

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180420004

http://www.yykxjz.cn/

郭斌, 梁萌青, 徐后国, 卫育良, 张庆功, 李本相, 廖章斌. 江蓠、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼生长性能、相关生化指标的影响. 渔业科学进展, 2019, 40(3): 141–150

Guo B, Liang MQ, Xu HG, Wei YL, Zhang QG, Li BX, Liao ZB. Effects of *Gracilaria verrucosa*, *Enteromorpha prolifera*, algae residue and fungi residue on growth performance, and related biochemical indices of juvenile *Takifugu rubripes*. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(3): 141–150

江蓠、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼生长性能、相关生化指标的影响*

郭 斌^{1,2} 梁萌青^{1①} 徐后国¹ 卫育良¹
张庆功² 李本相² 廖章斌²

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071; 2. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

摘要 本实验旨在研究江蓠(*Gracilaria verrucosa*)、浒苔(*Enteromorpha prolifera*)、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)幼鱼生长性能、血清和肝脏生化指标和体组成的影响。实验共制成 6 种等氮、等脂的饲料,以含鱼粉 60%为对照组 1 和 45%鱼粉的为对照组 2,分别将 10%的江蓠、浒苔、藻渣、菌渣与植物蛋白质配合后替代对照组 1 饲料中 30%的鱼粉,投喂初始体重为(17.33±0.55) g 的红鳍东方鲀幼鱼 56 d。结果显示,1)浒苔组特定生长率(SGR)显著高于其他 5 组($P<0.05$),藻渣组 SGR 显著高于对照组 2 和江蓠组($P<0.05$),与对照组 1 和菌渣组无显著差异($P>0.05$);对照组 1 和浒苔组饲料效率(FER)显著高于对照组 2 和菌渣($P<0.05$),与江蓠和藻渣组无显著差异($P>0.05$);对照组 1 的蛋白质沉积率(PPV)和蛋白质效率(PER)显著高于对照组 2 和菌渣组($P<0.05$),与江蓠、浒苔和藻渣组无显著差异($P>0.05$)。2)各组血清和肝脏中谷丙转氨酶(GPT)和谷草转氨酶(GOT)活性均无显著差异($P>0.05$)。各组血清丙二醛(MDA)含量和超氧化物歧化酶(SOD)活性均无显著差异($P>0.05$)。3)菌渣组鱼体粗蛋白质含量显著高于藻渣组($P<0.05$),与对照组 1、对照组 2、江蓠和浒苔无显著差异($P>0.05$);浒苔和藻渣组鱼体粗脂肪含量显著高于对照组 2 ($P<0.05$),与对照组 1、江蓠和菌渣组无显著差异($P>0.05$)。综合来看,将 10%江蓠、浒苔、藻渣和菌渣与植物蛋白质配合后替代饲料中 30%的鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼的生长性能无不良影响,并且浒苔可以显著提高红鳍东方鲀的生长性能。

关键词 红鳍东方鲀; 海藻; 生长性能; 生化指标

中图分类号 S963 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2019)03-0141-10

植物蛋白质具有来源广、产量稳定、价格低廉等优点,一直作为替代鱼粉的蛋白质来源,但由于植物蛋白质含有抗营养因子(赵晓丹, 2015),并缺乏鱼类

所需的一些必需氨基酸和促生长成分,并不能完全替代鱼粉。海藻是海洋中的一类自养植物,与陆生植物相比,海藻含有丰富的矿物质、维生素、海藻多糖、

* 现代农业产业技术体系专项资金(CARS-47-15G)资助 [This work was supported by China Agriculture Research System (CARS-47-15G)]. 郭 斌, E-mail: 1219615337@qq.com

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

收稿日期: 2018-04-20, 收修改稿日期: 2018-05-25

不饱和脂肪酸、游离氨基酸以及具有诱食作用的一些物质,可以补充陆生植物蛋白质大量替代鱼粉所造成的营养缺乏(常巧玲等, 2006; 李人光等, 2009)。

红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)是目前主要的东方鲀养殖种类之一,其鱼肉鲜美,营养丰富,具有高蛋白、低脂肪的特点,有极高的经济价值。红鳍东方鲀对蛋白质的需求量较高,有研究表明,红鳍东方鲀对饲料中蛋白质的需求在40%~50% (Kim *et al.*, 2009; 王淑敏, 2008)。目前红鳍东方鲀的人工养殖技术已经比较成熟,但对红鳍东方鲀营养需求和配合饲料的研究滞后,研发高效低成本的专用配合饲料成为东方鲀产业发展的关键。本研究以常见的2种低值海藻[江蓠(*Gracilaria verrucosa*)、浒苔(*Enteromorpha prolifera*)]和2种工业下脚料(海带提取褐藻胶后的藻渣、土曲霉发酵生产衣康酸后的菌渣)与植物蛋白质配合成混合植物蛋白质替代红鳍东方鲀幼鱼饲料中部分鱼粉,探究其对红鳍东方鲀幼鱼生长性能、血清和肝脏生化指标和体组成的影响,以期海藻及工业下脚料在红鳍东方鲀饲料中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

实验共配制6种等氮、等脂的实验饲料,以含鱼粉60%为对照组1和含45%鱼粉为对照组2,分别以10%的江蓠、浒苔、藻渣(海带提取褐藻胶后的废渣)、菌渣(土曲霉发酵生产衣康酸后的废渣)与植物蛋白质配合后替代鱼粉对照组1中30%的鱼粉。所有原料粉碎后过80目筛网,按配方称量,逐级混匀,然后加鱼油混匀,加30%水搅拌均匀,用制粒机制成直径为2 mm的颗粒饲料,55℃鼓风干燥12 h后置于-20℃冷库保存。江蓠、浒苔、藻渣和菌渣的常规营养成分见表1,实验饲料组成及营养水平见表2,实验饲料氨基酸组成见表3。

表1 江蓠、浒苔、藻渣和菌渣的常规营养成分
(干物质基础, %)

Tab.1 Proximate nutritional components of *G. verrucosa*, *E. prolifera*, algae residue and fungi residue (DM basis, %)

