

n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼生长、体组成及组织脂肪酸组成的影响

马长兴^{1,2}, 王际英^{2*}, 李宝山², 王成强²,
沈钰博^{1,2}, 刘财礼^{1,2}, 周莹^{1,2}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 水产科学国家级实验教学示范中心, 农业农村部鱼类营养与环境生态研究中心, 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306;
2. 山东省海洋资源与环境研究院, 山东省海洋生态修复重点实验室, 山东烟台 264006)

摘要: 为研究饲料n-3/n-6高不饱和脂肪酸(HUFA)对许氏平鲈幼鱼生长、体组成及组织脂肪酸组成的影响, 配制了6种n-3/n-6 HUFA(D1: 14.28, D2: 9.26, D3: 5.66, D4: 3.06, D5: 2.02, D6: 1.50)的等氮等脂的实验饲料。以许氏平鲈幼鱼(36.30±0.03) g为研究对象, 在网箱中养殖65 d, 分为6实验组, 每组设3个重复, 每个重复30尾鱼。结果发现: ① 饲料n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼的成活率无显著影响。随着n-3/n-6 HUFA降低, 幼鱼增重率呈先上升后下降趋势, 饲料系数呈相反趋势, D2和D3组的增重率显著高于各组。② 全鱼和肌肉粗脂肪含量呈先上升后下降趋势, 分别在D2、D3组达到最大值。肝脏粗脂肪含量呈先下降后上升趋势, D2组显著小于其他各组。③ 各组织C20:4n-6含量随n-3/n-6 HUFA的降低均呈上升趋势, 而C20:5n-3、C22:6n-3和n-3/n-6 HUFA整体呈下降趋势。④ 鱼体脂肪酸组成受饲料影响程度由大到小依次为腹脂、肌肉、全鱼、肝脏, 且各组织C20:5n-3与饲料C20:4n-6均呈显著负相关。研究表明, 在本实验条件下, 饲料中适宜比例(5.66~9.26)的n-3/n-6 HUFA显著提高实验鱼的生长, 改变体组成及组织脂肪酸组成, 以增重率和饲料系数作评价指标, 经一元二次回归分析得许氏平鲈幼鱼饲料中n-3/n-6 HUFA的适宜比例分别是8.93和8.70。

关键词: 许氏平鲈; n-3/n-6 HUFA; 生长; 体组成; 脂肪酸

中图分类号: S 963

文献标志码: A

脂肪酸与氨基酸、维生素一样, 是鱼体必需的营养素。在生物体内大部分脂肪酸都以结合形式, 如甘油三酯、磷脂、糖脂等存在, 但也有少量脂肪酸以游离状态存在于组织和细胞中。一般鱼体本身只能合成n-7、n-9系列不饱和脂肪酸, 而不能合成n-3、n-6系列不饱和脂肪酸, 因此, n-3、n-6系列不饱和脂肪酸被认为是鱼类的必需脂肪酸(EFA)^[1]。n-3/n-6多不饱和脂肪酸(PUFA)相对平衡会影响其代谢产物类二十烷酸的相对平衡, 是维持鱼体健康的根本。但n-

3与n-6 PUFA之间存在代谢竞争, 尤其是C20:4n-6 (ARA)和C20:5n-3 (EPA), 它们互为类似物, 有相似代谢途径, 均参与二十碳脂肪酸衍生物的合成, 在环氧化酶和脂氧合酶的结合上存在竞争^[2]。

海水鱼生存和生长需要的EFA因种类而异, 不同脂肪酸对海水鱼生长的影响很大程度上与不饱和脂肪酸, 尤其与高不饱和脂肪酸 (HUFA) 的差异有关^[3]。n-3 HUFA在构建细胞结构、提供代谢物质和调节能量代谢等方面具有重要作用^[4]。EPA和C22:5n-3 (DHA)是海水鱼的EFA, 在饲料

收稿日期: 2019-09-19 修回日期: 2019-09-29

资助项目: 烟台市科技计划(2017ZH068)

通信作者: 王际英, E-mail: ytwjy@126.com

中添加适宜的EPA和DHA可以促进大西洋鲑(*Salmo salar*)的生长,增强免疫力^[5]。饲料中ARA缺乏或过量会抑制免疫系统的发育,影响海水鱼存活率和增长率^[6]。适量增加ARA会促进鱼类生长,也会显著降低应激反应^[7]。有研究表明^[8], n-3/n-6 HUFA的适当比例对于生长或对应激和疾病感染的高抗性比单独使用n-3或n-6 HUFA更为关键,且因鱼种的不同而存在差异。

许氏平鲷(*Sebastes schlegeli*)隶属鲷形目(Scorpaeniformes)、平鲷科(Sebastidae)、平鲷属,是一种暖温性底层鱼类,主要分布于我国黄海、渤海和东海,是人工鱼礁进行资源增殖和网箱养殖的理想种类,在山东沿海有“黑石斑”的美誉。目前关于许氏平鲷脂肪酸的研究已经有n-3 HUFA, EPA和DHA方面的研究^[9],但尚未见n-3/n-6 HUFA的报道。本实验以许氏平鲷为研究对象,通过在饲料中添加花生四烯酸油脂,配制了6种不同比例n-3/n-6 HUFA的饲料,探究其对许氏平鲷幼鱼生长、体组成及组织脂肪酸组成的影响,旨在为许氏平鲷饲料中添加适宜的n-3/n-6 HUFA研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验设计与饲料制作

以白鱼粉、大豆浓缩蛋白为主要蛋白源,鱼油为主要脂肪源配制等氮等能的基础饲料,在基础饲料中分别添加质量分数为1、2.5、5、10、15、20 g/kg的花生四烯酸油脂(购自湖北欣和生物科技有限公司,纯度>50.50%),配成n-3/n-6 HUFA分别为14.28、9.26、5.66、3.06、2.02、1.50的饲料,分别命名为D1、D2、D3、D4、D5、D6组。饲料配方及营养组成见表1,脂肪酸组成见表2。

按实验配方将所需饲料原料粉碎过80目筛,称重后从小到大逐级混合均匀,再加入提前混好的油脂,加适量蒸馏水混匀。经螺旋挤压机加工成粒径为1.5和2.5 mm左右的饲料颗粒,60℃烘干后放置于-20℃冰箱保存备用。

1.2 实验用鱼与饲养管理

实验用许氏平鲷幼鱼购自山东日照某养殖基地。养殖实验就地采用室内水泥池内挂网箱(60 cm×60 cm×50 cm)进行。用D1组料暂养幼鱼两周后进行分组,挑选规格均匀、体质健壮的许

氏平鲷幼鱼[(36.30±0.03) g],随机分配到网箱中,分为6实验组,每组3个重复,总共18个网箱,每个网箱30尾鱼。实验进行65 d,每天投喂2次(8:00, 16:30),日投喂量约占体质量的1%,并根据实际情况及时调整。实验期间,确保水质符合以下条件:溶解氧>5 mg/L,水温为(17.5±0.5)℃,盐度为28~32, pH为7.6~8.2,氨氮和亚硝酸≤0.1 mg/L。

1.3 样品采集

实验结束后,禁食24 h。记录每网鱼的数量和重量,计算成活率、增重率,每网箱随机取9尾实验鱼,测量体质量、体长,计算肥满度。取血后的实验鱼分离其内脏、肝脏、腹脂和肌肉,分别称重计算脏体比、肝体比,腹脂和背肌-20℃冰箱中保存。随机取3尾实验鱼用于全鱼体组成常规分析及脂肪酸分析。

1.4 样品分析

生长指标 成活率(survival rate, SR,%)= $N_t/N_0 \times 100\%$

增重率(weight gain rate, WGR,%)= $(W_t - W_0)/W_0 \times 100\%$

摄食率(daily feed intake, DFI,%)= $F/[(W_t + W_0)/2 \times t] \times 100\%$

特定增长率(specific growth rate, SGR,%/d)= $(\ln W_t - \ln W_0)/t \times 100\%$

饲料系数(feed conversion rate, FCR)= $F/(W_t - W_0)$

蛋白质效率(protein efficiency rate, PER)= $(W_t - W_0)/(F \times P)$

肥满度(condition factor, CF, g/cm³)= $W_t/L^3 \times 100$

脏体比(viscerosomatic index, VSI,%)= $M_v/W_t \times 100\%$

肝体比(hepatosomatic index, HSI,%)= $M_l/W_t \times 100\%$

式中, N_0 为实验初始鱼数量, N_t 为实验结束时鱼数量, W_0 为实验鱼初始体质量(g), W_t 为实验结束时鱼体质量(g), F 为摄食干饲料质量(g), t 为养殖天数(d), P 为饲料粗蛋白含量(%), L 为实验结束时鱼体长(cm), M_l 为实验结束时鱼肝脏质量(g), M_v 为实验结束时实验鱼腹脂质量(g)。

