

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.01257

饲料中添加浒苔对黄斑蓝子鱼生长性能与生理生化指标的影响

周胜强, 游翠红, 王树启, 李远友

汕头大学 海洋生物研究所, 广东省海洋生物技术重点实验室, 广东 汕头 515063

摘要: 试验用黄斑蓝子鱼(*Siganus canaliculatus*)幼鱼捕自汕头大学南澳临海试验站附近海域, 在海上网箱中暂养半个月后将其转入室内水族缸(容积 200 L)中驯养 2 周, 饵料为自制配合饲料。新鲜浒苔(*Enteromorpha prolifera*)从汕头市南澳县盐田采得, 用水清洗后晒干, 经小型粉碎机粉碎, 过 60 目筛, 制成海藻干粉。选取体质量约 23 g 黄斑蓝子鱼进行试验。在蛋白水平 32%、脂肪水平 8%的情况下, 配制 6 种配合饲料, 其中 3 种饲料分别添加 5%、10%和 15%的浒苔干粉, 另 2 种添加 10%、15% 浒苔的饲料中还添加 0.2%非淀粉多糖酶(NSP 酶), 对照组饲料不添加浒苔。养殖试验周期为 8 周。结果显示: 与对照组相比, 5%浒苔组鱼的生长性能不受影响($P>0.05$), 但 10%和 15% 浒苔组鱼的生长性能显著降低($P<0.05$); 然而, 在添加 0.2% NSP 酶的情况下, 10%和 15% 浒苔组鱼的生长性能与对照组相比无显著差异($P>0.05$)。各饲料组鱼的成活率及全鱼的水分、蛋白、脂肪、灰分含量无显著差异($P>0.05$)。与对照组鱼相比, 浒苔饲料组鱼肝和肌肉中的过氧化氢酶及谷胱甘肽过氧化物酶的活性增高, 丙二醛含量降低。结果表明, 黄斑蓝子鱼配合饲料中浒苔的添加比例可达 5%; 在加入一定量 NSP 酶的情况下, 其添加比例可达 10%~15%。饲料中添加适当比例的浒苔可提高鱼体的抗氧化能力。本研究旨在探讨浒苔作为黄斑蓝子鱼配合饲料原料加以利用的可行性, 为浒苔资源开辟一条有效的利用途径, 并为研发高效、低成本蓝子鱼配合饲料提供指导和依据。

关键词: 黄斑蓝子鱼; 配合饲料; 海藻; 浒苔; 非淀粉多糖酶; 生长性能; 生理生化

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)06-1257-09

目前, 中国养殖的海水鱼类绝大部分为肉食性鱼类, 它们对蛋白质和脂肪的需要量较高; 养殖用饵料主要为冰鲜小杂鱼, 少数为配合饲料, 存在浪费和破坏自然渔业资源、污染环境、养殖成本高等诸多弊端。相反, 植食性鱼类对蛋白质和脂肪的需要量要比肉食性鱼类低得多, 而且可以利用藻类作为食物或饲料原料, 这不仅大大可以降低养殖成本, 还可以有效利用大量的低值、残次海藻资源; 海藻资源的利用及其养殖业的发展则有利于改善和保护海区环境。为此, 国际粮农组织(FAO)也极力推荐开发植食性海水鱼类养殖品

种^[1]。蓝子鱼是中国东南沿海地区近年来发展起来的植食性海水养殖鱼类, 主养种类有黄斑蓝子鱼(*Siganus canaliculatus*)和褐蓝子鱼(*S. fuscescens*)^[2-7]。它们在自然状态下喜欢摄食大型海藻^[8-9], 在养殖条件下稍加驯化后也可摄食配合饲料。

中国沿海的海藻资源丰富, 如浒苔(*Enteromorpha prolifera*)、石莼(*Ulva pertusa* L.)、线形硬毛藻(*Chaetomorpha linum*)等低值海藻以及龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)、坛紫菜(*Pophyra haitanensis*)的残次海藻并未得到有效利用, 这不仅是自然资源的浪费, 其腐烂物还会带来严重的环境

收稿日期: 2013-04-01; 修订日期: 2013-07-03.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41276179); 科技部国家科技支撑计划项目(2012BAC07B05); 广东省自然科学基金研究团队项目(S2011030005257); 广东省教育部产学研结合项目(2011B090400039).

