱼幼鱼生长、血清生化指标和肝脏糖代谢酶的影响. 中国畜牧兽医学动物营养学会—学术研讨会. 2004]
- [41] Ren M C. Studies on nutritional physiology of carbohydrate for cobia and rainbow trout [D]. China Ocean University. 2012 [任鸣春. 军曹鱼和虹鳟糖类营养生理研究. 中国海洋大学. 2012]
- [42] Liu Y L. The effect of carbohydrate to growth and metabolism on cobia [D]. China Ocean University. 2014 [刘迎隆. 不同添加量的糖对军曹鱼生长代谢的影响. 中国海洋大学. 2014]
- [43] Liu H Y, Mao Y B, Tan P P, *et al*. Effects of different dietary carbohydrate levels on growth and glucose tolerance ability in fishes of different feeding habits [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2015, **39**(12): 1852—1862 [刘泓宇, 毛义波, 谭北平, 等. 饲料糖水平对不同食性鱼类生长及葡萄糖耐受能力的影响. 水产学报, 2015, **39**(12): 1852—1862]
- [44] Ai Q, Mai K, Zhang C, *et al*. Effects of dietary vitamin C on growth and immune response of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicas* [J]. *Aquaculture*, 2004, **242**(1): 489—500
- [45] Kiron, Puangkaew, Ishizaka, *et al*. Antioxidant status and nonspecific immune responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed two levels of vitamin E along with three lipid sources [J]. *Aquaculture*, 2004, **234**(1): 361—379
- [46] Lin Y H, Shiau S Y. Dietary vitamin E requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, at two lipid levels, and their effects on immune responses [J]. *Aquaculture*, 2005, **248**(1—4): 235—244
- [47] Misra C K, Das B K, Mukherjee S C, *et al*. Effects of dietary vitamin C on immunity, growth and survival of Indian major carp *Labeo rohita*, fingerlings [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2007, **13**(1): 35—44
- [48] Sejin L, Kyeongjun L. Partial replacement of fish meal by cottonseed meal and soybean meal with iron and phytase supplementation for parrot fish *Oplegnathus fasciatus* [J]. *Aquaculture*, 2009, **290**(3—4): 283—289
- [49] Wang G L. The effect of Vitamin E and Vitamin C on growth performance, Non-specific immune response for cobia, *Rachycentron canadum* [D]. Guangdong Ocean University. 2011 [王立改. 维生素E和C对军曹鱼(*Rachycentron canadum*)生长性能和非特异性免疫的影响. 广东海洋大学. 2011]
- [50] Xiao L D. Studies on nutritional physiology of major water-soluble vitamins for cobia (*Rachycentron canadum*) [D]. China Ocean University. 2009 [肖林栋. 军曹鱼(*Rachycentron canadum*)主要水溶性维生素营养生理研究. 中国海洋大学. 2009]
- [51] Shimeno S. Yellowtail, *Seriola quinqueradiata* [M]. Handbook of Nutrient Requirements of Finfish. 1991, 181—191
- [52] Mohamed F A. The role of impurities in superplastic flow and cavitation [J]. *Materials Science Forum*, 2001, **357—359**: 83—92
- [53] Liu K. Studies on nutritional physiology of pyridoxine, myo-inositol and Pantothenic acid for cobia *Rachy-*