项目 Items	江蓠 <i>G. verrucosa</i>	浒苔 <i>E. prolifera</i>	藻渣 Algae residue	菌渣 Fungi residue
粗蛋白质 Crude protein	18.25	8.47	17.30	23.10
粗脂肪 Crude lipid	0.49	0.76	0.50	0.33
粗灰分 Ash	25.42	27.65	23.13	24.81

1.2 饲养管理

养殖实验在山东省烟台市天源水产有限公司进行,实验所用红鳍东方鲀幼鱼购自山东省海阳市黄海水产有限公司。实验开始前先使用对照组饲料暂养7 d,使其适应养殖环境和饲料的大小、硬度。实验采用自然光照,养殖模式为流水养殖,水源为自然海水,水温为14~25℃,溶氧浓度为5.5 mg/L左右,盐度为35左右,pH为7.5~8.0。

实验开始前停食24 h,然后随机选取健康、规格一致的红鳍东方鲀幼鱼,初始体重为(17.33±0.55) g,随机分配到18个容积为150L的塑料养殖桶中,每个桶中投放25尾。将18个养殖桶随机分为6组,每组3个养殖桶,每组随机投喂1种实验饲料。养殖实验期间每天早、中、晚各表现饱食投喂1次,投喂0.5 h后对每个桶内的残饵计数,根据每100粒饲料的平均质量,计算残饵质量。养殖28 d后养殖桶换为500 L大桶,换桶没有造成鱼死亡。实验时间为2017年8月~2017年10月,养殖周期共56 d。

1.3 样品采集与分析

实验开始前随机取20尾红鳍东方鲀幼鱼作为初始鱼,用于常规营养成分分析。实验结束后,饥饿24 h,对每桶鱼进行计数、称重。每桶随机取3尾鱼,尾静脉取血,用1%肝素钠抗凝,4℃静置4 h后3500 r/min离心10 min,取上层血清,置于液氮中保存;采血后的鱼称重并测量体长,解剖分离内脏团和肝脏并称量,计算肥满度、肝体比和脏体比,取肝脏置于液氮中保存。每桶另随机取3尾鱼用于体成分分析。

饲料和鱼体常规营养成分分析参考AOAC(1995)的方法。其中,水分含量测定采用105℃烘干至恒重法,粗蛋白质含量测定采用凯氏定氮法(VELP凯氏定氮仪,UDK-142 Automatic Distillation Unit,意大利),粗脂肪含量测定采用索氏抽提法,以石油醚作为抽提液(SOXTEC2050 FOSS脂肪测定仪,瑞典),粗灰分含量采用马弗炉(550℃)灼烧6 h测得。

肝脏中酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(AKP)、谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、溶菌酶(LZM)活性以及血清中超氧化物歧化酶(SOD)、ACP、AKP、GOT、GPT、LZM活性和丙二醛(MDA)含量均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒进行测定。

饲料中氨基酸组成的测定参考GB/T 18246-2000的方法,使用L-8900全自动氨基酸分析仪(Hitachi,

表2 实验饲料配方及营养组成(干物质基础, %)
Tab.2 Formula and nutrient composition of experimental diets (DM basis, %)

项目 Items	组别 Groups					
	对照组 1 Control 1	对照组 2 Control 2	江蓠 <i>G. verrucosa</i>	浒苔 <i>E. prolifera</i>	藻渣 Algae residue	菌渣 Fungi residue
原料 Ingredients						
鱼粉 Fish meal	60.00	45.00	30.00	30.00	30.00	30.00
江蓠 <i>G. verrucosa</i>			10.00			
浒苔 <i>E. prolifera</i>				10.00		
藻渣 Algae residue					10.00	
菌渣 Fungi residue						10.00
谷朊粉 Wheat gluten	1.00	9.00	16.00	16.00	15.00	15.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	2.00	5.00	9.00	9.00	9.00	9.00
豆粕 Soybean meal	2.00	8.00	15.00	15.00	15.00	15.00
小麦粉 Wheat meal	26.30	23.30	9.30	9.30	10.30	10.30
磷脂 Phospholipid	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
胆碱 Choline	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
鱼油 Fish oil	4.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
维生素预混料 Vitamin premix ¹	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
矿物质预混料 Mineral premix ²	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素 C Vitamin C	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养组成 Nutrient composition						
粗蛋白 Crude protein	51.04	50.72	51.38	51.54	51.67	52.32
粗脂肪 Crude lipid	9.92	9.66	10.28	10.05	9.46	9.51
灰分 Ash	10.40	12.70	13.77	10.35	10.59	11.31

1. 维生素混合物(mg/g 混合物): 硫胺素, 2.5 mg; 核黄素, 4.5 mg; 盐酸吡哆醇, 2 mg; 维生素 B₁₂, 0.01 mg; 维生素 K₃, 1 mg; 肌醇, 80 mg; 泛酸, 6 mg; 烟酸, 20 mg; 叶酸, 2 mg; 生物素, 0.12 mg; 维生素 A, 3.2 mg; 维生素 D, 0.5 mg; 维生素 E, 12 mg; 次粉 867 mg; 2. 矿物质混合物(mg/g 混合物): 氟化钠, 0.2 mg; 碘化钾, 0.08 mg; 氯化钴, 5 mg; 硫酸铜, 1 mg; 硫酸铁, 8 mg; 硫酸锌, 5 mg; 硫酸镁, 120 mg; 磷酸二氢钙, 300 mg; 氯化钠, 10 mg; 沸石粉, 551 mg

1. Vitamin premix (mg/g premix): thiamine 2.5 mg, riboflavin 4.5 mg, pyridoxine 2 mg, vitamin B₁₂ 0.01 mg, menadione 1 mg, inositol 80 mg, pantothenate 6 mg, tocopherol acetate 20 mg, folic acid 2 mg, biotin 0.12 mg, vitamin A 3.2 mg, vitamin D 0.5 mg, vitamin E 12 mg, wheat flour 867 mg; 2. Mineral premix (mg/g premix): NaF 0.2 mg; KI 0.08 mg; CoCl₂·6H₂O 5 mg; CuSO₄·5H₂O 1 mg; FeSO₄·7H₂O 8 mg; ZnSO₄·7H₂O 5 mg; MnSO₄·4H₂O 120 mg; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 300 mg; NaCl 10 mg; Mordenzo 551 mg