作者简介: 周胜强(1987-), 男, 硕士, 研究方向: 水产动物营养与饲料. E-mail: 10sqzhou@stu.edu.cn

通信作者: 李远友, 教授, 博士生导师. E-mail: yyli@stu.edu.cn

污染。海藻的营养成分较丰富,其碳水化合物含量一般可达藻体干重 50%以上,也含有一定量的蛋白质(一般低于 20%)、脂肪(一般低于 5%),以及多种游离氨基酸、维生素、矿物质和未知生长素,具有增强机体免疫力、抗病毒、促进生长、改善肉质、诱食等功能,是食品、药物、饲料等的原料库^[10-11]。为了探讨将大型海藻作为黄斑蓝子鱼配合饲料原料加以利用的可能性,本课题组在前期研究中,以粤东海域常见的 7 种大型海藻(龙须菜、坛紫菜、无柄珊瑚藻、浒苔、线性硬毛藻、石莼、羊栖菜)为对象,就黄斑蓝子鱼对它们的摄食偏好性进行研究,结果发现该鱼优先摄食浒苔和龙须菜(待发表结果)。目前,龙须菜的主要用途是提炼琼胶和鲍鱼饲料,而浒苔尚未得到较好利用。

浒苔(*Enteromorpha prolifera*)隶属于绿藻门(Chlorophyta)、石莼目(Ulvales)、石莼科(Ulvaceae)、浒苔属,是一种世界性的大型海藻。在合适的环境条件下,浒苔能快速繁殖生长,藻体覆盖大片海域,形成绿潮,导致环境灾害^[12]。浒苔的营养成分较丰富,其碳水化合物含量 50%左右,蛋白质含量一般 10%~20%,脂肪含量较低(一般小于 1%),目前可用来投喂草食性动物,如鱼、蜗牛和水禽类等^[13]。中国沿海的浒苔资源量丰富,用新鲜浒苔投喂水生动物,会受到消耗量较小以及季节性资源变动的限制;如果将其开发为鱼类的配合饲料原料,则可使其资源得到更加科学、有效地利用。为此,本研究分别以不同比例浒苔干粉添加到黄斑蓝子鱼的配合饲料中,通过生长试验,比较不同饲料组蓝子鱼的生长性能和鱼体生理生化成分的差异,从而评估浒苔作为该鱼配合饲料原料的可行性及其适宜的添加比例。本研究旨在为浒苔资源的利用开辟有效途径,并为研发高效、低成本蓝子鱼配合饲料提供指导和依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

养殖试验用黄斑蓝子鱼幼鱼于 2011 年 10 月捕自汕头大学南澳临海试验站附近海域。在海上

网箱中暂养半个月后将其转入室内水族缸(容积 200 L)中驯养 2 周,饵料为自制的配合饲料(表 1 中的对照组饲料)。

1.2 试验饲料

参考本课题组的研究结果^[14-15],在总蛋白和总脂肪含量分别为 32%和 8%的情况下,配制 5 种添加浒苔干粉的配合饲料,其中 3 种饲料分别添加 5%、10%、15%的浒苔干粉,另外 2 种添加 10%、15%浒苔干粉的饲料还添加 0.2%的非淀粉多糖酶(购自广东肇庆市华芬饲料酶有限公司),对照组饲料中不添加浒苔。6 种饲料的配方见表 1。新鲜浒苔从汕头市南澳县盐田采得,用水清洗后晒干;经小型粉碎机(上海渔业机械研究所生产)粉碎,过 60 目筛,制成海藻干粉。将各种饲料原料混合均匀、加水后,用饲料机(上海渔业机械研究所生产)制成颗粒饲料,自然晾干后保存于 4℃冰箱中备用。

1.3 养殖试验设计与饲养管理

养殖试验在汕头大学南澳临海实验站的室内养殖系统中进行,试验缸为直径 0.7 m、容积约 200 L 的圆柱形水族缸。养殖试验分组时,将驯养好的黄斑蓝子鱼幼鱼全部集中,挑选规格基本一致、体质量 23 g 左右的个体;麻醉后称重,分组开展正式的养殖试验。试验共设 6 组,每组设 3 个平行缸,每缸放鱼 12 尾。6 组分别以上述 6 种配合饲料投喂;每天 8:30 和 16:30,采用饱食法各投喂一次。养殖用水为经过沙滤后的天然海水,水温为(18±3)℃,盐度为 32~35, pH7.8~8.2;自然光周期,昼夜充气增氧,溶氧在 5 mg/L 以上。每天早晨用虹吸法吸去缸底粪便,换水约 1/2 体积。养殖时间从 2011 年 11 月 10 日到 2012 年 1 月 10 日,共 8 周。

1.4 样品收集及生化指标测定方法

1.4.1 鱼体称重和试验取样 试验开始和结束时,将鱼麻醉后分别对每尾鱼进行称重,用于生长性能评估。试验开始时,随机取 6 尾鱼用于全鱼生化成分分析。试验结束时,从每缸取鱼 2 尾,抽血并解剖取肝和肌肉组织,于液氮中速冻后保存于 -80℃冰箱中备用,用于测定有关生理生化指标;从每缸取 2 尾鱼用于全鱼生化成分分析。