常规分析 实验饲料及实验鱼水分用105℃恒重法测定(GB/T 6435-2014),粗蛋白用凯氏定氮法测定(GB/T 6432-2018),粗脂肪用索氏抽提

表 1 饲料配方及营养组成(干物质基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of the experimental diets (dry matter basis)

项目 items	组别 diets					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
原料/% ingredients						
白鱼粉 white fish meal	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
大豆浓缩蛋白 soyprotein concentrate	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
α -淀粉 α -starch	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
鱼油 fish oil	6.40	6.25	6.00	5.50	5.00	4.50
花生四烯酸油脂 arachidonic acid oil ¹⁾	0.10	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00
维生素混合物 vitamins premix ²⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
矿物质混合物 minerals premix ³⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
抗氧化剂 antioxidant	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
维生素C Vitamin C	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱 choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
甜菜碱 betaine	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
羧甲基纤维素钠 CMC	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
大豆卵磷脂 soy lecithin	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养组成 nutrient composition						
水分 moisture	6.94	7.65	7.02	7.23	7.51	7.28
粗蛋白 crude protein	50.67	50.99	50.67	50.82	50.63	50.78
粗脂肪 crude lipid	10.45	10.24	10.06	10.43	10.41	10.13
灰分 crude ash	12.23	12.21	12.22	12.17	12.16	12.19
总能(kJ/g) gross energy	20.39	20.38	20.44	20.34	20.45	20.43

注: 1) 花生四烯酸油脂购自欣和生物科技(湖北)有限公司, 成分为ARA 55.38%, C16:0 6.17%, C18:0 10.32%, C18:1n-9 8.17%, C18:2n-6 5.89%, C20:0 1.02%, C18:3n-6 2.59%, C20:3n-6 2.59%; 2) 维生素预混料(g/kg饲料)维生素C 121.2 g, DL维生素E生育酚乙酸酯 18.8 g, 盐酸硫胺素 2.7 g, 核黄素 9.1 g, 盐酸吡哆醇 1.8 g, 烟酸 27.8 g, 泛酸钙 12.7 g, 肌醇 181.8 g, 生物素 0.27 g, 叶酸(98%) 0.68 g, 维生素K 1.8 g, 维生素A乙酸酯 0.73 g, 维生素D3 0.003 g, 维生素B12 0.003 g; 3) 矿物质预混料(g/kg饲料)MgSO₄·7H₂O 80 g, NaH₂PO₄·2H₂O 370.0 g, KCl 130 g, 柠檬酸铁 40 g, ZnSO₄·7H₂O 20.0 g, C₆H₁₀CaO₆ 356.5 g, 氯化亚铜 0.2 g, 六水氯化铝 0.15 g, 碘化钾 0.15 g, 亚硒酸钠 0.01 g, 一水硫酸锰 2.0 g, 六水氯化钴 1.0 g

Notes :1) Arachidonic acid oil were purchased from Xinde Biological Technology (Hubei) Co., Ltd., the concentration of ARA 55.38%, C16:0 6.17%, C18:0 10.32%, C18:1n-9 8.17%, C18:2n-6 5.89%, C20:0 1.02%, C18:3n-6 2.59%, C20:3n-6 2.59%; 2) Vitamin premix (g/kg diet) vitamin C 121.2 g, DL vitamin E tocopherol 18.8 g, thiamine hydrochloride 1.8 g, riboflavin 9.1 g, pyridoxine hydrochloride 1.8 g, niacin acid 27.8 g, calcium pantothenate 12.7 g, inositol 181.8 g, biotin 0.27 g, folic acid (98%) 0.68 g, vitamin K 1.8 g, vitamin A acetate 0.73 g, vitamin D3 0.003 g, vitamin B12 0.003 g; 3) Mineral premix (g/kg diet) MgSO₄·7H₂O 80 g, NaH₂PO₄·2H₂O 370.0 g, KCl 130 g, ferric citrate 40 g, ZnSO₄·7H₂O 20.0 g, C₆H₁₀CaO₆ 356.5 g, cuprous chloride 0.2 g, aluminum chloride hexahydrate 0.15 g, potassium iodide 0.15 g, sodium selenite 0.01 g, manganese sulfate monohydrate 2.0 g, cobalt chloride hexahydrate 1.0 g

法测定(GB/T 6433-2006), 粗灰分用 550 °C失重法测定(GB/T 6438-2007), 能量用燃烧法测定(IKA, C6000, Germany)。

脂肪酸组成 脂肪酸成分测定参照文献(Metcalf, 1966)中的方法^[10], 稍作改进: 取100

mg左右的冷冻干燥样品或30 μ L油脂于50 mL消化管内, 加入甲醇盐酸(乙酰氯:无水甲醇=1:10) 2 mL, 正己烷(色谱纯) 1 mL, 密封振荡后置于80 °C金属浴2 h, 冷却至室温后加入3 mL 6% K₂CO₃, 静置2 min, 上清液即为甲酯化的脂肪酸, 取上

表 2 实验饲料脂肪酸组成(%总脂肪酸)

Tab. 2 Fatty acid composition of experimental diets (%total fatty acid)

脂肪酸 fatty acid	组别 diets					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
C14:0	4.49	4.48	4.24	3.99	3.77	3.52
C16:0	18.57	18.57	18.02	17.49	17.06	16.62
C18:0	3.60	3.78	3.89	4.22	4.62	5.01
C20:0	0.45	0.46	0.46	0.45	0.49	0.51
ΣSFA	27.11	27.29	26.61	26.15	25.94	25.66
C16:1n-7	5.55	5.53	5.27	5.01	4.67	4.41
C18:1n-9	12.08	12.11	12.03	11.94	11.67	11.55
C18:1n-7	3.31	3.37	3.46	3.54	3.64	3.66
C20:1n-7	3.16	3.12	3.09	2.97	2.80	2.65
C22:1n-9	4.93	4.81	4.76	4.53	4.24	4.06
ΣMUFA	29.03	28.94	28.61	27.99	27.02	26.33
C18:2n-6	6.71	6.63	6.86	7.16	7.34	7.54
C18:3n-3	1.68	1.65	1.62	1.58	1.54	1.49
C20:2n-6	1.87	1.84	1.66	1.40	1.27	1.16
ARA	1.41	2.15	3.46	6.06	8.70	10.96
EPA	9.10	8.92	8.74	8.25	7.83	7.29
DHA	12.19	11.88	11.66	10.98	10.28	9.58
ΣPUFA	32.96	33.07	34.05	35.43	36.96	38.02
EPA/DHA	0.75	0.75	0.75	0.75	0.76	0.76
n-3/n-6 HUFA	14.28	9.26	5.66	3.06	2.02	1.50

注: 含量较少的脂肪酸(如C20:2n-9、C22:0、C18:3n-6、C22:5n-3)未列入表中; SFA. 饱和脂肪酸, MUFA. 单不饱和脂肪酸, ARA. 花生四烯酸, EPA. 二十碳五烯酸, DHA. 二十二碳六烯酸, PUFA. 多不饱和脂肪酸, HUFA. 高不饱和脂肪酸。下同

Notes: some fatty acids, of which the contents are minor, trace amount or not detected(such as C22:0, C18:3n-6, C22:5n-3)were not listed in the table; SFA. saturated fatty acid, MUFA. monounsaturated fatty acid, ARA. arachidonic acid, EPA. eicosapentaenoic acid, DHA. docosahexaenoic acid. PUFA. polyunsaturated fatty acids, HUFA. highly unsaturated fatty acid. The same below

清液用0.22 μm过滤膜过滤至脂肪酸测定小瓶, 在高效气象色谱分析仪(GC-2010, 岛津, 日本)上分析, 每次进样量1 μL。最后根据脂肪酸标准出峰时间筛选出样品脂肪酸种类, 采用校正面积归一法计算相对含量。

1.5 数据统计分析

采用SPSS Statistics 17.0软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 差异显著($P < 0.05$)时采用Duncan氏检验进行多重比较分析, 统计结果以平均值±标准差(mean±SD)的形式表示。脂肪酸的相关性分析采用双变量相关分析(Bivariate Correlations)。

2 结果

2.1 n-3/n-6 HUFA对许氏平鲉幼鱼生长及形体指标的影响

n-3/n-6 HUFA对许氏平鲉幼鱼的成活率(SR)无显著影响($P > 0.05$), 均为100%(表3)。随着n-3/n-6 HUFA降低, 增重率(WGR)、特定生长率(SGR)和蛋白质效率(PER)呈先上升后下降的趋势, D2和D3组的增重率显著高于其余各组($P < 0.05$), D5和D6组的SGR和PER显著低于其余各组($P < 0.05$)。饲料系数(FCR)呈先下降后上升的趋势, 摄食率(DFI)、肥满度(CF)、脏体比(VSI)和肝体比(HIS)在各实验组之间均无显著差异