日本)测定。检测了饲料中9种必需氨基酸、8种非必需氨基酸和牛磺酸的含量,色氨酸因酸水解破坏而未检测。

1.4 计算公式

成活率(Survival rate, SR, %)=100×终末鱼尾数/初始鱼尾数;

摄食率(Feed intake, FI, %/d)=100×摄食饲料干重/[实验天数×(初始体重+终末体重)/2];

特定生长率(Special growth rate, SGR, %/d)=100×(ln 终末体重-ln 初始体重)/实验天数;

饲料效率(Feed efficiency ratio, FER)=(终末体重-

初始体重)/摄食饲料干重;

蛋白质沉积率(Protein productive value, PPV, %)=100×鱼体蛋白质沉积量/总饲料蛋白质摄入量;

蛋白质效率(Protein efficiency ratio, PER)=(终末体重-初始体重)/总饲料蛋白质摄入量;

肝体比(Hepatosomatic index, HIS, %)=100×肝脏重/体重;

脏体比(Viscerosomatic index, VSI, %)=100×内脏团重/体重;

肥满度(Condition factor, CF)=100×体重/体长³(体重单位: g; 体长单位: cm)。

表3 实验饲料氨基酸组成(干物质基础, %)
Tab.3 Amino acid composition of experimental diets (DM basis, %)

氨基酸 Amino acids	组别 Groups					
	对照组 1 Control 1	对照组 2 Control 2	江蓼 <i>G. verrucosa</i>	浒苔 <i>E. prolifera</i>	藻渣 Algae residue	菌渣 Fungi residue
必需氨基酸 EAA						
苏氨酸 Thr	1.91	1.75	1.73	1.42	1.52	1.53
缬氨酸 Val	2.13	2.06	1.99	1.98	1.98	1.96
蛋氨酸 Met	1.16	1.19	0.96	0.74	1.05	1.31
异亮氨酸 Ile	1.84	1.81	1.77	1.59	1.72	1.70
亮氨酸 Leu	3.43	3.51	3.75	3.44	3.55	3.49
苯丙氨酸 Phe	2.27	2.13	2.29	3.39	2.93	2.84
赖氨酸 Lys	3.19	2.64	2.28	2.34	2.15	2.15
组氨酸 His	1.14	1.26	1.12	1.02	1.02	1.03
精氨酸 Arg	2.44	2.20	2.19	1.99	1.96	1.98
总必需氨基酸 Σ EAA	19.52	18.55	18.08	17.91	17.88	18.00
非必需氨基酸 NEAA						
天冬氨酸 Asp	3.92	3.55	3.50	2.66	3.05	3.05
丝氨酸 Ser	1.85	1.91	2.10	1.76	1.84	1.86
谷氨酸 Glu	7.32	8.87	8.51	8.68	9.06	8.96
甘氨酸 Gly	2.26	2.08	1.99	1.94	1.92	2.00
丙氨酸 Ala	2.77	2.49	2.30	2.09	2.13	2.12
半胱氨酸 Cys	0.38	0.62	0.60	0.58	0.70	0.47
酪氨酸 Tyr	1.60	1.60	1.64	2.00	1.79	1.82
脯氨酸 Pro	5.73	7.00	8.33	6.80	7.13	7.19
牛磺酸 Tau	0.42	0.31	0.34	0.33	0.31	0.37
总非必需氨基酸 Σ NEAA	26.24	28.53	29.32	26.84	27.94	27.84
总必需氨基酸/ Σ EAA/ Σ NEAA	0.75	0.66	0.62	0.67	0.64	0.65
总非必需氨基酸						

1.5 数据统计分析

实验数据使用 SPSS 17.0 软件进行处理, 采用单因素方差分析(One-way ANOVA)程序进行方差分析, 若存在显著差异($P < 0.05$), 则采用 Duncan 氏法进行组间的多重比较。结果以平均值 \pm 标准误(Mean \pm SE)表示。

2 结果

2.1 江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼生长性能的影响

江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼生长性能的影响如表 4 所示。各组红鳍东方鲀幼鱼的存活率介于 80%~90%, 藻渣组显著高于对照组 2 ($P < 0.05$), 与对照组 1、江蓼、浒苔和菌渣组无显著差异($P > 0.05$); 浒苔组 SGR 最高, 显著高于含 60%

鱼粉的对照组 1、45%鱼粉的对照组 2、江蓼、藻渣和菌渣组($P < 0.05$), 藻渣组显著高于对照组 2 和江蓼组($P < 0.05$), 与对照组 1 组和菌渣组无显著差异($P > 0.05$); 对照组 2 和菌渣组饲料摄食率显著高于对照组 1 和江蓼组($P < 0.05$), 与浒苔和藻渣组无显著差异($P > 0.05$); 对照组 1、浒苔组饲料效率显著高于对照组 2 和菌渣组($P < 0.05$), 与江蓼和藻渣组无显著差异($P > 0.05$); 对照组 1 的蛋白质沉积率和蛋白质效率显著高于对照组 2 和菌渣组($P < 0.05$), 与江蓼、浒苔和藻渣组无显著差异($P > 0.05$)。

藻渣组肝体比显著高于对照组 1、对照组 2、江蓼和菌渣组($P < 0.05$), 与浒苔组无显著差异($P > 0.05$); 藻渣组脏体比显著高于对照组 2($P < 0.05$), 与对照组 1、江蓼、浒苔和菌渣组无显著差异($P > 0.05$); 各组的肥满度无显著差异($P > 0.05$)。

表 4 江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼生长性能和形体指标的影响
Tab.4 Effects of fish meal replacement by *G. verrucosa*, *E. proliferata*, algae residue and fungi residue on the growth performance and physical parameters of juvenile tiger puffer