表 1 试验饲料配方
Tab. 1 Composition of experimental diets

成分 ingredients	浒苔添加比例 dietary <i>E. prolifera</i> level						%
	0% 对照组 control	5%	10%	15%	10%+酶 10%+enzyme	15%+酶 15%+enzyme	
鱼粉 fish meal	29	29	29	29	29	29	
豆粕 soya bean meal	26	24	22	20	22	20	
鱼油 fish oil	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	
豆油 soya bean oil	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	
α-淀粉 α-starch	5	5	5	5	5	5	
淀粉 wheat starch	22.8	19.8	16.8	13.8	16.8	13.8	
浒苔 <i>E. prolifera</i>	0	5	10	15	10	15	
维生素 vitamin	1	1	1	1	1	1	
矿物质 mineral substance	1	1	1	1	1	1	
纤维素 cellulose	9	9	9	9	8.8	8.8	
氯化胆碱 choline chloride	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
维生素 C vitamin C	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
NSP 酶 enzymes	0	0	0	0	0.2	0.2	
DL_蛋氨酸 methionine	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
CaHPO ₄	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
总计/% total	100	100	100	100	100	100	
水分 moisture	6.73	6.39	6.81	6.99	6.47	6.88	
粗蛋白 crude protein	33.54	33.44	32.32	32.35	32.51	32.71	
粗脂肪 crude lipid	8.01	8.12	8.13	8.19	8.06	8.28	
灰分 ash	10.23	13.62	16.55	18.89	15.56	18.32	

注: 1) 浒苔蛋白含量为 17%, 脂肪含量 0.5%, 灰分含量为 45%; 鱼粉蛋白含量为 67%, 脂肪含量为 10%, 水分 9.0%; 豆粕蛋白含量 50%, 脂肪含量 0.5%, 水分 9.1%。2) NSP 酶主要成分是纤维素酶、β-葡聚糖酶和木聚糖酶, 具体比例不详。
Note: 1) The contents of protein, fat and ash are respectively 17%, 0.5% and 45% in *E. prolifera*; those of protein, fat and moisture are respectively 67%, 10% and 9.0% in fish meal, and 50%, 0.5% and 9.1% in soya bean meal. 2) The main ingredients of NSP enzyme are cellulase enzyme, beta dextranase and xylanase, their relative proportions are not provided in the description.

1.4.2 生化指标测定 组织中的胆固醇、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、总抗氧化能力、超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶、过氧化氢酶和丙二醛的含量均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒进行测定, 具体测定方法见说明书。配合饲料及全鱼样品的水分、粗蛋白、粗脂肪及灰分的含量, 按照国标 GB/T 6435-1986、GB/T 6432- 1994、GB/T 6438-1992、GB/T 6438-2007 方法测定。

1.4.3 生长性能指标计算公式 试验鱼的增重率、饵料系数、蛋白质效率、成活率等指标计算公式如下:

$$\text{增重率}(\text{weight gain rate, WGR, \%}) = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100\%$$

$$\text{饵料系数}(\text{feed conversion ratio, FCR}) =$$

$$\frac{\text{总投饵量}}{\text{体重增加量}}$$

$$\text{蛋白质效率}(\text{protein efficiency rate, PER, \%}) = \frac{\text{体重增加量}}{\text{总摄食量} \times \text{饲料蛋白含量}} \times 100\%$$

$$\text{成活率}(\text{survival rate, SUR, \%}) = \frac{\text{末尾数}}{\text{初尾数}} \times 100\%$$

式中, W_t —结束取样时鱼的平均体质量, g; W_0 —初始取样时鱼的平均体质量, g; n —试验天数, d。

1.5 数据处理及分析
数据以同一处理组 3 个平行缸的平均值 ± 标准误($\bar{x} \pm \text{SE}$)表示, 各组数据用 Excel 初步处理后, 用 Origin 7.0 软件进行单因素方差分析(ANOVA)和 Tukey 多重比较法分析组间差异, 当 $P < 0.05$ 时认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 饲料中添加不同比例浒苔对黄斑蓝子鱼生长性能的影响

经过 8 周的养殖试验后,各饲料组鱼的成活率、生长性能情况见表 2。结果显示,与饲料中未添加浒苔的对照组鱼相比,配合饲料中添加浒苔对黄斑蓝子鱼幼鱼的成活率无影响,但对生长性能有显著影响。5%浒苔组鱼的增重率与对照组无显著差异($P>0.05$),但 10%或 15%浒苔组鱼的增重率显著降低($P<0.05$)。在添加 0.2% NSP 酶的情况下,10%和 15%浒苔组鱼的增重率与对照组相比无显著差异($P>0.05$),说明饲料中添加 NSP 酶有助

于蓝子鱼对浒苔的消化吸收。饲料系数、蛋白质效率除个别组外,一般与对照组无显著差异。

2.2 饲料中添加不同比例浒苔对黄斑蓝子鱼全鱼及血清的部分生化指标的影响

不同饲料组蓝子鱼全鱼和血清的部分生化指标结果分别见表 3 和表 4。表 3 结果显示,全鱼的水分、蛋白、脂肪和灰分的含量在各组之间无显著差异($P>0.05$)。表 4 结果说明,饲料中添加不同比例的浒苔后,蓝子鱼的血清胆固醇和低密度脂蛋白(LDL)含量在各组之间无显著差异($P>0.05$),而 10%与 15%浒苔饲料组鱼的血清高密度脂蛋白(HDL)含量显著低于对照组($P<0.05$)。