($P>0.05$)。在本实验条件下,通过一元二次回归分析,当饲料中n-3/n-6 HUFA比例为8.93时,许氏平鲈幼鱼有最大WGR(图1),当饲料中n-3/n-6 HUFA比例为8.70时,FCR达到最小值(图2)。

2.2 n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼体组成的影响

全鱼体组成中,水分含量在69.04%~70.10%,且各组无显著差异($P>0.05$),粗蛋白含量呈先下降后上升趋势且在D2组达到最小值($P<0.05$),粗脂肪含量呈先上升后下降趋势且在D2组达到最大值($P<0.05$),粗灰分含量各组之间无显著差

异($P>0.05$)。肌肉水分含量无显著差异($P>0.05$),粗蛋白含量呈先下降后上升趋势且在D3组达到最小值($P<0.05$),粗脂肪含量呈先上升后下降趋势且在D3组达到最大值($P<0.05$),肌肉中的粗灰分含量呈先上升后下降的趋势且在D4组达到最大值($P<0.05$)。肝脏中,水分含量为46.21%~47.93%,D3组显著低于其他各组($P<0.05$),粗蛋白含量呈先上升后下降趋势且在D3组达到最大值($P<0.05$),粗脂肪含量呈先下降后上升趋势且在D2组达到最小值($P<0.05$),粗灰分含量各组之间无显著差异($P>0.05$)(表4)。

表 3 n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼生长性能、饲料利用及形体指标的影响

Tab. 3 Effects of dietary n-3/n-6 HUFA ratios on growth performance, feed utilization and morphometric index of juvenile *S. schlegeli*

项目 items	组别 diets					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
初始体质量/g IBM	36.27±0.09	36.33±0.04	36.25±0.02	36.32±0.05	36.29±0.05	36.32±0.02
终末体质量/g FBW	78.10±1.06 ^b	80.50±0.17 ^{bc}	80.75±0.68 ^c	78.54±1.25 ^{bc}	75.10±2.72 ^a	74.01±0.70 ^a
增重率/% WGR	115.27±2.71 ^b	121.67±0.37 ^c	122.59±1.84 ^c	116.3±3.36 ^b	105.26±4.64 ^a	103.86±1.84 ^a
摄食率/% DFI	1.12±0.02	1.12±0.03	1.12±0.01	1.11±0.02	1.11±0.02	1.11±0.04
特定增长率/(%/d) SGR	1.18±0.02 ^b	1.23±0.01 ^{bc}	1.23±0.01 ^c	1.19±0.02 ^{bc}	1.12±0.05 ^a	1.10±0.10 ^a
饲料系数 FCR	1.00±0.02 ^{bc}	0.96±0.01 ^a	0.97±0.01 ^{ab}	1.00±0.02 ^{bc}	1.02±0.02 ^{cd}	1.04±0.01 ^d
蛋白质效率 PER	1.95±0.04 ^{abc}	2.07±0.03 ^d	2.03±0.04 ^{cd}	2.00±0.02 ^{bcd}	1.91±0.03 ^a	1.92±0.02 ^{ab}
肥满度/(g/cm ³) CF	2.78±0.09	2.73±0.03	2.77±0.02	2.78±0.12	2.80±0.03	2.74±0.06
脏体比/% VSI	9.68±0.14	9.87±0.06	9.85±0.09	9.87±0.05	9.74±0.07	9.65±0.01
肝体比/% HSI	3.03±0.06	3.20±0.15	3.16±0.08	3.13±0.08	3.05±0.04	3.09±0.07
成活率/% SR	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00

注:同行数据上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
Notes: in the same row, values with no or the letter same superscripts mean no significant difference($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same below

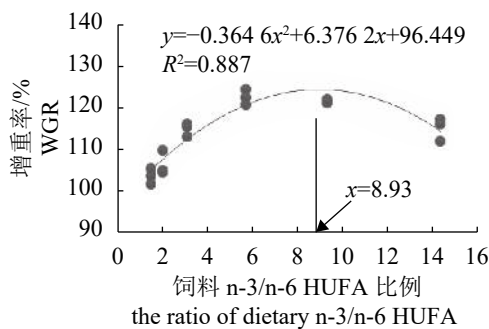


图 1 许氏平鲈幼鱼WGR与饲料n-3/n-6 HUFA的相关性分析

Fig. 1 Relationship between dietary n-3/n-6 HUFA and WGR of *S. schlegeli*

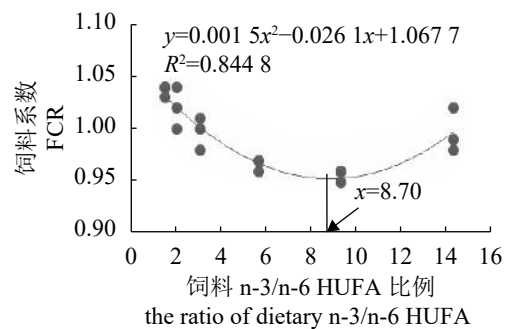


图 2 许氏平鲈幼鱼FCR与饲料n-3/n-6 HUFA的相关性分析

Fig. 2 Relationship between dietary n-3/n-6 HUFA and FCR of *S. schlegeli*

表 4 n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼体组成的影响

Tab. 4 Effects of dietary n-3/n-6 HUFA ratios on tissue proximate composition of juvenile *S. schlegelii*

	组别 diets					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
全鱼 whole body						
水分 moisture	69.33±1.05	70.10±0.60	69.62±1.09	68.83±0.41	69.16±1.86	69.04±0.60
粗蛋白 crude protein	16.64±0.18 ^b	16.19±0.14 ^a	16.68±0.30 ^b	16.97±0.19 ^{bc}	16.98±0.33 ^{bc}	17.22±0.17 ^c
粗脂肪 crude lipid	9.46±0.47 ^{bc}	9.74±0.23 ^c	9.34±0.36 ^{bc}	9.15±0.07 ^{bc}	8.95±0.65 ^b	8.18±0.14 ^a
粗灰分 crude ash	4.47±0.13	4.43±0.03	4.55±0.12	4.50±0.20	4.54±0.15	4.66±0.15
肌肉 muscle						
水分 moisture	74.09±0.52	74.25±0.10	74.38±0.53	74.18±0.50	74.42±0.02	74.31±0.19
粗蛋白 crude protein	21.72±0.16 ^{abc}	21.66±0.10 ^{ab}	21.50±0.07 ^a	21.71±0.19 ^{abc}	21.98±0.16 ^{bc}	21.89±0.21 ^{bc}
粗脂肪 crude lipid	3.70±0.04 ^b	3.66±0.03 ^b	3.82±0.11 ^c	3.73±0.10 ^{bc}	3.35±0.04 ^a	3.31±0.03 ^a
粗灰分 crude ash	1.37±0.01 ^{ab}	1.37±0.01 ^{ab}	1.33±0.01 ^a	1.40±0.06 ^b	1.39±0.01 ^b	1.34±0.01 ^a
肝脏 liver						
水分 moisture	47.41±0.53 ^b	47.91±0.57 ^b	46.21±0.10 ^a	47.46±0.36 ^b	47.93±0.86 ^b	47.93±0.25 ^b
粗蛋白 crude protein	9.55±0.08 ^a	10.06±0.02 ^c	10.34±0.05 ^c	10.21±0.01 ^d	9.83±0.01 ^b	9.77±0.03 ^b
粗脂肪 crude lipid	31.42±0.03 ^c	28.15±0.25 ^a	29.88±0.01 ^b	31.32±0.01 ^c	31.62±0.07 ^d	31.76±0.02 ^d
粗灰分 crude ash	1.19±0.02	1.20±0.03	1.21±0.06	1.22±0.08	1.24±0.03	1.22±0.01

2.3 n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼组织脂肪酸的影响

随着n-3/n-6 HUFA的变化, C16:0、C20:0、C18:1n-7、C20:1n-7、C22:1n-9和EPA/DHA均无显著差异($P>0.05$); C14:0、 Σ SFA、C16:1n-7、C18:1n-9、 Σ MUFA、C20:2n-6、EPA、DHA和n-3/n-6 HUFA均呈下降的趋势($P<0.05$), 后三组EPA含量显著小于前三组($P<0.05$), D5、D6组DHA、n-3/n-6 HUFA显著低于其他各组($P<0.05$); C18:0、C18:2n-6、ARA和 Σ PUFA均呈上升的趋势在D6组达到最大值且显著大于其他各组($P<0.05$)(表5)。