项目 Items	组别 Groups					
	对照组 1 Control 1	对照组 2 Control 2	江蓼 <i>G. verrucosa</i>	浒苔 <i>E. proliferata</i>	藻渣 Algae residue	菌渣 Fungi residue
存活率 SR(%)	85.33±3.53 ^{ab}	80.00±2.31 ^b	81.33±2.67 ^{ab}	85.33±3.53 ^{ab}	90.67±1.33 ^a	89.33±2.67 ^{ab}
特定生长率 SGR(%/d)	1.96±0.07 ^{bc}	1.88±0.07 ^c	1.91±0.03 ^c	2.20±0.02 ^a	2.08±0.01 ^b	1.98±0.05 ^{bc}
摄食率 FI(%/d)	1.89±0.06 ^c	2.14±0.02 ^a	1.95±0.07 ^{bc}	2.08±0.03 ^{ab}	2.07±0.03 ^{ab}	2.14±0.05 ^a
饲料效率 FER	0.93±0.01 ^a	0.80±0.03 ^c	0.88±0.04 ^{abc}	0.93±0.01 ^a	0.89±0.02 ^{ab}	0.83±0.03 ^{bc}
蛋白质沉积率 PPV(%)	28.04±0.20 ^a	24.69±0.87 ^b	26.33±1.32 ^{ab}	26.96±0.30 ^{ab}	25.34±0.40 ^{ab}	24.89±1.47 ^b
蛋白质效率 PER	1.85±0.02 ^a	1.64±0.06 ^{bc}	1.72±0.09 ^{abc}	1.80±0.02 ^{ab}	1.73±0.03 ^{abc}	1.59±0.07 ^c
肝体比 HSI(%)	9.30±0.41 ^b	9.15±0.52 ^b	9.32±0.58 ^b	10.26±0.54 ^{ab}	11.19±0.55 ^a	9.51±0.56 ^b
脏体比 VSI(%)	18.65±0.65 ^{ab}	17.73±0.72 ^b	18.98±0.46 ^{ab}	19.51±0.57 ^{ab}	20.25±0.66 ^a	19.23±0.54 ^{ab}
肥满度 CF	3.71±0.13	3.65±0.12	3.55±0.11	3.82±0.10	3.84±0.08	3.76±0.25

注: 同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$), 不同字母表示差异显著($P<0.05$), 下同

Note: In the same row, values with no letter or the same superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different superscripts mean significant difference ($P<0.05$), the same as below

2.2 江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼血清和肝脏生化指标的影响

江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀血清和肝脏中 GPT 和 GOT 活性的影响如表 5 所示。各组血清和肝脏中 GPT 和 GOT 活性均无显著差异($P>0.05$)。

江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼血清和肝脏非特异性免疫和抗氧化指标的影响如表 6 所示。对照组 1 血清 ACP 活性显著高于对照组 2 和浒苔组($P<0.05$), 与江蓼、藻渣和菌渣组无显著差异($P>0.05$); 江蓼和藻渣组血清 AKP 活性显著高于对照组 1、对照组 2 和菌渣组($P<0.05$), 与浒苔组无显著差异($P>0.05$); 浒苔组血清溶菌酶活性显著高

于江蓼组($P<0.05$), 与对照组 1、对照组 2、藻渣和菌渣组无显著差异($P>0.05$); 各组血清中 MDA 含量和 SOD 活性均无显著差异($P>0.05$)。

各组肝脏 ACP 活性无显著差异($P>0.05$); 对照组 2 和菌渣组肝脏 AKP 活性显著高于对照组 1 ($P<0.05$), 与江蓼、浒苔和藻渣组无显著差异($P>0.05$); 对照组 2 和江蓼组肝脏溶菌酶活性显著高于对照组 1、藻渣和菌渣组($P<0.05$), 与浒苔组无显著差异($P>0.05$)。

2.3 江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼体组成的影响

江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼体组成的影响如表 7 所示。各组鱼体的水分含量

表 5 江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼血清和肝脏中 GPT 和 GOT 活性的影响
Tab.5 Effects of fish meal replacement by *G. verrucosa*, *E. proliferata*, algae residue and fungi residue on GPT and GOT activities in serum and liver of juvenile tiger puffer

项目 Items	组别 Groups					
	对照组 1 Control 1	对照组 2 Control 2	江蓼 <i>G. verrucosa</i>	浒苔 <i>E. proliferata</i>	藻渣 Algae residue	菌渣 Fungi residue
血清 Serum						
谷丙转氨酶 GPT(U/L)	26.75±4.26	21.16±5.96	24.97±4.29	19.95±4.04	25.62±5.95	31.56±0.54
谷草转氨酶 GOT(U/L)	13.57±2.09	11.83±3.37	12.62±2.02	12.58±3.40	11.42±2.59	19.09±1.24
肝脏 Liver						
谷丙转氨酶 GPT(U/g prot)	48.15±1.36	51.02±5.24	40.08±3.53	42.82±2.01	45.23±4.41	43.28±5.23
谷草转氨酶 GOT(U/g prot)	48.45±3.48	47.22±1.55	48.24±4.22	47.10±3.93	46.57±0.95	41.57±1.43

表 6 江蓐、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼血清和肝脏非特异性免疫和抗氧化指标的影响
Tab.6 Effects of fish meal replacement by *G. verrucosa*, *E. prolifera*, algae residue and fungi residue on the serum and liver non-specific immune and antioxidant indices of juvenile tiger puffer