表 2 各试验饲料养殖黄斑蓝子鱼 8 周后的生长效果
Tab. 2 Growth performance of *S. canaliculatus* with experimental diets for 8 weeks

n=3; $\bar{x} \pm SE$

生长指标 growth index	浒苔添加比例 dietary <i>E. proliferans</i> level					
	0% 对照组 control	5%	10%	15%	10%+酶 10%+enzyme	15%+酶 15%+enzyme
初体质量 IBW/g	23.14±0.12	23.30± 0.33	22.99±0.13	22.64±0.25	22.29±0.03	22.74±0.10
末体重 FBW/g	56.17±1.14 ^a	50.45±1.25 ^{ab}	49.05± 1.16 ^b	48.63±0.56 ^b	52.18±1.34 ^{ab}	49.92±2.05 ^b
增重率 WGR/%	142.80±7.03 ^a	116.44±2.33 ^{ab}	113.32±4.38 ^b	114.87±4.04 ^b	134.11±6.25 ^{ab}	120.47±8.47 ^{ab}
饲料系数 FCR	1.35±0.07 ^{ab}	1.46±0.09 ^{ab}	1.56± 0.04 ^a	1.48±0.04 ^{ab}	1.28±0.02 ^b	1.44±0.04 ^{ab}
蛋白质效率 PER/%	231.66±11.47 ^{ab}	215.17±13.05 ^{ab}	200.68 ±5.15 ^b	211.67±6.07 ^{ab}	244.08±3.06 ^a	217.26±5.67 ^{ab}
成活率 SUR/%	91.67±0	94.45±4.81	91.67±8.33	94.44±9.62	97.22±4.81	95.84±5.89

注:同一行中,不同上标字母表示组间有显著性差异($P<0.05$)。
Note: Different superscript letters within each row represent significant differences among groups($P<0.05$).

表 3 各试验饲料养殖黄斑蓝子鱼的体成分
Tab. 3 Organism composition of *S. canaliculatus* with experimental diets

n=3; $\bar{x} \pm SE$; %

鱼体成分 body composition	浒苔添加比例 dietary <i>E. proliferans</i> level					
	0% 对照组 control	5%	10%	15%	10%+酶 10%+enzyme	15%+酶 15%+enzyme
水分 moisture	76.08±3.44	74.62±1.02	74.52±4.23	76.30±3.42	75.73±2.73	75.53±3.15
粗蛋白 CP	15.49±0.25	16.55±0.15	16.21±0.41	15.24±0.23	15.45±0.29	15.51±0.25
粗脂肪 CF	7.39±0.04	7.51±0.08	7.29±0.51	7.43±0.37	7.24±0.35	7.39±0.14
粗灰分 CA	3.36±0.45	3.27±0.63	3.56±0.59	3.40±0.22	3.55±0.19	3.08±0.18

表 4 各试验饲料养殖黄斑蓝子鱼的部分血清生化指标
Tab. 4 Some biochemistry indexes in serum of *S. canaliculatus* with experimental diets

n=3; $\bar{x} \pm SE$; mmol·L⁻¹

血清指标 serum index	浒苔添加比例/ % dietary <i>E. proliferans</i> level			
	0 对照组 control	5	10	15
胆固醇 cholesterol	1.59±0.16	1.63 ±0.17	2.06±0.19	1.96±0.06
高密度脂蛋白 HDL	0.071±0.008 ^a	0.040±0.007 ^{ab}	0.025±0.009 ^b	0.012±0.004 ^b
低密度脂蛋白 LDL	0.96±0.35	0.92±0.47	1.08±0.68	0.66±0.31

注:同一行不同字母表示组间有显著性差异($P<0.05$)。
Note: Different superscript letters within each row represent significant differences among groups($P<0.05$).

2.3 饲料中添加不同比例浒苔对蓝子鱼肌肉和肝的抗氧化指标的影响

不同饲料组蓝子鱼的肌肉和肝的部分抗氧化指标结果分别见表 5 和表 6。结果显示, 蓝子鱼肌肉和肝的总抗氧化能力(T-AOC)及超氧化物歧化酶(SOD), 以及肌肉的谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性在各组间无显著差异($P > 0.05$)。但是, 饲料

中添加浒苔后, 肌肉和肝的过氧化氢酶(CAT)和 GSH-Px 的活性升高, 且 5%浒苔组鱼肌肉和 15% 浒苔组鱼肝的 CAT 活性, 以及各浒苔组鱼肝脏的 GSH-Px 活性都显著高于对照组($P < 0.05$); 相反, 饲料中添加浒苔使肝和肌肉的丙二醛含量降低, 其中 10%和 15%浒苔组鱼肌肉、以及 15%浒苔组鱼肝的丙二醛含量显著低于对照组($P < 0.05$)。