- centron canadum* [D]. China Ocean University. 2008 [刘凯. 军曹鱼(*Rachycentron canadum*)吡哆醇、肌醇和泛酸营养生理的研究. 中国海洋大学. 2008]
- [54] Qiao Y G. Study on nutrition physiology of zinc, iron and copper in cobia (*Rachycentron canadum*) [D]. China Ocean University. 2007 [乔永刚. 军曹鱼微量元素锌、铁、铜营养生理的研究. 中国海洋大学. 2007]
- [55] Yang Y Z, Xu Z X, Dong X H. Dietary Zinc requirement of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *China Feed*, 2007, **26**(3): 32—34 [杨原志, 徐志雄, 董晓慧. 军曹鱼幼鱼日粮锌最适添加量的研究. 中国饲料, 2007, **26**(3): 32—34]
- [56] Xiong W. Effects of various phosphorus sources and phosphorus levels on growth performance in juveniles black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii* [D]. Zhejiang University. 2010 [熊文. 磷源和磷浓度对黑鲷幼鱼生长性能的影响. 浙江大学. 2010]
- [57] Zhou M, Cao J M, Wu J K, *et al.* Dietary phosphorus requirement of juvenile cobia, *Rachycentron canadum* [J]. *Journal of Animal Nutrition*, 2005, **17**(3): 62 [周萌, 曹俊明, 吴建开, 等. 军曹鱼幼鱼对饲料中磷需要量的研究. 动物营养学报, 2005, **17**(3): 62]
- [58] Liu X Q. Studies on optimal dietary phosphate sources, phosphorus requirement and calcium /phosphorus ratio for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* [D]. Guangdong Ocean University. 2010 [刘仙钦. 军曹鱼(*Rachycentron canadum*)幼鱼饲料中适宜磷源、磷水平以及钙磷比研究. 广东海洋大学. 2010]
- [59] Lin Y H, Shiao S Y. Dietary selenium requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus* [J]. *Aquaculture*, 2005, **250**(1): 356—363
- [60] Lin Y H, Lin S M, Shiao S Y. Dietary manganese requirements of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. *Aquaculture*, 2008, **284**(1—4): 207—210
- [61] Liu K. Studies on nutritional physiology of selenium and manganese for cobia (*Rachycentron Canadum*) [D]. China Ocean University. 2010 [刘康. 军曹鱼幼鱼(*Rachycentron canadum*)微量元素硒、锰的营养生理研究. 中国海洋大学. 2010]
- [62] Yang Q Z, Nie J Q, Tan B P, *et al.* Effects of selenium source and selenium level on growth performance, liver and serum antioxidant indices and selenium content in tissues of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Editorial Office of Animal Nutrition*, 2016, **28**(12): 3894—3904 [杨原志, 聂家全, 谭北平, 等. 硒源与硒水平对军曹鱼幼鱼生长性能、肝脏和血清抗氧化指标及组织硒含量的影响. 动物营养学报, 2016, **28**(12): 3894—3904]
- [63] Zhang W C, Liang Z Y, Yang H J, *et al.* Effects of dietary betaine on growth, nutritional components and serum biochemistry of *Rachycentron canadum* [J]. *Southern Fisheries Science*, 2012, **8**(3): 1—9 [张文超, 梁桂英, 阳会军, 等. 饲料中添加甜菜碱对军曹鱼生长、体营养成分和血清生化指标的影响. 南方水产科学, 2012, **8**(3): 1—9]
- [64] Zhou S Y, Liu Y J, Liang H O, *et al.* Effect of bile acids on growth and body composition of cobia [J]. *Southern Fisheries Science*, 2010, **6**(4): 20—25 [周书耘, 刘永坚, 梁海鸥, 等. 饲料中添加胆汁酸对军曹鱼生长及体组成的影响. 南方水产科学, 2010, **6**(4): 20—25]
- [65] Ding Z K, Li W F, Huang J H, *et al.* Effects of dietary Alanine-glutamine and vitamin E supplements on cobia *Rachycentron canadum* [J]. *Fisheries Science*, 2017, **36**(4): 395—402 [丁兆坤, 李伟峰, 黄金华, 等. 丙氨酸-谷氨酰胺和维生素E对军曹鱼的影响. 水产科学, 2017, **36**(4): 395—402]
- [66] Guo Z X, Lin H Z, Xu L W, *et al.* Effect of galactooligosaccharides in feed on growth performance serum immunological and biochemical factors of cobia [J]. *South China Fisheries Science*, 2011, **7**(1): 56—61 [郭志勋, 林黑着, 徐力文, 等. 饲料中添加半乳低聚糖对军曹鱼生长、部分血清免疫和生化因子的影响. 南方水产科学, 2011, **7**(1): 56—61]
- [67] He W C. Effect of two probiotics on the growth performance, immune enzymes, digestive enzymes, intestinal microflora and *TLR9* gene expression in tissues of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*), intestinal flora structure and *TLR9* gene expression of juvenile coilia juveniles [D]. Guangdong Ocean University. 2015 [何伟聪. 二种益生菌对军曹鱼幼鱼生长性能、免疫酶和消化酶活性、肠道菌群结构及*TLR9*基因表达量的影响. 广东海洋大学. 2015]
- [68] Geng X, Dong X H, Tan B P, *et al.* Effects of dietary chitosan and *Bacillus subtilis* on the growth performance, non-specific immunity and disease resistance of cobia, *Rachycentron canadum* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2011, **31**(3): 400—406
- [69] Geng X, Dong X H, Tan B P, *et al.* Effects of dietary probiotic on the growth performance, non-specific immunity and disease resistance of cobia, *Rachycentron canadum* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2012, **18**(1): 46—55
- [70] Lou Y W, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of dietary taurine and cholesterol on growth performance, body composition and plasma metabolites in diets of cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Journal of Ocean University of China (Natural Science)*, 2013, **43**(8): 31—36 [骆艺文, 艾庆辉, 麦康森, 等. 饲料中添加牛磺酸和胆固醇对军曹鱼生长、体组成和血液指标的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, **43**(8): 31—36]
- [71] Chen Q, Liu H Y, Tan B P, *et al.* Effects of dietary cholesterol level on growth performance, blood biochemical parameters and lipid metabolism of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2016, **36**(1): 35—43 [陈强, 刘泓宇, 谭北平, 等. 饲料胆固醇对军曹鱼幼鱼生长、血液生化指标及脂代谢的影响. 广东海洋大学学报, 2016, **36**(1): 35—43]