项目 Items	组别 Groups					
	对照组 1 Control 1	对照组 2 Control 2	江蓐 <i>G. verrucosa</i>	浒苔 <i>E. prolifera</i>	藻渣 Algae residue	菌渣 Fungi residue
血清 Serum						
酸性磷酸酶 ACP(金氏单位/dl)	4.40±0.28 ^a	3.44±0.25 ^b	3.99±0.27 ^{ab}	3.44±0.14 ^b	3.93±0.40 ^{ab}	3.89±0.13 ^{ab}
碱性磷酸酶 AKP(金氏单位/dl)	2.91±0.16 ^{bc}	2.47±0.11 ^c	3.69±0.17 ^a	3.22±0.08 ^{ab}	3.44±0.24 ^a	2.86±0.06 ^{bc}
溶菌酶 (U/ml)	411.20±11.27 ^{ab}	408.59±5.76 ^{ab}	385.42±10.29 ^b	430.73±11.64 ^a	424.48±6.89 ^{ab}	414.32±21.83 ^{ab}
丙二醛 MDA(nmol/ml)	9.87±0.54	9.49±0.55	9.19±0.45	9.33±0.88	10.35±0.83	8.27±0.36
超氧化物歧化酶 SOD(U/ml)	241.15±5.80	247.49±16.79	253.88±18.34	256.95±18.28	257.59±5.47	269.90±3.00
肝脏 Liver						
酸性磷酸酶 ACP(金氏单位/g prot)	142.95±12.34	150.16±5.01	144.74±6.70	135.10±5.30	138.35±9.29	159.17±5.41
碱性磷酸酶 AKP(金氏单位/g prot)	9.45±1.06 ^b	14.78±2.21 ^a	14.15±1.04 ^{ab}	12.06±1.67 ^{ab}	11.86±1.03 ^{ab}	16.74±1.41 ^a
溶菌酶 LZM(U/mg prot)	74.54±6.80 ^{bc}	105.82±9.34 ^a	113.49±1.60 ^a	97.32±5.77 ^{ab}	55.87±10.78 ^c	61.95±16.64 ^c

表 7 江蓐、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼体组成的影响(湿重基础, %)
Tab.7 Effects of fish meal replacement by *G. verrucosa*, *E. prolifera*, algae residue and fungi residue on the body composition of juvenile tiger puffer (Wet weight basis, %)

项目 Items	组别 Groups					
	对照组 1 Control 1	对照组 2 Control 2	江蓐 <i>G. verrucosa</i>	浒苔 <i>E. prolifera</i>	藻渣 Algae residue	菌渣 Fungi residue
水分 Moisture	77.54±0.33	77.89±0.30	77.36±0.28	76.94±0.47	77.64±0.39	77.21±0.42
粗蛋白质 Crude protein	14.80±0.16 ^{ab}	14.70±0.02 ^{ab}	14.84±0.14 ^{ab}	14.73±0.14 ^{ab}	14.49±0.03 ^b	15.10±0.19 ^a
粗脂肪 Crude lipid	4.33±0.22 ^{ab}	3.88±0.05 ^b	4.68±0.22 ^{ab}	4.94±0.32 ^a	5.01±0.35 ^a	4.32±0.21 ^{ab}
粗灰分 Ash	2.46±0.03 ^{ab}	2.49±0.05 ^{ab}	2.53±0.01 ^a	2.40±0.01 ^b	2.14±0.04 ^c	2.39±0.04 ^b

均无显著差异($P>0.05$); 菌渣组鱼体粗蛋白质含量显著高于藻渣组($P<0.05$), 与对照组 1、对照组 2、江蓐和浒苔无显著差异($P>0.05$); 浒苔和藻渣组鱼体粗脂肪含量显著高于对照组 2($P<0.05$), 与对照组 1、江蓐和菌渣组无显著差异($P>0.05$); 浒苔和菌渣组鱼体灰分含量显著低于江蓐组($P<0.05$), 显著高于藻渣组($P<0.05$), 与对照组 1 和对照组 2 无显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

在以往的植物蛋白替代鱼粉的研究中, 肉食性鱼类饲料中植物蛋白替代鱼粉的比例较低。大菱鲆(*Scophthalmus maxima*) 饲料中植物蛋白可以替代 17%~21% 的鱼粉而不影响其生长性能和饲料效率

(Day *et al.*, 2000; 陈超等, 2012); 豆粕可以替代饲料中 16% 的鱼粉而不影响花鲈(*Lateolabrax japonicus*) 生长(王国霞等, 2014); 菜籽粕可以替代饲料中 13.5% 的鱼粉而不影响虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) 的生长性能和饲料利用(崔存河等, 2016)。在对红鳍东方鲀的研究中发现, 豆粕可以替代饲料中 13% 左右的鱼粉而不影响红鳍东方鲀生长(Kikuchi *et al.*, 2009; Lim *et al.*, 2011)。在本研究中, 江蓐、浒苔、藻渣和菌渣组鱼粉含量为 30%, 但生长性能均优于含 45% 鱼粉的对照组 2, 并且浒苔组生长显著高于含 60% 鱼粉的对照组 1, 表明以江蓐、浒苔、藻渣和菌渣配合植物蛋白替代鱼粉能够促进红鳍东方鲀生长。这与目前已报道的在饲料中添加海藻可以促进眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)、大菱鲆、大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)、

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)等生长的研究结果相似(李雅婷等, 2016; 卢青等, 2015; Asino, 2010; 彭素晓等, 2017)。

海藻对水产动物生长性能的促进, 一方面可能是由于海藻中含有的一些具有诱食作用的物质(如 DMSP 等)增加了摄食量(邹仕庚等, 2005; 王亮, 2012), 促进了生长。本研究中, 江蓼、浒苔、藻渣和菌渣组摄食率均高于对照组 1, 说明江蓼、浒苔、藻渣和菌渣对红鳍东方鲀均能起到一定诱食作用。另一方面, 海藻中含有的牛磺酸可能补充了陆生植物蛋白替代鱼粉后的牛磺酸缺乏。本研究中, 江蓼、浒苔、藻渣和菌渣组饲料中鱼粉含量为 30%, 牛磺酸含量却均不低于含 45% 鱼粉的对照组 2, 说明江蓼、浒苔、藻渣和菌渣补充了一定的牛磺酸, 这可能也是江蓼、浒苔、藻渣和菌渣组生长性能并未降低的原因之一。江蓼、浒苔、藻渣和菌渣组饲料必需氨基酸中苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、组氨酸和精氨酸的含量均低于对照组 1 和对照组 2, 苯丙氨酸含量均高于对照组 1 和对照组 2, 而江蓼、浒苔和藻渣组生长均优于对照组 2, 这提示江蓼、浒苔和藻渣组中的苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、组氨酸和精氨酸含量可能基本满足了红鳍东方鲀生长, 而浒苔组生长最好, 可能与浒苔组饲料中最高苯丙氨酸含量有关(表 3), 具体红鳍东方鲀对必需氨基酸的需求量有待进一步研究。江蓼、浒苔和藻渣中的海藻多糖对红鳍东方鲀生长也可能具有促进作用, 有研究报道了饲料中添加海藻多糖可以促进珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂)(林建斌等, 2017)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)(杨晴等, 2014)、鲫鱼(*Carassius auratus*)(耿中雷等, 2017)的生长, 由于本研究并未对海藻中的多糖进行测定, 因此具体原因还需要进一步研究。而菌渣对红鳍东方鲀生长的促进可能也与真菌菌体中的多糖有关, 真菌细胞中含有壳聚糖等多糖。有研究表明, 饲料中添加壳聚糖可以促进星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)幼鱼(王际英等, 2013)、俄罗斯鲟(*Acipenser gueldenstaedti*)(肖艳翼等, 2017)生长。