表 5 各试验饲料养殖黄斑蓝子鱼的肌肉的抗氧化酶活力
Tab. 5 Antioxidant enzyme activities in muscle of *S. canaliculatus* with experimental diets

n=3; $\bar{x} \pm SE$

抗氧化酶指标 antioxidase	浒苔添加比例 / % dietary <i>E. prolifera</i> level			
	0 对照组 control	5	10	15
总抗氧化能力 T-AOC	0.010±0.002	0.012±0.003	0.011±0.002	0.015±0.005
超氧化物歧化酶 SOD	472.94±50.38	545.05±17.58	458.19±91.30	516.38±110.35
过氧化氢酶 CAT	24.04±2.30 ^b	31.60±2.25 ^a	29.34±2.88 ^{ab}	28.26±1.93 ^{ab}
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px	283.30±23.05	260.77±37.90	310.77±30.49	314.25±74.62
丙二醛 MDA	13.28±1.49 ^a	11.26±1.10 ^{ab}	8.11±1.08 ^b	9.16±1.28 ^b

注: 1) 总抗氧化能力、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和谷胱甘肽过氧化物酶的单位是 $U \cdot mg^{-1} \cdot protein$, 丙二醛的单位是 $nmol \cdot mg^{-1} \cdot prot$; 2) 同一行不同字母表示组间有显著性差异($P < 0.05$).
Note: 1) The units of T-AOC, SOD, CAT and GSH-Px are $U \cdot mg^{-1} \cdot protein$, the unit of MDA is $nmol \cdot mg^{-1} \cdot prot$; 2) Different superscript letters within each row represent significant differences among groups($P < 0.05$).

表 6 各试验饲料养殖黄斑蓝子鱼肝的抗氧化酶活力
Tab. 6 Antioxidant enzyme activities in liver of *S. canaliculatus* with experimental diets

n=3; $\bar{x} \pm SE$

抗氧化酶指标 antioxidase	浒苔添加比例 / % dietary <i>E. prolifera</i> level			
	0 对照组 control	5	10	15
总抗氧化能力 T-AOC	0.023±0.002	0.029±0.008	0.031±0.009	0.032±0.007
超氧化物歧化酶 SOD	230.21±10.91	254.17±53.95	281.48±25.29	297.54±40.70
过氧化氢酶 CAT	63.02±8.29 ^{bc}	71.58±13.46 ^b	110.44±18.90 ^{ab}	127.79±13.47 ^a
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px	971.9±48.83 ^a	1434.34±39.56 ^b	1376.25±91.63 ^b	1283.67±117.12 ^b
丙二醛 MDA	30.06±1.97 ^a	26.36±3.90 ^a	22.06±5.99 ^{ab}	15.18±1.75 ^b

注: 1) 总抗氧化能力、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和谷胱甘肽过氧化物酶的单位是 $U \cdot mg^{-1} \cdot protein$, 丙二醛的单位是 $nmol \cdot mg^{-1} \cdot prot$; 2) 同一行不同字母表示组间有显著性差异($P < 0.05$).
Note: 1) The units of T-AOC, SOD, CAT and GSH-Px are $U \cdot mg^{-1} \cdot protein$, the unit of MDA is $nmol \cdot mg^{-1} \cdot prot$; 2) Different superscript letters within each row represent significant differences among groups ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 蓝子鱼配合饲料中浒苔的适宜添加比例

大型海藻的营养成分以碳水化合物和蛋白质为主, 其中碳水化合物含量占藻体干重 50%以上, 它主要包括直链淀粉、支链淀粉、昆布多糖等一些多糖物质^[16-18]。此外, 大型海藻还含有多种游离氨基酸、维生素、矿物质以及未知生长素等^[10-11]。许多研究显示, 大型海藻可以用作动物的饲料添

加剂, 以 1%~5%比例添加到饲料中, 可以起到促进动物生长, 改善体色, 提高抗病、抗应激能力的作用^[10-11, 19]。

目前, 已有将浒苔做为鱼饲料原料加以利用的研究报道。Yousif 等^[20]以浒苔为原料, 按 10%、20%和 30%的比例添加到黄斑蓝子鱼配合饲料中, 结果发现随着饲料中浒苔比例的增加蓝子鱼的生长效果和饲料利用率逐渐变差, 说明蓝子鱼饲料中浒苔的添加比例应低于 10%。不足之处是, Yousif

等并没有研究饲料中添加浒苔对蓝子鱼组织生化成分及抗氧化指标的影响,且没有确定浒苔的适宜添加量。本研究不仅确定了在是否添加酶制剂情况下,蓝子鱼配合饲料中浒苔的适宜添加比例,而且从鱼体生理生化指标的影响方面探讨了海藻有利于提高鱼体生长和健康的机制。本研究的结果显示,配合饲料中添加 5% 浒苔时,蓝子鱼的摄食和生长良好,增重率与对照组相比没有显著差异,且优于 10% 和 15% 浒苔组。但是,当浒苔的添加比例达 10% 或 15% 时,蓝子鱼的生长性能显著下降;不过,在饲料中同时加入 0.2% 非淀粉多糖酶(NSP 酶)的情况下,其生长性能得到改善,且与对照组相比无显著差异。上述结果说明,在不添加酶制剂的情况下,蓝子鱼配合饲料中浒苔的添加比例可达 5%;如果同时添加酶制剂,则浒苔的添加比例可达 10%~15%。