随着n-3/n-6 HUFA的变化, C16:0、C18:0、C20:0、 Σ SFA、C20:1n-7、EPA/DHA均无显著差异($P>0.05$); C14:0、C16:1n-7、C18:1n-9、C18:1n-7、C22:1n-9、 Σ MUFA、C18:3n-3、C20:2n-6和n-3/n-6 HUFA均呈显著下降的趋势, 在D6组达到最小值且显著小于其他各组($P<0.05$); C18:2n-6、ARA、 Σ PUFA均呈上升的趋势在D6组达到最大值且显著大于其他各组($P<0.05$)。EPA、DHA含量呈先上升后下降的趋势, D2组显著大于其他各组($P<0.05$)(表6)。

随着n-3/n-6 HUFA的变化, C14:0、C16:0、C18:0、C20:0、C16:1n-7、C18:1n-7和EPA/DHA均无显著差异($P>0.05$); C20:1n-7、C22:1n-9、C18:2n-6、C18:3n-3、C20:2n-6、EPA、DHA和 Σ PUFA呈先上升后下降的趋势, D2组显著大于其他各组($P<0.05$); C18:1n-9含量呈先下降后上升的趋势, D2组显著小于其他各组($P<0.05$); ARA含量呈上升趋势, D6组达到最大值且显著大于其他各组($P<0.05$); Σ MUFA、n-3/n-6 HUFA呈下降趋势, D6组达到最小值且显著小于其他各组($P<0.05$)(表7)。

随着n-3/n-6 HUFA的变化, C16:0、C20:0和EPA/DHA均无显著差异($P>0.05$); C14:0、C16:1n-7、C20:1n-7、C22:1n-9、 Σ MUFA、C20:2n-6、EPA、DHA和n-3/n-6 HUFA均呈下降的趋势($P<0.05$), 在D6组达到最小值; C18:0、C18:2n-6、ARA和 Σ PUFA均呈上升的趋势($P<0.05$), 在D6组达到最大值(表8)。

许氏平鲈幼鱼各组织脂肪酸种类一致, 但其相对含量存在差异。全鱼、肌肉和腹脂中单不饱和脂肪酸(MUFA)含量最高, 多不饱和和脂肪

表 5 n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼全鱼脂肪酸组成的影响(%总脂肪酸)

Tab. 5 Effects of dietary n-3/n-6 HUFA ratios on fatty acid composition of whole fish in juvenile *S. schlegelii*

脂肪酸 fatty acid	组别 diets					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
C14:0	3.63±0.01 ^d	3.54±0.09 ^c	3.53±0.05 ^c	3.40±0.05 ^b	3.37±0.01 ^b	3.20±0.05 ^a
C16:0	18.67±0.49	18.60±0.58	18.25±0.45	18.16±0.64	18.03±0.48	17.51±0.48
C18:0	3.53±0.12 ^a	3.49±0.10 ^a	3.61±0.12 ^a	3.80±0.10 ^b	3.93±0.06 ^b	4.10±0.02 ^c
C20:0	0.28±0.01	0.27±0.01	0.28±0.01	0.28±0.01	0.29±0.02	0.29±0.01
ΣSFA	26.32±0.17 ^c	26.00±0.43 ^{bc}	25.77±0.27 ^b	25.63±0.31 ^b	25.59±0.11 ^b	24.60±0.13 ^a
C16:1n-7	7.50±0.45 ^b	7.25±0.40 ^b	7.25±0.34 ^b	7.17±0.43 ^b	6.52±0.25 ^{ab}	5.73±0.26 ^a
C18:1n-9	22.25±0.68 ^{bc}	22.61±1.11 ^c	22.18±1.03 ^{bc}	22.99±0.53 ^c	20.87±0.80 ^{ab}	19.87±0.64 ^a
C18:1n-7	4.06±0.04	3.82±0.18	3.90±0.03	3.86±0.10	3.87±0.06	3.76±0.06
C20:1n-7	3.08±0.33	3.08±0.02	3.18±0.10	2.83±0.01	2.82±0.20	2.97±0.08
C22:1n-9	2.60±0.04	2.48±0.05	2.57±0.09	2.44±0.08	2.42±0.14	2.36±0.04
ΣMUFA	39.83±0.94 ^c	39.64±1.78 ^c	39.08±1.22 ^c	39.13±1.14 ^c	34.86±0.43 ^b	32.19±1.30 ^a
C18:2n-6	7.76±0.11 ^a	7.94±0.20 ^{ab}	8.06±0.07 ^b	8.32±0.03 ^c	9.57±0.18 ^d	10.17±0.03 ^c
C18:3n-3	1.36±0.01 ^{ab}	1.40±0.10 ^{ab}	1.41±0.07 ^{ab}	1.36±0.02 ^a	1.45±0.04 ^b	1.46±0.01 ^b
C20:2n-6	1.12±0.03 ^b	1.09±0.02 ^b	1.11±0.03 ^b	0.98±0.04 ^a	0.98±0.01 ^a	0.99±0.01 ^a
ARA	1.00±0.03 ^a	1.41±0.08 ^b	2.17±0.02 ^c	3.63±0.10 ^d	4.63±0.32 ^e	6.01±0.20 ^f
EPA	6.01±0.14 ^b	5.84±0.06 ^b	5.89±0.01 ^b	5.56±0.10 ^a	5.51±0.01 ^a	5.55±0.01 ^a
DHA	8.92±0.39 ^e	8.62±0.22 ^{bc}	8.65±0.09 ^{bc}	8.65±0.01 ^{bc}	8.02±0.02 ^a	8.16±0.01 ^a
ΣPUFA	25.49±0.94 ^a	26.36±2.02 ^a	26.90±0.87 ^a	26.72±1.19 ^a	29.63±0.37 ^b	32.26±0.43 ^c
EPA/DHA	0.67±0.01	0.68±0.01	0.68±0.01	0.64±0.01	0.69±0.01	0.69±0.01
n-3/n-6 HUFA	13.80±0.32 ^c	9.67±0.67 ^d	6.36±0.11 ^c	3.76±0.011 ^b	2.71±0.06 ^a	2.21±0.07 ^a

酸(PUFA)次之,饱和脂肪酸(SFA)含量最低,这与肝脏中的脂肪酸含量不一致,肝脏中是MUFA>SFA>PUFA。随着n-3/n-6 HUFA的下降,全鱼、肌肉和腹脂中的PUFA均呈上升的趋势。而随着n-3/n-6 HUFA的下降,全鱼、肌肉和腹脂中的MUFA均呈下降的趋势。饲料中C16:0的含量最高,C18:1n-9次之;在许氏平鲈幼鱼4个组织中的脂肪酸正好相反,C18:1n-9的含量最高,C16:0次之。除这两种脂肪酸以外,C16:1n-7、C18:2n-6、ARA、EPA、DHA含量较高。随着饲料中n-3/n-6 HUFA的降低,ARA含量在4个组织中均呈上升的趋势($P<0.05$)。EPA、DHA含量在全鱼和腹脂中呈下降的趋势,在D6组达到最小值且显著小于其他各组($P<0.05$),在肌肉和肝脏呈先上升后下降的趋势,在D2组达到最大值且显著大于其他各组($P<0.05$)。随着饲料中n-3/n-6

HUFA的降低,n-3/n-6 HUFA在4个组织中显著下降($P<0.05$)。

2.4 脂肪酸的相关性

随着饲料中n-3/n-6 HUFA的下降,组织脂肪酸与饲料中对应脂肪酸多数呈正相关,只有C18:1n-7在4个组织中均呈负相关;以显著相关的个数来衡量组织脂肪酸与饲料脂肪酸的相关性,且腹脂>肌肉>全鱼>肝脏(表9)。但不同脂肪酸的组织相关性倾向略有不同,C16:0、C18:2n-6只在肝脏中无显著相关($P>0.05$),C18:1n-9只在全鱼中有显著相关($P<0.05$),EPA在肌肉和腹脂中均呈极显著相关($P<0.01$);DHA在腹脂中呈极显著相关($P<0.01$);ARA和n-3/n-6 HUFA在4个组织中均呈极显著相关($P<0.01$)。

组织中ARA含量与饲料中ARA含量均呈极

表6 n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼肌肉脂肪酸组成的影响(%总脂肪酸)

Tab. 6 Effects of dietary n-3/n-6 HUFA ratios on fatty acid composition of muscle in juvenile *S.schlegelii*