作者之前对江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代大菱鲆饲料中鱼粉的研究中, 江蓼、藻渣和菌渣可以替代含 60% 鱼粉的对照组中 35% 的鱼粉而不影响大菱鲆生长, 而浒苔组则显著降低了大菱鲆生长(郭斌等, 2018)。浒苔组实验结果与本研究中红鳍东方鲀的实验结果不同, 可能与红鳍东方鲀和大菱鲆之间营养需求和消化道组织结构不同等有关。大菱鲆消化道存在胃、前肠、中肠和后肠的分化, 胃黏膜有许多褶皱,

有发达的胃腺(崔龙波等, 2008); 红鳍东方鲀消化道仅有胃与小肠的分化, 小肠前、中、后部区分不明显, 胃不含胃腺, 仅有分泌细胞(丛娇日等, 1998), 并且有研究发现红鳍东方鲀胃中蛋白酶在酸性条件下活性极低, 而在 pH=6 时有峰值(万蓁蓁, 2005)。红鳍东方鲀生活习性也与大菱鲆不同, 红鳍东方鲀适宜水温更高, 红鳍东方鲀最适水温为 28℃(张云等, 2010), 而大菱鲆最适水温为 18℃(李文龙等, 2017), 红鳍东方鲀游动摄食更频繁, 消化速度更快, 食物在肠道停留时间更短。红鳍东方鲀这些生理上的特点可能与其摄食率高、饲料效率低存在联系, 而本实验浒苔组生长较好的具体原因还需要进一步研究。

GPT 和 GOT 是鱼类氨基酸代谢中的 2 个关键酶, 它们在肝脏中活性的高低反映了氨基酸代谢程度的强弱和肝脏功能的正常与否(严俊丽等, 2016)。本研究中, 江蓼、浒苔、藻渣和菌渣组红鳍东方鲀肝脏 GPT 和 GOT 活性均低于对照组 1, 但并无显著差异, 说明江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉后虽然改变了饲料中氨基酸的组成, 降低了饲料必需氨基酸含量, 但并没有显著影响红鳍东方鲀对氨基酸的代谢。正常情况下血清中 GPT 和 GOT 含量很少, 当肝脏组织受损时, 细胞膜通透性发生改变, GPT 和 GOT 会进入血液, 导致血清中 GPT 和 GOT 活性上升(严俊丽等, 2016)。本研究中, 江蓼、浒苔和藻渣组血清 GPT 和 GOT 均低于对照组 1, 说明江蓼、浒苔、藻渣替代鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼的肝脏没有造成不良影响。MDA 是多不饱和脂肪酸被超氧阴离子自由基过氧化而产生的脂质过氧化物, 具有细胞毒性, 在生物体内可引起细胞代谢及功能障碍, 血清中 MDA 的含量间接反映组织细胞的氧化损伤程度(周胜强等, 2013; Jain *et al*, 2001)。SOD 对机体氧化与抗氧化平衡起着重要作用, 能清除超氧阴离子自由基, 保护细胞免受损伤。本研究中, 江蓼、浒苔、藻渣和菌渣组血清 MDA 含量和 SOD 活性与对照组 1 和对照组 2 均无显著差异, 说明江蓼、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对红鳍东方鲀鱼体的抗氧化能力没有造成不良影响。

溶菌酶是无脊椎动物非特异性免疫的重要组成部分之一, 能通过水解革兰氏阳性菌细胞壁中的肽聚糖而使之细胞裂解, 从而杀灭病原微生物(何瑞鹏等, 2017)。本研究中, 浒苔、藻渣、菌渣组红鳍东方鲀血清溶菌酶活性高于对照组 1 和对照组 2, 江蓼和浒苔组肝脏溶菌酶活性高于对照组 1, 说明江蓼、浒苔、藻渣和菌渣对提高红鳍东方鲀非特异性免疫力具有一定作用, 而对照组 1、藻渣和菌渣组肝脏溶菌酶活性显著低于对照组 2 的原因尚不明确, 还需要进一步研究。

4 结 论

将 10% 的江蓠、浒苔、藻渣和菌渣与植物蛋白质配合替代饲料中 30% 的鱼粉对红鳍东方鲀幼鱼的生长性能无不良影响, 并且浒苔可以显著提高红鳍东方鲀幼鱼的生长性能。