Asino 等^[13]报道,在海上网箱中养殖的大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*),其配合饲料中浒苔(*E. prolifera*)的添加比例可达 15% 以上。蓝子鱼是植食性为主的海水鱼类,而大黄鱼是肉食性鱼类,配合饲料中浒苔的添加比例理应前者高于后者,但上述报道结果并非如此,这可能有两方面的原因:一是饲料配方方面的差异,大黄鱼饲料中鱼粉的比例较高(37.5%),而蓝子鱼是 29%,其他成分也有较大差异,营养成分、特别是氨基酸平衡情况可能会影响生长性能;二是大黄鱼养殖于海上网箱中,而蓝子鱼养殖于室内水族箱中,鱼体生活的水体生态环境对代谢活动的影响可能会影响其对浒苔的消化利用能力。

其他海藻做为鱼饲料原料加以利用的研究也有一些报道。尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)配合饲料中,刚毛藻(*Clodophora glomerata*)的适宜添加量为 5%^[21];添加 10% 的水网藻(*Hydrodictyon reticulatum*)会导致其生长速度减慢^[22]。欧洲海鲈(*Dicentrarchus labrax*)配合饲料中,江蓠(*G. cornea*)的适宜添加比例也为 5%^[23];在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)饲料中,紫菜(*Porphyra dioica*)添加量可达 10%^[24]。投喂含 16% 或 33% 紫菜(*Porphyra purpurea*)的饲料使鳊鱼(*Chelon labrosus*)的生长速度明显

降低^[25]。本研究的结果与这些报道基本一致。

酶制剂是高效生物催化剂,具有提高饲料利用率,消除抗营养因子,促进动物生长等作用,目前已开始应用于水产养殖业中^[26]。王纪亭等^[27]在奥尼罗非鱼(*Tilapia niloticus*)配合饲料中添加 0.02% 和 0.04% 非淀粉多糖酶,投喂 8 周后发现,加酶后显著提高了奥尼罗非鱼的特定生长率、降低了饵料系数。周金敏等^[28]在饲料中添加 0.2 mL/kg 的非淀粉多糖酶喂养草鱼,60 d 后发现,加酶组显著性提高了草鱼的生长性能。但是,将酶制剂与海藻饲料结合起来进行应用的研究报道很少。由于海藻多糖是非消化性物质,或者说是非营养性碳水化合物^[29],饲料中添加非淀粉多糖酶,一方面可以分解饲料中可溶性非淀粉多糖,降低其抗营养特性;另一方面还可摧毁植物细胞壁,促进由细胞壁包裹着的蛋白质和脂肪等营养物质的释放,有利于肠道内的消化酶与营养物质的充分接触^[30]。在本研究中,在饲料中添加 10% 或 15% 浒苔情况下添加一定量的非淀粉多糖酶后,蓝子鱼生长性能得到改善,其增重率与对照组无显著差异且高于 5% 浒苔添加组,说明饲料中添加 NSP 酶有助于蓝子鱼对浒苔的消化吸收。

3.2 配合饲料中添加浒苔有利于提高鱼体的抗氧化能力

生物有机体在正常的生理生化过程中需要有自由基的参与,而产生的自由基如果得不到及时的清除,就会导致生物体的脂质过氧化、糖基和蛋白质巯基的氧化、DNA 的氧化损伤以及核酸染色体的断裂等现象,从而造成机体氧化应激损伤^[31]。除了抗超氧阴离子能清除过量的自由基外,机体内的谷胱甘肽过氧化物酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽还原酶和谷胱甘肽 S 转移酶等作为机体抗氧化系统的重要组成部分,也具有清除过量自由基的作用。由于自由基氧化终产物为丙二醛,丙二醛在生物体内会引起蛋白质、核酸等生命大分子的交联聚合,且具有细胞毒性,在生物体外则影响线粒体呼吸链复合物及线粒体内关键酶活性。因此,丙二醛的含量可反映机体内脂质的过氧化程度,间接反映组织细胞的氧化损伤程度^[32]。目前,

已有关于饲料中添加海藻能提高鱼体免疫、抗病、抗应激能力作用的报道^[33], 也有关于海藻本身具有抗氧化作用的报道^[34-36], 但未见将海藻作为原料添加到饲料中提高鱼体抗氧化力的报道。本研究结果显示, 饲料中添加浒苔可明显提高蓝子鱼肌肉和肝中过氧化氢酶及谷胱甘肽过氧化物酶的活性, 降低其丙二醛含量, 说明浒苔具有提高蓝子鱼抗氧化能力, 降低组织氧化损伤的作用。由于海藻中营养成分比较复杂, 具体是哪种或哪几种活性成分在提高鱼体抗氧化力起到关键作用, 有待深入研究。