脂肪酸 fatty acid	组别 diets					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
C14:0	3.34±0.02 ^d	3.08±0.01 ^c	3.07±0.01 ^c	2.95±0.03 ^b	2.94±0.01 ^b	2.71±0.02 ^a
C16:0	18.72±0.40	18.53±0.42	18.44±0.37	18.06±0.38	18.13±0.37	18.07±0.36
C18:0	3.41±0.17	3.45±0.18	3.45±0.21	3.58±0.31	3.72±0.45	3.82±0.21
C20:0	0.24±0.03	0.25±0.03	0.24±0.02	0.26±0.03	0.26±0.03	0.28±0.03
ΣSFA	25.71±0.26	25.31±0.60	25.20±0.59	24.85±0.71	25.06±0.87	24.88±0.59
C16:1n-7	7.35±0.03 ^f	6.80±0.04 ^e	6.58±0.01 ^d	6.33±0.01 ^c	6.05±0.01 ^b	5.73±0.02 ^a
C18:1n-9	21.86±0.08 ^d	20.63±0.12 ^c	20.29±0.07 ^b	20.31±0.03 ^b	20.33±0.02 ^b	19.47±0.03 ^a
C18:1n-7	4.05±0.01 ^c	3.86±0.05 ^d	3.80±0.04 ^c	3.71±0.02 ^b	3.67±0.01 ^b	3.57±0.01 ^a
C20:1n-7	2.20±0.07	2.11±0.12	2.04±0.10	2.00±0.11	1.98±0.22	1.97±0.20
C22:1n-9	2.46±0.10 ^c	2.34±0.19 ^{bc}	2.26±0.19 ^{abc}	2.23±0.21 ^{abc}	2.14±0.10 ^{ab}	2.01±0.11 ^a
ΣMUFA	37.91±0.24 ^e	35.73±0.36 ^d	34.97±0.27 ^c	34.57±0.34 ^{bc}	34.17±0.11 ^b	32.76±0.16 ^a
C18:2n-6	7.26±0.09 ^a	7.30±0.16 ^a	7.58±0.10 ^b	7.84±0.10 ^c	8.02±0.09 ^c	7.99±0.11 ^c
C18:3n-3	1.26±0.02 ^b	1.22±0.04 ^b	1.21±0.01 ^b	1.24±0.04 ^b	1.21±0.10 ^b	1.12±0.01 ^a
C20:2n-6	1.06±0.01 ^f	1.03±0.01 ^c	1.01±0.01 ^d	0.96±0.01 ^c	0.92±0.01 ^b	0.80±0.01 ^a
ARA	1.15±0.02 ^a	1.74±0.01 ^b	2.52±0.01 ^c	4.08±0.01 ^d	5.41±0.01 ^e	7.11±0.01 ^f
EPA	6.44±0.05 ^d	6.52±0.03 ^c	6.45±0.03 ^d	6.12±0.06 ^c	5.86±0.01 ^b	5.43±0.02 ^a
DHA	11.79±0.12 ^c	12.58±0.04 ^e	12.38±0.04 ^d	11.74±0.05 ^c	11.55±0.01 ^b	11.20±0.02 ^a
ΣPUFA	28.17±0.17 ^a	29.67±0.18 ^b	30.47±0.17 ^c	31.46±0.10 ^d	32.59±0.24 ^e	33.48±0.09 ^f
EPA/DHA	0.55±0.02	0.52±0.03	0.52±0.02	0.52±0.01	0.51±0.01	0.49±0.04
n-3/n-6 HUFA	15.82±0.23 ^f	10.97±0.09 ^c	7.46±0.01 ^d	4.38±0.02 ^c	3.22±0.04 ^b	2.34±0.01 ^a

显著正相关($P<0.01$), 与饲料中EPA和DHA含量呈负相关; 组织中EPA和DHA含量与饲料中ARA含量呈极显著负相关($P<0.01$), 与饲料中EPA和DHA含量呈正相关(表10)。

3 讨论

3.1 n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼生长性能及形体指标的影响

本实验中, 许氏平鲈幼鱼SR不受n-3/n-6 HUFA的影响, 与在大西洋鲑^[11]、欧洲舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[11]中的研究结果相一致。本实验中, 饲料中适宜的n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼的WGR、SGR和PER含量均能产生一定的促进作用, 表明许氏平鲈幼鱼需要适宜的n-3/n-6 HUFA来维持机体的生长和生理功能。实验配方的

EPA、DHA含量参考之前在许氏平鲈幼鱼上的研究, 并且未发现EFA(EPA、DHA)过量而产生的明显负面影响^[12]。本实验发现饲料中n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼生长的影响呈剂量反应, 适宜比例(5.66~9.26)的n-3/n-6 HUFA可使许氏平鲈幼鱼获得最佳的生长性能, 而n-3/n-6 HUFA过高或过低都会使许氏平鲈幼鱼的生长受到影响。产生这种抑制的原因: ①适宜的ARA会显著促进幼鱼的生长, 当ARA含量过低时, 对鱼体的促生长效果不明显; ②当ARA含量过高时, 会抑制鱼体内EPA的生物转化, 且饲料中不平衡的EPA和DHA也会影响其正常生长^[6]; ③ARA可以改变其衍生物前列腺素E2和E2a的比例, E2可以抑制肌肉纤维的生成, 并能降解肌肉, 而E2a则具有和E2完全相反的功能^[13]; ④过量的ARA会使鱼类免疫反应失衡, 导致鱼长期处于

表 7 n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼肝脏脂肪酸组成的影响(%总脂肪酸)

Tab. 7 Effects of dietary n-3/n-6 HUFA ratios on fatty acid composition of liver in juvenile *S.schlegelii*

脂肪酸 fatty acid	组别 diets					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
C14:0	2.79±0.12	2.62±0.21	2.82±0.11	2.93±0.20	2.61±0.20	2.89±0.20
C16:0	20.45±0.85	20.47±0.50	20.56±0.31	21.39±0.36	20.82±0.40	20.71±0.51
C18:0	4.04±0.25	3.94±0.16	3.98±0.21	4.21±0.20	4.30±0.11	4.30±0.21
C20:0	0.16±0.01	0.17±0.01	0.16±0.02	0.17±0.02	0.18±0.02	0.17±0.01
ΣSFA	27.45±0.68 ^a	27.21±0.45 ^a	27.52±0.44 ^a	28.71±0.37 ^b	27.91±0.30 ^{ab}	28.07±0.20 ^{ab}
C16:1n-7	13.09±0.23	13.03±0.11	13.12±0.25	13.12±0.10	12.87±0.23	12.96±0.12
C18:1n-9	41.68±0.19 ^c	38.92±0.78 ^a	40.33±0.22 ^b	40.76±0.16 ^b	40.47±0.22 ^b	40.48±0.22 ^b
C18:1n-7	4.31±0.19	4.30±0.12	4.39±0.18	4.31±0.18	4.26±0.12	4.33±0.20
C20:1n-7	1.31±0.11 ^b	1.51±0.10 ^c	1.32±0.10 ^b	1.13±0.10 ^a	1.09±0.03 ^a	1.11±0.11 ^a
C22:1n-9	0.95±0.03 ^b	1.38±0.03 ^c	0.95±0.03 ^b	0.81±0.03 ^a	0.78±0.01 ^a	0.77±0.03 ^a
ΣMUFA	61.34±0.40 ^d	60.35±0.32 ^{ac}	59.94±0.13 ^{bc}	59.61±0.18 ^{ab}	59.29±0.21 ^a	59.39±0.05 ^a
C18:2n-6	1.86±0.10 ^a	3.21±0.10 ^c	2.35±0.10 ^b	2.30±0.08 ^b	2.28±0.08 ^b	2.26±0.10 ^b
C18:3n-3	0.41±0.01 ^b	0.59±0.01 ^d	0.45±0.01 ^c	0.37±0.02 ^a	0.39±0.03 ^{ab}	0.39±0.02 ^{ab}
C20:2n-6	0.21±0.01 ^b	0.27±0.01 ^d	0.24±0.01 ^c	0.19±0.01 ^a	0.18±0.01 ^a	0.17±0.01 ^a
ARA	0.41±0.01 ^a	0.71±0.01 ^b	0.87±0.02 ^c	1.56±0.01 ^d	1.83±0.01 ^c	2.16±0.01 ^f
EPA	1.56±0.10 ^c	2.00±0.05 ^c	1.88±0.05 ^d	1.47±0.10 ^c	1.27±0.03 ^b	1.11±0.03 ^a
DHA	2.05±0.01 ^c	2.40±0.01 ^f	2.30±0.04 ^d	1.85±0.10 ^c	1.73±0.03 ^b	1.32±0.02 ^a
ΣPUFA	6.41±0.19 ^a	9.10±0.01 ^d	8.04±0.15 ^c	7.75±0.14 ^b	7.80±0.07 ^b	7.56±0.14 ^b
EPA/DHA	0.76±0.01	0.82±0.01	0.81±0.01	0.75±0.01	0.77±0.02	0.82±0.01
n-3/n-6 HUFA	8.78±0.25 ^f	6.20±0.08 ^c	3.92±0.16 ^d	2.35±0.02 ^c	1.33±0.01 ^b	1.18±0.01 ^a