参 考 文 献

- Asino HM. Evaluation of *Enteromorpha prolifera* as a feed component in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) diets. Master's Thesis of Ocean University of China, 2010, 1–35 [Hiskia Megameno Asino. 饲料中添加浒苔 *Enteromorpha prolifera* 对大黄鱼生长性能的影响. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2010, 1–35]
- Chang QL, Sun JY. Algae feed resources and its application in aquaculture. *Feed Industry*, 2006, 27(2): 62–64 [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. 饲料工业, 2006, 27(2): 62–64]
- Chen C, Chen JH. Effects of taurine and compound crystalline amino acid on feed intake, growth and feed utilization of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(23): 108–112 [陈超, 陈京华. 牛磺酸、晶体氨基酸对大菱鲆摄食、生长和饲料利用率的影响. 中国农学通报, 2012, 28(23): 108–112]
- Cong JR, Zhang ZH, Yao SC. A study of the histology and morphology of the digestive tract of the juvenile globefish, *Fugu rubripes*. *Marine Sciences*, 1998, 22(4): 53–58 [丛娇日, 张朝晖, 姚善成. 红鳍东方鲀幼鱼消化道的组织学和形态学研究. 海洋科学, 1998, 22(4): 53–58]
- Cui CH, Yang CH, Bu XY, et al. Effect replacing fish meal with rapeseed meal on growth, body composition and serum biochemical parameter of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Feed Industry*, 2016, 37(22): 21–25 [崔存河, 杨成辉, 卜宪勇, 等. 菜粕替代鱼粉对虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 生长、体组成和血液学指标的影响. 饲料工业, 2016, 37(22): 21–25]
- Cui LB, Zhou XY, Lü H, et al. Histological and histochemical study on the digestive system of *Scophthalmus maximus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2008, 29(6): 47–51 [崔龙波, 周雪莹, 吕虹, 等. 大菱鲆消化系统的组织学和组织化学研究. 渔业科学进展, 2008, 29(6): 47–51]
- Day OJ, González HGP. Soybean protein concentrate as a protein source for turbot *Scophthalmus maximus* L. *Aquaculture Nutrition*, 2000, 6(4): 221–228
- Geng ZL, Yang YY, Cai CR, et al. Effect of dietary supplementation of four alga polysaccharides on growth and disease resistance in crucian carp *Carassius auratus*. *Fisheries Science*, 2017, 36(6): 753–757 [耿中雷, 杨亚云, 蔡春尔, 等. 4 种海藻多糖对鲫鱼生长免疫影响的探究. 水产科学, 2017, 36(6): 753–757]
- Guo B, Liang MQ, Xu HG, et al. Effects of *Gracilaria verrucosa*, *Enteromorpha prolifera*, algae residue and fungi residue on growth performance, serum and liver biochemical indices, body composition and intestinal histological morphology of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(1): 299–312 [郭斌, 梁萌青, 徐后国, 等. 江蓠、浒苔、藻渣和菌渣替代鱼粉对大菱鲆幼鱼生长性能、血清和肝脏生化指标、体组成和肠道组织结构的影响. 动物营养学报, 2018, 30(1): 299–312]
- He RP, Feng J, Tian XL, et al. Effect of dietary supplementation of *Clostridium butyricum* on the growth and activities of digestive and serum antioxidant enzymes and lysozyme of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂). *Periodical of Ocean University of China*, 2017, 47(11): 15–23 [何瑞鹏, 奉杰, 田相利, 等. 酪酸菌对珍珠龙胆石斑鱼生长、消化酶、血清抗氧化酶和溶菌酶活性的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2017, 47(11): 15–23]
- Jain SK, Lim G. Pyridoxine and pyridoxamine inhibits superoxide radicals and prevents lipid peroxidation, protein glycosylation, and (Na⁺ + K⁺)–ATPase activity reduction in high glucose-treated human erythrocytes. *Free Radical Biology and Medicine*, 2001, 30(3): 232–237
- Kikuchi K, Furuta T. Use of defatted soybean meal and blue mussel meat as substitute for fish meal in the diet of tiger puffer, *Takifugu rubripes*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2009, 40(4): 472–482
- Li RG, Jiang YX, Jiang RY, et al. The comprehensive utilization technology of large seaweed as feed. *Scientific Fish Farming*, 2009(10): 64–65 [李人光, 姜永新, 姜瑞勇, 等. 大型海藻作为饲料的综合利用技术. 科学养鱼, 2009(10): 64–65]
- Li WL, Liang XM, Liang MQ, et al. Effect of temperature on growth and enzyme activity related to immunity in juvenile turbot *Scophthalmus maximus*. *Fisheries Science*, 2017, 36(3): 311–316 [李文龙, 梁兴明, 梁萌青, 等. 温度对大菱鲆幼鱼生长及免疫相关酶活性的影响. 水产科学, 2017, 36(3): 311–316]
- Li YT, Chen M, Zeng SL, et al. Effect of dietary *Gracilaria lemaneiformis* on growth performance, fatty acid composition, immunity and intestinal histology of red drum (*Sciaenops ocellatus*). *South China Fisheries Science*, 2016, 12(1): 85–93 [李雅婷, 陈明, 曾帅霖, 等. 饲料中添加龙须菜对眼斑拟石首鱼生长、脂肪酸组成、免疫及肠道的影响. 南方水产科学, 2016, 12(1): 85–93]
- Lin JB, Liang P, Zhu QG, et al. Effect of laminarin on growth and immunity of pearl gentian grouper. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 32(1): 17–21 [林建斌, 梁萍, 朱庆国, 等. 海带多糖对珍珠龙胆石斑鱼生长性能和免疫力的影响. 福建农业学报, 2017, 32(1): 17–21]
- Lu Q, Yang N, Wang ZL, et al. The effects of dietary *Enteromorpha prolifera* on the growth and non-specific