4 结论

从生长性能和鱼体生化指标等方面考虑, 蓝子鱼配合饲料中浒苔的添加比例可达 5%; 在添加非淀粉多糖酶的情况下, 浒苔的添加比例可达 10%~15%; 饲料中添加浒苔可提高鱼体的抗氧化能力。

参考文献:

- [1] Tolentino-Pablico G N, Froese R B, et al. Seaweeds preferred by herbivorous fishes[J]. J Appl Phycol, 2008, 20(5): 933-938.
- [2] 陈锤. 黄斑蓝子鱼生物学特征及网箱养殖技术[J]. 水产科技, 2005(4): 1-2.
- [3] 陆忠康. 蓝子鱼养殖现状及其发展前景[J]. 现代渔业信息, 1996, 11(3): 20-23.
- [4] 马强, 刘静. 蓝子鱼科的系统研究概况及我国蓝子鱼科的研究展望[J]. 南方水产, 2006, 2(4): 68-74.
- [5] 任维美. 东南亚的蓝子鱼类养殖[J]. 水产科技情报, 1998, 25(4): 189.
- [6] 沈卓坤, 陈赛. 蓝子鱼与斑节对虾的池塘混养技术[J]. 水产养殖, 2003, 24(6): 12-13.
- [7] 郑艾. 蓝子鱼的养殖实验[J]. 中国水产, 1999(8): 35-36.
- [8] 曾凡归. 黄斑蓝子鱼对大型海藻的选择性及其影响因素[D]. 汕头: 汕头大学, 2010.
- [9] Xu Shude, Zhang Liang, Wu Qingyang, et al. Evaluation of dried seaweed *Gracilaria lemaneiformis* as a dietary ingredient for teleost *Siganus canaliculatus*[J]. Aqu Intern, 2011, 19: 1007-1018.
- [10] 常巧玲, 孙建义. 海藻饲料资源及其在水产养殖中的应用研究[J]. 饲料工业, 2006, 27(2): 62-64.
- [11] 李人光, 姜永新, 姜瑞勇, 孙俊荣. 大型海藻作为饲料的综合利用技术[J]. 科学养鱼, 2009(1): 64-65.
- [12] 陈群芳, 何培民, 冯子慧, 等. 漂浮绿潮藻浒苔孢子/配子的繁殖过程[J]. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1069-1076.
- [13] Asino Hiskia, Ai Qinghui, Mai Kangsen. Evaluation of *Enteromorpha prolifera* as a feed component in large yellow croaker(*Pseudosciaena crocea*, Richardson, 1846)diets [J]. Aqu Res, 2011, 42: 525-533.
- [14] 王树启, 徐树德, 吴清洋, 等. 黄斑蓝子鱼幼鱼对蛋白质和脂肪适宜需要量的研究[J]. 海洋科学, 2010, 34(11): 18-22.
- [15] Xu Shude, Wang Shuqi, Zhang Liang, et al. Effects of replacement of dietary fish oil with soybean oil on growth performance and tissue fatty acid composition in marine herbivorous teleost *Siganus canaliculatus* [J]. Aqu Res, 2012, 43: 1276-1286.
- [16] 赵素芬, 孙会强, 王丹, 等. 湛江海区 8 种常见海藻营养成分分析[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 28(6): 30-34.
- [17] Painter T J. Algal polysaccharides. In: The Polysaccharides, Vol. 2(Aspinall, G.O., ed.), London: Academic Press 1983: 202-286.
- [18] 徐树德. 蓝子鱼对海藻的内源消化机制及海藻饲料化的初步研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2012.
- [19] 李晓, 王颖, 吴志宏, 等. 浒苔对刺参幼参生长影响的初步研究[J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 1092-1099.
- [20] Yousif O M, Osman M F, Anawhi AR, et al. Growth response and carcass composition of rabbitfish *Siganus canaliculatus* (Park) fed diets supplemented with dried seaweed, *Enteromorpha* sp. [J]. Emir J Agric Sci, 2004, 16: 18-26.
- [21] Appler H N. Evaluation of *Hydrodictyon reticulatum* as protein source in feeds for *Oreochromis* (Tilapia) *niloticus* and *Tilapia zillii*[J]. J Fish Biol, 1985, 27: 327-334.
- [22] Appler H N, Jauncey K. The utilization of a filamentous green alga [*Cladophora glomerata* (L.Kutzin)] as a protein source in pelleted feeds for *Sarotherodon* (Tilapia) *niloticus* fingerlings[J]. Aquaculture, 1983, 30: 21-30.
- [23] Valente L M P, Gouveia A, Rema P, et al. Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursapastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria cornea* as dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles[J]. Aquaculture, 2006, 252: 85-91.
- [24] Soler-Vila A, Coughlan S, Guiry MD, et al. The red alga *Porphyra dioica* as a fish-feed ingredient for rainbow trout