- [72] Lin S S, Zhang T P, Rao K, *et al.* Effect of different feeds on the cobia(*Rachycentron canadum*) anti-oxidation ability and lipid metabolism [J]. *Fishery Modernization*, 2014, **41**(1): 21—25 [林尚书, 章逃平, 饶科, 等. 不同饲料配方对军曹鱼抗氧化能力及脂代谢的影响. 渔业现代化, 2014, **41**(1): 21—25]
- [73] Lin Y W. Raise high input and high output of cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Marine and fishery Magazine*, 2016, (3): 40—41 [李奕雯. 养军曹鱼高投入高产出. 海洋与渔业, 2016, (3): 40—41]
- [74] Huang M J, Shi H R, Zhou Q Y, *et al.* Comparison of feeding cobia (*Rachycentron canadum*) with moist pellet feed and frozen trash fish in deep-water cages [J]. *Fishery Modernization*, 2013, **40**(6): 20—23 [黄明坚, 石和荣, 周勤勇, 等. 软颗粒饲料和冰鲜鱼在深水网箱养殖军曹鱼中投喂效果比较. 渔业现代化, 2013, **40**(6): 20—23]
- [75] Liu X W, Wang H L. Cobia nutritional requirements and feed development [J]. *Guangdong Feed*, 2010, (12): 29—31 [刘兴旺, 王华朗. 军曹鱼营养需求与饲料开发. 广东饲料, 2010, (12): 29—31]
- [76] Xu Y Q, Zheng J Z, Ding Z K. Cobia (*Rachycentron canadum*) culture and its formulated feed [J]. *Fisheries Science*, 2006, **25**(1): 34—36 [许友卿, 郑景洲, 丁兆坤. 军曹鱼的养殖与配合饲料. 水产科学, 2006, **25**(1): 34—36]
- [77] Zhang B. Problems and countermeasures in deep-seated net cage breeding [J]. *China Fisheries*, 2002, (5): 28—29 [张本. 抗风浪深水网箱养殖存在的问题及对策建议. 中国水产, 2002, (5): 28—29]

PROGRESS IN NUTRITIONAL REQUIREMENTS AND FEED RESEARCH OF COBIA *RACHYCENTRON CANADUM*

MA Yong-Cai¹, ZHANG Guan-Rong², LI Meng-Meng¹, CHEN Han-Yi¹, NING Li-Jun¹,
XIE Di-Zhi¹ and LI Yuan-You¹

(1. College of Marine Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Marine Biotechnology, Shantou University, Shantou 515063, China)

Abstract: Farmed fish has become the main source to meet the demand of human for aquatic products. Cobia *Rachycentron canadum* is one of the main farmed marine fish in southern China, which were cultured in sea net due to its fast growth, tender meat and high nutritional value. However, the cobia cultivation mainly depends on iced fresh fish, especially for the culture of large-size fish, which seriously restricts the development of farming industry. It is urgent to develop the corresponding formula for fish growth at different stages. This article summarized the research progress of cobia on nutrients requirements such as protein, fat, amino acids, fatty acids and micronutrients, the alternative of fish meal and fish oil in feed, the application of feed additives, as well as the developmental status of feed industry to provide reference for studies on nutritional requirements and the development of compound feeds of cobia.

Key words: *Rachycentron canadum*; Present aquaculture; Nutritional requirement; Formulated feed