应激状态,从而抑制鱼的生长^[14]。各组之间DFI无显著性差异,FCR呈先下降后上升的趋势,D2、D3组显著低于D5、D6组,这和鲈(*Lateolabrax japonicus*)^[15]的研究结果类似,表明适量调节饲料中n-3/n-6 HUFA有利于饲料利用及实验鱼的生长。

本实验中,随着n-3/n-6 HUFA的降低,许氏平鲈幼鱼的CF、VSI和HSI均无显著性差异,这类似于鲈^[15]中得到的结果,表明n-3/n-6 HUFA的变化不会对许氏平鲈幼鱼的形体和内脏发育产生影响。本实验中未出现“脂肪肝”现象,一方面可能与饲料中含有大量PUFA(总脂肪酸占比31%~38%)有关,PUFA是FAS mRNA的强抑制剂^[16],真鲷(*Pagrus major*)饲料中添加不饱和脂肪酸,能促进肝脂蛋白脂酶(LPL)mRNA表达,从而减少肝脏脂肪沉积^[17];另一方面也可能与饲料中的氯

化胆碱、甜菜碱和卵磷脂等“抗脂肪肝”因子有关,可以促进脂肪酸的β-氧化,增加极低密度脂蛋白的合成,从而能够加速脂类分解或及时把肝内脂肪运出,减少脂肪沉积、预防脂肪肝^[18]。

3.2 饲料n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼体组成的影响

在本实验中,n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼全鱼和肌肉水分无显著影响,与大西洋鲑^[1]中得到的结果相似,表明脂肪总量一定时,改变脂肪源的比例对全鱼和肌肉水分无显著影响。全鱼和肌肉中的粗蛋白含量呈先下降后上升趋势,和金头鲷(*Sparus aurata*)^[6]幼鱼上的研究结果一致,对于肉食性鱼类来说,脂质是比碳水化合物更重要的能量来源,同时它还具有节约蛋白质的作用^[9],这可能是本实验中粗脂肪与粗蛋

表 8 n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼腹脂的脂肪酸组成的影响(%总脂肪酸)

Tab. 8 Effects of dietary n-3/n-6 HUFA ratios on fatty acid composition of visceral fat in juvenile *S. schlegelii*

脂肪酸 fatty acid	组别 diets					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
C14:0	4.08±0.04 ^d	4.10±0.04 ^d	3.92±0.06 ^e	3.67±0.02 ^b	3.56±0.05 ^a	3.50±0.02 ^a
C16:0	16.93±0.36	16.88±0.36	16.70±0.19	16.51±0.13	16.53±0.20	16.61±0.20
C18:0	2.92±0.12 ^a	3.17±0.06 ^b	3.14±0.05 ^b	3.11±0.06 ^b	3.36±0.01 ^c	3.56±0.01 ^d
C20:0	0.29±0.01	0.30±0.02	0.28±0.01	0.28±0.01	0.28±0.01	0.29±0.01
ΣSFA	24.22±0.51 ^{bc}	24.45±0.39 ^c	24.04±0.18 ^{abc}	23.57±0.16 ^a	23.73±0.18 ^{ab}	23.96±0.18 ^{abc}
C16:1n-7	7.65±0.10 ^d	7.64±0.05 ^d	7.28±0.06 ^e	7.34±0.12 ^c	6.94±0.14 ^b	6.45±0.02 ^a
C18:1n-9	19.67±0.18 ^a	19.73±0.23 ^a	20.12±0.38 ^{ab}	20.55±0.45 ^b	20.44±0.27 ^b	19.70±0.25 ^a
C18:1n-7	4.13±0.10 ^{ab}	4.25±0.25 ^b	4.15±0.02 ^b	4.07±0.11 ^{ab}	4.10±0.14 ^{ab}	3.88±0.05 ^a
C20:1n-7	3.71±0.12 ^c	3.56±0.31 ^c	3.09±0.10 ^{ab}	2.95±0.13 ^{ab}	2.64±0.29 ^a	2.63±0.33 ^a
C22:1n-9	3.43±0.12 ^c	3.48±0.09 ^c	3.15±0.18 ^b	2.85±0.11 ^a	2.74±0.04 ^a	2.75±0.08 ^a
ΣMUFA	38.60±0.26 ^d	38.65±0.13 ^d	37.79±0.06 ^c	37.76±0.17 ^c	36.86±0.48 ^b	35.4±0.18 ^a
C18:2n-6	7.65±0.19 ^a	7.48±0.05 ^a	8.81±0.89 ^b	8.80±0.44 ^b	8.98±0.43 ^c	9.23±0.72 ^c
C18:3n-3	1.68±0.10 ^{ab}	1.60±0.06 ^a	1.74±0.05 ^b	1.60±0.07 ^a	1.58±0.07 ^a	1.62±0.04 ^{ab}
C20:2n-6	1.95±0.04 ^c	1.81±0.11 ^d	1.47±0.04 ^c	1.35±0.03 ^b	1.25±0.04 ^a	1.17±0.02 ^a
ARA	1.12±0.08 ^a	1.63±0.02 ^b	2.26±0.09 ^c	4.19±0.27 ^d	5.76±0.24 ^c	7.20±0.60 ^f
EPA	7.38±0.07 ^c	7.34±0.11 ^c	7.00±0.19 ^d	6.64±0.06 ^c	6.26±0.11 ^b	5.90±0.04 ^a
DHA	9.65±0.31 ^c	9.49±0.23 ^c	8.80±0.50 ^b	8.56±0.35 ^b	7.84±0.21 ^a	7.47±0.11 ^a
ΣPUFA	27.84±0.81 ^a	27.33±0.12 ^a	28.98±0.16 ^b	29.96±0.10 ^c	30.51±0.51 ^d	32.18±0.04 ^e
EPA/DHA	0.76±0.04	0.77±0.02	0.80±0.04	0.78±0.03	0.79±0.02	0.79±0.03
n-3/n-6 HUFA	14.52±0.72 ^f	9.79±0.13 ^c	6.60±0.03 ^d	3.41±0.14 ^c	2.37±0.10 ^b	1.81±0.13 ^a

白含量趋势相反的原因。全鱼和肌肉中的粗脂肪含量均是呈先上升后下降趋势, 全鱼中D2组最高, 肌肉中D3组最高, 都显著高于D5和D6组, 表明适量的n-3/n-6 HUFA可以提高全鱼和肌肉中粗脂肪含量, 但过多则会导致粗脂肪显著降低。肌肉粗脂肪含量的变化与大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)幼鱼中^[10]的结果一致, 当n-3/n-6 HUFA为5.66时, 肌肉中粗脂肪含量最高, 表明适量的ARA能够促进肌肉粗脂肪的沉积。全鱼粗脂肪含量的变化与鲈^[15]中得到的结果相反, 造成该差异的原因可能与实验鱼品种、体型大小和研究方法差异等有关。ARA可以通过调控apoB100分子的分泌来抑制VLDL的组装, 从而调控脂肪转运进而影响脂肪的沉积^[19]。肝脏粗蛋白呈先上升后下降的趋势且在D3组达到最大值, 说明适宜的n-3/n-6 HUFA有利于肝脏蛋白

质的储存。肝脏中的粗脂肪呈先下降后上升趋势, D2组显著低于其余各组, 且D1组粗脂肪含量也较高。在珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*♀×*E. lanceolatus*♂)幼鱼^[20]和金头鲷^[6]幼鱼的研究中也得到类似结果。随着ARA含量的增加, 鲈肝脏氧化相关基因(PPAR-α和CPT-1)表达水平呈先上升下降的趋势, 进而影响粗脂肪的沉积^[14]。D1组粗脂肪含量也较高, 可能是因为对照组ARA含量过低, 激活氧化相关基因的能力太弱, 使得其表达水平过低, 从而抑制了脂肪的氧化, 加大脂肪沉积, 本实验具体调控机制有待进一步研究。

3.3 n-3/n-6 HUFA对许氏平鲈幼鱼组织脂肪酸的影响

根据各组织脂肪酸的沉积量, 得到C16:0、

表 9 饲料脂肪酸与组织脂肪酸的相关性分析结果

Tab. 9 Correlation analysis results of fatty acids in feed and the corresponding fatty acids in tissues