- (*Oncorhynchus mykiss*): effects on growth, feed efficiency, and carcass composition[J]. J Appl Phycol, 2009, 21: 617–624.
- [25] Davies S J, Brown M T, Camilleri M. Preliminary assessment of the seaweed *Porphyra purpurea* in artificial diets for thick-lipped grey mullet (*Chelon labrosus*)[J]. Aquaculture, 1997, 152: 249–258.
- [26] 刘文斌, 周岩民. 饵料中添加酶制剂对异育银鲫消化和增重的影响[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(3): 57–60.
- [27] 王纪亭, 万文菊, 吴淑勤, 等. 非淀粉多糖酶对奥尼罗非鱼蛋白酶、淀粉酶活性影响的研究[J]. 动物营养学报, 2008, 20(5): 599–605.
- [28] 周金敏, 张伟, 程时军. 非淀粉多糖酶在鱼类饲料中的应用研究[J]. 水生动物营养, 2010: 68–71.
- [29] 范晓, 严小军, 韩丽君. 海藻加工利用研究进展[J]. 海洋科学, 1995(4): 12–15.
- [30] Da Nicke S, Halle I, Strobel E, et al. Effect of energy source and xylanase addition on energy, metabolism, performance, chemical body composition and total body electrical conductivity (TOBEC) of broilers [J]. J Anim physiol and Nutr, 2001, 85(9–10): 301–313.
- [31] Bai S C, Lee K J. Different levels of dietary DL- α -tocopheryl acetate affect the vitamin E status of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* [J]. Aquaculture, 1998, 161: 405–414.
- [32] Jain S K, Lim G. Pyridoxine and pyridoxamine inhibits superoxide radicals and prevents lipid peroxidation, protein glycosylation, and $(\text{Na}^+ - \text{K}^+) - \text{ATPase}$ activity reduction in high glucose treated human erythrocytes [J]. Clin Chim Acta, 2003, 329: 23–38.
- [33] 吴立军, 袁红云, 张洪鹏. 开发海洋生物资源促进饲料工业发展[J]. 当代畜禽养殖业, 2006(12): 15–18.
- [34] Deng Z F, Ji M H. Composition of polysaccharides of *Gracilaria sjoestedtii* kylin and *G. textorii* (sur.) De-Toni (Rhodophyta) and their antitumor effect[J]. Oceanol Immol Sin, 1995, 26: 575–581.
- [35] Matsui M S, Muizzuddin N, Arad S, et al. Sulfated polysaccharides from red microalgae have antiinflammatory properties in vitro and in vivo[J]. Appl Biochem Biotech, 2003, 104: 13–22.
- [36] Wen X, Peng C, Zhou H, et al. Nutritional composition and assessment of *Gracilaria lemaneiformis* Bory[J]. J Integr Plant Biol, 2006, 48: 1047–1053.

Effects of dietary seaweed *Enteromorpha prolifera* on growth performance, physiological and biochemical characteristics of rabbitfish *Siganus canaliculatus*

ZHOU Shengqiang, YOU Cuihong, WANG Shuqi, LI Yuanyou

Guangdong Provincial Key Laboratory of Marine Biotechnology, Marine Biology Institute of Shantou University, Shantou 515063, China

Abstract: We evaluated the feasibility of using seaweed *Enteromorpha prolifera* as a dietary ingredient for the rabbitfish *Siganus canaliculatus*. We formulated five compound feeds with different levels of dried *E. prolifera*, but all with 32% total protein and 8% lipid. Three of the diets contained 5%, 10%, or 15% dried seaweed. Two diets contained 10% or 15% dried seaweed supplemented with 0.2% non-starch polysaccharide enzymes(NSP enzymes). The control diet had no seaweed. Groups of rabbitfish juveniles were fed one of the diets for 8 weeks. We measured growth and physiological and biochemical indexes to determine the optimum dietary ratio of *E. prolifera*. The addition of 5% seaweed had no effect on growth relative to the control group($P > 0.05$), whereas growth declined significantly in fish fed diets with 10% or 15% seaweed($P < 0.05$). However, there was no difference in growth between fish fed diets with 10% or 15% seaweed group and 0.2% NSP enzyme and the control group($P > 0.05$). Furthermore, there was no significant difference in survival or the whole fish moisture, protein, fat, and ash contents among the groups($P > 0.05$). The activities of hydrogen peroxide enzyme and glutathione peroxidase increased, whereas malondialdehyde content decreased in the liver and muscle of fish fed diets containing seaweed. Our results suggest that the optimal proportion of *E. prolifera* in rabbitfish diet is 5%, or between 10%-15% if supplemented with 0.2% NSP enzymes. The addition of seaweed in diets may also increase the antioxidant capacity.

Key words: *Siganus canaliculatus*; formulated diets; seaweed; *E. prolifera*; non-starch polysaccharide enzyme; growth performance; physiological and biochemical characteristics

Corresponding author: LI Yuanyou. E-mail: yyli@stu.edu.cn