- immunity of juvenile turbot(*Scophthalmus maximus*). Journal of Qingdao Agricultural University(Natural Science), 2015, 32(1): 62–66 [卢青, 杨宁, 王正丽, 等. 饲料中添加浒苔对大菱鲆生长和非特异性免疫力的影响. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2015, 32(1): 62–66]
- Peng SX, Chang ZQ, Ma L, *et al.* Effects of kelp meal adding proportion and its enzymatic hydrolysates on growth, digestion and non-specific immunity of *Litopenaeus vannamei*. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29(7): 2587–2596 [彭素晓, 常志强, 马骊, 等. 海带渣添加比例及其酶解产物对凡纳滨对虾生长、消化和非特异性免疫力的影响. 动物营养学报, 2017, 29(7): 2587–2596]
- Kim SS, Lee KJ. Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*). Aquaculture, 2009, 287(1–2): 219–222
- Lim SJ, Kim SS, Ko GY, *et al.* Fish meal replacement by soybean meal in diets for tiger puffer, *Takifugu rubripes*. Aquaculture, 2011, 313(1): 165–170
- Wan ZZ. The development of the morphology and the physiology of digestion indigestion of *Takifugu rubripes*. Master's Thesis of Ocean University of China, 2005, 1–81 [万蓁蓁. 红鳍东方鲀幼体发育和消化生理的研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2005, 1–81]
- Wang GX, Fu JJ, Huang YH, *et al.* Effect of partial replacement of fish meal by five plant proteins on growth performance and digestive enzymes activities of *Lateolabrax japonicus*. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 53(4): 866–870 [王国霞, 付晶晶, 黄燕华, 等. 5种植物蛋白源替代鱼粉对花鲈生长性能和消化酶活性的影响. 湖北农业科学, 2014, 53(4): 866–870]
- Wang JY, Jiang JK, Zhang LM, *et al.* Effects of dietary chitosan on growth, lipid deposition and antioxidant capacity of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(8): 64–70 [王际英, 蒋锦坤, 张利民, 等. 壳聚糖对星斑川鲷幼鱼生长、脂肪含量及抗氧化能力的影响. 中国农学通报, 2013, 29(8): 64–70]
- Wang L. The detection of DMSP concentration in some common seaweeds. Master's Thesis of Soochow University, 2012, 1–47 [王亮. 部分大型海藻 DMSP 含量的检测. 苏州大学硕士研究生学位论文, 2012, 1–47]
- Wang SM. Study on the optimum dietary protein level of juvenile tiger puffer, *Fugu rubripes*. Master's Thesis of Hebei Normal University, 2008, 1–55 [王淑敏. 红鳍东方鲀幼鱼饲料最适蛋白质含量的研究. 河北师范大学硕士研究生学位论文, 2008, 1–55]
- Xiao YY, Xia YT, Liu TF, *et al.* Effects of chitosan on growth performance and immunity of juvenile Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedti*). Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(1): 114–120 [肖艳翼, 夏永涛, 刘腾飞, 等. 壳聚糖对俄罗斯鲟幼鱼生长性能及免疫功能的影响. 水生生物学报, 2017, 41(1): 114–120]
- Yan JL, Chen SQ, Chang Q, *et al.* Effects of antarctic krill meal replacing fish meal on growth performance, serum and liver biochemical indices and serum non-specific immune indices of juvenile spotted halibut (*Verasper variegatus*). Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(11): 3503–3510 [严俊丽, 陈四清, 常青, 等. 南极磷虾粉替代鱼粉对圆斑星鲽幼鱼生长性能、血清和肝脏生化指标及血清非特异性免疫指标的影响. 动物营养学报, 2016, 28(11): 3503–3510]
- Yang Q, Yang R, Zhou QC, *et al.* Effects of fucoidan on growth performance and digestive enzyme activities of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(7): 1880–1887 [杨晴, 杨锐, 周歧存, 等. 褐藻糖胶对黄颡鱼幼鱼生长性能和消化酶活性的影响. 动物营养学报, 2014, 26(7): 1880–1887]
- Zhao XD. Food anti nutrition factor. Beijing: China Agricultural University Press, 2015 [赵晓丹. 食物抗营养因子. 北京: 中国农业大学出版社, 2015]
- Zhang Y, Qi ZY, Ning LJ, *et al.* Effect of temperature on growth of juvenile *Fugu rubripes*. Modern Fisheries Information, 2010, 25(12): 29–34 [张云, 齐自元, 宁丽军, 等. 温度对红鳍东方鲀幼鱼生长的影响. 现代渔业信息, 2010, 25(12): 29–34]
- Zhou SQ, You CH, Wang SQ, *et al.* Effects of dietary seaweed *Enteromorpha prolifera* on growth performance, physiological and biochemical characteristics of rabbitfish *Siganus canaliculatus*. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(6): 1257–1265 [周胜强, 游翠红, 王树启, 等. 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. 中国水产科学, 2013, 20(6): 1257–1265]
- Zou SG, Tao ZG, Xu Y. The application of DMPT in the nutrition of aquatic animals. Guangdong Feed, 2005, 14(3): 34–35 [邹仕庚, 陶正国, 许毅. DMPT 在水产动物营养中的应用. 广东饲料, 2005, 14(3): 34–35]

Effects of *Gracilaria verrucosa*, *Enteromorpha prolifera*, Algae Residue and Fungi Residue on Growth Performance, and Related Biochemical Indices of Juvenile *Takifugu rubripes*

GUO Bin^{1,2}, LIANG Mengqing^{1①}, XU Houguo¹, WEI Yuliang¹,
ZHANG Qinggong², LI Benxiang², LIAO Zhangbin²

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

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

Abstract This study investigated the effects of dietary fish meal replacement by seaweeds or residues on growth performance and related biochemical indices of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*), with 2 fishmeal diets containing 60% and 45% fishmeal as the control 1, and the control 2, and other four diets with 30% fishmeal replaced by 10% four kinds of seaweeds or residues (*Gracilaria verrucosa*, *Enteromorpha prolifera*, Algae residue, Fungi residue) and vegetables protein(wheat gluten, corn gluten meal, and soybean meal), and they were named as C1, C2, JL, HT, ZZ, and JZ. Each diet was fed to three replicates of 25 tiger puffers with initial body weight of (17.33±0.55) g for 56 d. The results showed as follows: The special growth ratio (SGR) of HT group were significantly higher than that of other groups ($P<0.05$). The SGR of ZZ group was significantly higher than C2 and JL groups ($P<0.05$). The feed efficiency ratio (FER) of C1 and HT groups were significantly higher than C2 and JZ groups ($P<0.05$). The protein productive value (PPV) and protein efficiency ratio (PER) of C1 were significantly higher than C2 and JZ groups ($P<0.05$). No significant differences were found in activities of serum glutamic pyruvic transaminase (GPT), serum glutamic oxalacetic transaminase (GOT), liver GPT and liver GOT ($P>0.05$). No significant differences were found in activity of serum superoxide dismutase (SOD) and content of malondialdehyde (MDA). Crude protein content of whole body in JZ group was significantly higher than ZZ group ($P<0.05$). And crude lipid contents in whole body in HT and ZZ groups were significantly higher than C2 group ($P<0.05$). Above results showed that replaced 30% fish meal with 10% *G. verrucosa*, *E. prolifera*, algae residue or fungi residue and vegetable proteins have no adverse effect on the growth performance of juvenile tiger puffer, and *E. prolifera* can significantly improve the growth performance.

Key words Tiger puffer; Seaweed; Growth performance; Biochemical indices

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