脂肪酸 fatty acid	组织 tissue			
	全鱼	肌肉	肝脏	腹脂
C14:0	0.960**	0.902*	-0.287	0.984**
C16:0	0.935**	0.906*	-0.670	0.846*
C18:0	0.983**	0.993**	0.885*	0.868*
C20:0	0.794	0.808	0.542	0.184
C16:1n-7	0.926**	0.944**	0.643	0.961**
C18:1n-9	0.862*	0.736	-0.099	-0.228
C18:1n-7	-0.675	-0.804	-0.183	-0.730
C20:1n-7	0.702	0.857*	0.829*	0.938**
C22:1n-9	0.917**	0.963**	0.681	0.932**
C18:2n-6	0.936**	0.959**	-0.324	0.896*
C18:3n-3	-0.714	0.808	0.533	0.445
C20:2n-6	0.913*	0.931*	0.827*	0.885*
ARA	0.998**	0.999**	0.982**	0.999**
EPA	0.798	0.979**	0.789	0.993**
DHA	0.638	0.784	0.798	0.978**
EPA/DHA	0.621	-0.732	0.380	0.439
n-3/n-6 HUFA	0.999**	0.999**	0.998**	0.999**

注: *表示在0.05水平(双侧)上显著相关, **表示在0.01水平(双侧)上极显著相关,下同

Notes: * represented significant correlation at the 0.05 level (bilateral), ** represented extremely significant correlation at the 0.05 level (bilateral), the same below

表 10 饲料与组织中重要HUFA的相关性分析结果

Tab. 10 Correlation analysis results of important HUFA in feed and tissue

项目 items	脂肪酸 fatty acid			
	ARA	EPA	DHA	
ARA	全鱼 whole fish	0.998**	-0.858*	-0.880*
	肌肉 muscle	0.999**	-0.973**	-0.797
	肝脏 liver	0.982**	-0.812*	-0.887*
	腹脂 abdominal fat	0.999**	-0.997**	-0.984**
EPA	全鱼 whole fish	-0.998**	0.798	0.866*
	肌肉 muscle	-0.999**	0.979**	0.792
	肝脏 liver	-0.974**	0.789	0.870*
	腹脂 abdominal fat	-0.998**	0.978**	0.976**
DHA	全鱼 whole fish	-0.996**	0.849*	0.638
	肌肉 muscle	-0.999**	0.976**	0.784
	肝脏 liver	-0.981**	0.780	0.798
	腹脂 abdominal fat	-0.998**	0.992**	0.978**

C18:1n-9、C18:2n-6、ARA、EPA和DHA等是许氏平鲈中主要的脂肪酸。鱼体各组织中普遍存在大量C16:0, 说明它是一种基础的脂肪酸, 能为机体提供能量并转化为其它脂肪酸^[21]。在4个组织中C18:1n-9都是含量最高的, 其在幼鱼发育过程中可能会被有选择性的分解代谢, 并且能够和C16:0、n-3 HUFA结合到磷脂膜上^[22]。同其他海水鱼相似, 许氏平鲈幼鱼所有组织缺乏将C18:1n-9转化为C20:2n-9和C22:1n-9的能力, 从表5-8中可以发现, 尽管C18:1n-9含量最高, 但C20:2n-9和C22:1n-9含量低微。本实验4个组织中MUFA含量均高于饲料中, 而PUFA含量均低于饲料中, 这与谭青等^[18]结果相反, 造成该差异的原因最可能是不同的实验鱼品种、养殖环境和研究方法差异。以往的研究表明, 鱼类更倾向于利用SFA、MUFA作为能量, 而把PUFA作为功能性物质存储在体内^[23]。随着n-3/n-6 HUFA的下降, PUFA逐渐增加, MUFA逐渐减少, 到D6组时, 全鱼、肌肉、腹脂中的PUFA已经和MUFA持平, 此时可能再降低n-3/n-6 HUFA, PUFA会持续增加。随着n-3/n-6 HUFA的下降, 许氏平鲈幼鱼各组织中ARA含量相应的增加, 这与鲈^[24]中的研究结果类似。全鱼和腹脂中EPA、DHA含量呈下降的趋势, 肌肉和肝脏中呈先上升后下降的趋势, 在D2组达到最大值且显著大于其余各组, 说明适宜的n-3/n-6 HUFA有利于各组织EPA、DHA的沉积。组织中EPA/DHA均无显著差异, 但是全鱼和肌肉中EPA/DHA的比值小于饲料中, 这表明DHA优先EPA被保存, 与Lee等^[11]在许氏平鲈上的研究结果一致, 尤其在肌肉中这种情况更明显, 可能存在EPA转化为DHA的反应^[25]。

鱼体不同组织对脂肪酸的沉积存在差异, 本实验中, 肝脏对C16:0、C18:1n-9等SFA、MUFA的沉积能力显著强于其他组织, 鱼类组织中SFA和MUFA的含量与组织脂肪含量密切正相关^[26], 在珍珠龙胆石斑鱼^[20]上的研究也表明肝脏倾向于保留MUFA。组织间差异最小的是SFA且组织中的量少于饲料中, 说明饲料中SFA已满足许氏平鲈正常生长需要。C18:2n-6、C18:3n-3主要用来进行 β 氧化供能^[27], 腹脂对C18:2n-6、C18:3n-3的沉积能力高于肌肉, 表明在鱼体正常生命活动中, 相比于腹脂, 鱼体更容易调动肌肉来供能。腹脂对C18:2n-6、C18:3n-3、ARA、

EPA和DHA的沉积能力都很强, 这与大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)^[26]上的研究结果一致。肌肉对DHA存在优先沉积的现象^[28], 在本实验中验证了这个结论, 这可能与DHA在肌肉相关的生理活动(游泳和捕食)中的重要性有关^[29]。肝脏EPA、DHA沉积量最低, 可能是因为对C18:1n-9的选择性沉积造成的^[30]。

3.4 脂肪酸的相关性

相关性分析是研究两相关变量联系程度的统计方法, 其分析结果用相关系数 r 来表示。当 $r>0$ 时, 表示两变量呈正相关; 当 $r<0$ 时, 表示两变量呈负相关。 $|r|$ 越接近于1, 表明两变量关系越密切。本实验中, 随着饲料中n-3/n-6 HUFA的下降, 绝大多数组织脂肪酸都与饲料中对应脂肪酸有显著相关性, 验证了Fountoulaki等^[6]的鱼类组织的脂肪酸组成通常反映了膳食脂肪酸的组成。本实验组织脂肪酸受饲料影响程度和团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[31]中的研究结果相似, 饲料脂肪酸组成对腹脂、肌肉和全鱼的脂肪酸组成影响较大, 而对肝脏的脂肪酸组成影响相对较小。不同组织脂肪酸组成存在差异, 这和组织器官的生理生化功能以及代谢等有关。腹脂是鱼体脂肪酸转化最高效的部位, 受饲料中脂肪酸的影响最大, 本实验中腹脂与饲料中相关性也最大。肌肉是机体完成各项动作的基础, 其受饲料中脂肪酸的影响也较大, 在鲈^[32]中也报道过类似结果。肝脏是鱼类脂质代谢的主要场所, 对多数脂肪酸具有很强的选择性保护作用, 故其脂肪酸组成相对保守, 受饲料中脂肪酸的影响较小^[31], 这在本实验中得到充分体现, 随着饲料中n-3/n-6 HUFA的下降, 肝脏中只有极少数脂肪酸与饲料中呈显著相关。随着饲料中n-3/n-6 HUFA的下降, 组织中的PUFA与饲料中的C18:2n-6和C18:3n-3均无显著相关性, 验证了C18:2n-6和C18:3n-3是海水鱼的非必需脂肪酸(NEFA)这一结论。有研究表明, 肌肉和肝脏ARA含量与饲料中ARA含量呈正相关^[33-34], 本实验中各组织与饲料均呈极显著正相关, 表明鱼类组织ARA的沉积和饲料中ARA密切相关, 间接证明了其是海水鱼的EFA。组织中EPA含量与饲料中ARA含量呈显著负相关与鲈上的研究结果一致^[24], 这可能是因为EPA和ARA之间的竞争性相互作用^[33], 主要表现在对环氧化酶和脂

氧合酶的结合上, 而ARA对该结合位点具有更高的亲和力, 因此能抑制EPA在机体中的沉积反应^[35]。肌肉和腹脂DHA与饲料中EPA呈极显著正相关, 可能是因为DHA能和环氧化酶结合并抑制其活性, 降低了环氧化酶代谢EPA的能力^[36]。

4 结论

在本实验条件下, 饲料中适宜比例(5.66~9.26)的n-3/n-6 HUFA显著提高许氏平鲈幼鱼的生长, 改变了体组成及组织脂肪酸组成, 以增重率和饲料系数作评价指标, 经一元二次回归分析得出许氏平鲈幼鱼饲料中n-3/n-6 HUFA的适宜比例分别是8.93和8.70。

参考文献:

- [1] Menoyo D, Lopez-Bote C J, Diez A, *et al.* Impact of n-3 fatty acid chain length and n-3/n-6 ratio in Atlantic salmon (*Salmo salar*) diets[J]. *Aquaculture*, 2007, 267(1-4): 248-259.
- [2] Jump D B. Fatty acid regulation of gene transcription[J]. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 2004, 41(1): 41-78.
- [3] Zakeri M, Kochanian P, Marammazi J G, *et al.* Effects of dietary n-3 HUFA concentrations on spawning performance and fatty acids composition of broodstock, eggs and larvae in yellowfin sea bream, *Acanthopagrus latus*[J]. *Aquaculture*, 2011, 310(3-4): 388-394.
- [4] Tocher D R, Bell J G, Dick J R, *et al.* Fatty acyl desaturation in isolated hepatocytes from Atlantic salmon (*Salmo salar*): stimulation by dietary borage oil containing γ -inolenic acid[J]. *Lipids*, 1997, 32(12): 1237-1247.
- [5] Ruyter B, RØsjø C, Einen O, *et al.* Essential fatty acids in Atlantic salmon: Time course of changes in fatty acid composition of liver, blood and carcass induced by a diet deficient in n-3 and n-6 fatty acids[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2000, 6(2): 109-117.
- [6] Fountoulaki E, Alexis M N, Nengas I, *et al.* Effects of dietary arachidonic acid (20:4n-6), on growth, body composition, and tissue fatty acid profile of gilthead bream fingerlings (*Sparus aurata* L.)[J]. *Aquaculture*, 2003, 225(1-4): 309-323.
- [7] Yuan Y H, Li S L, Mai K S, *et al.* The effect of dietary arachidonic acid (ARA) on growth performance, fatty acid composition and expression of ARA metabolism-related genes in larval half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*)[J]. *British Journal of Nutrition*, 2015, 113(10): 1518-1530.
- [8] Thompson K D, Tatner M F, Henderson R J. Effects of dietary (n-3) and (n-6) polyunsaturated fatty acid ratio on the immune response of Atlantic salmon, *Salmo salar* L[J]. *Aquaculture Nutrition*, 1996, 2(1): 21-31.
- [9] Lee S M. Review of the lipid and essential fatty acid requirements of rockfish (*Sebastes schlegeli*)[J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32(S1): 8-17.
- [10] 谭青, 王际英, 李宝山, 等. n-3/n-6 HUFA对大菱鲆幼鱼生长性能、全鱼脂肪酸组成和血清生化指标的影响[J]. *水产学报*, 2018, 42(5): 754-765.
- Tan Q, Wang J Y, Li B S, *et al.* Effect of dietary n-3/n-6 HUFA on growth performance, fatty acid composition of whole fish and serum biochemical indices in turbot (*Scophthalmus maximus*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(5): 754-765(in Chinese).
- [11] Eroldoğan T O, Yılmaz A H, Turchini G M, *et al.* Fatty acid metabolism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Effects of n-6 PUFA and MUFA in fish oil replaced diets[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2013, 39(4): 941-955.
- [12] Lee S M, Lee J Y, Hur S B. Essentiality of dietary eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in Korean Rockfish, *Sebastes schlegeli*[J]. *Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish*, 1994, 27(6): 721-726.
- [13] Palmer R M. Prostaglandins and the control of muscle protein synthesis and degradation[J]. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 1990, 39(2): 95-104.
- [14] Montero D, Mathlouthi F, Tort L, *et al.* Replacement of dietary fish oil by vegetable oils affects humoral immunity and expression of pro-inflammatory cytokines genes in gilthead sea bream *Sparus aurata*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2010, 29(6): 1073-1081.
- [15] 王成强, 梁萌青, 徐后国, 等. 大规格鲈鱼(*Lateolabrax japonicas*)对饲料中花生四烯酸的需求量[J]. *渔业科学进展*, 2016, 37(5): 46-55.
- Wang C Q, Liang M Q, Xu H G, *et al.* Requirement of arachidonic acid in adult Japanese seabass (*Lateolabrax*

- japonicas*)[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(5): 46-55(in Chinese).
- [16] Sessler A M, Kaur N, Palta J P, *et al.* Regulation of stearoyl-CoA desaturase 1 mRNA stability by polyunsaturated fatty acids in 3T3-L1 adipocytes[J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1996, 271(47): 29854-29858.
- [17] Liang X F, Ogata H Y, Oku H. Effect of dietary fatty acids on lipoprotein lipase gene expression in the liver and visceral adipose tissue of fed and starved red sea bream *Pagrus major*[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2002, 132(4): 913-919.
- [18] 程汉良, 夏德全, 吴婷婷. 鱼类脂类代谢调控与脂肪肝[J]. *动物营养学报*, 2006, 18(4): 294-298.
Cheng H L, Xia D Q, Wu T T. Fatty liver and regulation of lipids metabolism in fish[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2006, 18(4): 294-298(in Chinese).
- [19] 艾庆辉, 严晶, 麦康森. 鱼类脂肪与脂肪酸的转运及调控研究进展[J]. *水生生物学报*, 2016, 40(4): 859-868.
Ai Q H, Yan J, Mai K S. Research progresses of lipids and fatty acids transport in fish[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(4): 859-868(in Chinese).
- [20] 王成强, 王际英, 黄炳山, 等. 饲料花生四烯酸水平对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能、抗氧化能力、血清生化指标以及肝脏和肌肉脂肪酸组成的影响[J]. *动物营养学报*, 2018, 30(9): 3567-3580.
Wang C Q, Wang J Y, Huang B S, *et al.* Effects of dietary arachidonic acid level on growth performance, antioxidant ability, serum biochemical parameters and fatty acid composition in liver and muscle of juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*Epinephelus lanceolatus* ♂)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(9): 3567-3580(in Chinese).
- [21] 林利民, 陈武. 5种海水养殖鱼类肌肉脂肪酸组成分析及营养评价[J]. *福建农业学报*, 2005, 20(S1): 67-69.
Lin L M, Chen W. Fatty acid composition and nutrition evaluation in muscle of five cultured marine fish[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 20(S1): 67-69(in Chinese).
- [22] Rodriguez C, Perez J A, Izquierdo M S, *et al.* Essential fatty acid requirements of larval gilthead sea bream, *Sparus aurata* (L.)[J]. *Aquaculture Research*, 1994, 25(3): 295-304.
- [23] Rainuzzo J R, Reitan K I, Jørgensen L, *et al.* Lipid composition in turbot larvae fed live feed cultured by emulsions of different lipid classes[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1994, 107(4): 699-710.
- [24] Xu H G, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of dietary arachidonic acid on growth performance, survival, immune response and tissue fatty acid composition of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*[J]. *Aquaculture*, 2010, 307(1-2): 75-82.
- [25] Codabaccus B M, Bridle A R, Nichols P D, *et al.* An extended feeding history with a stearidonic acid enriched diet from parr to smolt increases n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids biosynthesis in white muscle and liver of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. *Aquaculture*, 2011, 322-323: 65-73.
- [26] 乔芳, 李欢, 李东亮, 等. 冬夏两季五种经济鱼类组织脂肪酸含量及组成分析[J]. *水产学报*, 2018, 42(1): 80-90.
Qiao F, Li H, Li D L, *et al.* Comparative analysis of fatty acid profiles in different tissues of five economic fish species in winter and summer[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(1): 80-90(in Chinese).
- [27] Tocher D R, Fonseca-Madrigal J, Bell J G, *et al.* Effects of diets containing linseed oil on fatty acid desaturation and oxidation in hepatocytes and intestinal enterocytes in Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2002, 26(2): 157-170.
- [28] 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*, 2011, 17(2): e437-e447.
- [29] Skalli A, Robin J H. Requirement of n-3 long chain polyunsaturated fatty acids for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles: Growth and fatty acid composition[J]. *Aquaculture*, 2004, 240(1-4): 399-415.
- [30] Montero D, Robaina L, Caballero M J, *et al.* Growth, feed utilization and flesh quality of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed diets containing vegetable oils: A time-course study on the effect of a re-feeding period with a 100% fish oil diet[J]. *Aquaculture*, 2005, 248(1-4): 121-134.
- [31] 代小芳, 叶元土, 蔡春芳, 等. 苹果籽、南瓜籽饲料脂

- 肪酸组成与团头鲂鱼体脂肪酸组成相关性研究[J]. 中国油脂, 2011, 36(3): 38-44.
- Dai X F, Ye Y T, Cai C F, *et al.* Correlation between the fatty acid composition of the feed added apple seeds and pumpkin seeds and that of *Megalobrama amblycephala*[J]. China Oils and Fats, 2011, 36(3): 38-44(in Chinese).
- [32] Xue M, Luo L, Wu X F, *et al.* Effects of six alternative lipid sources on growth and tissue fatty acid composition in Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*)[J]. *Aquaculture*, 2006, 260(1-4): 206-214.
- [33] Villalta M, Estévez A, Bransden M P. Arachidonic acid enriched live prey induces albinism in Senegal sole (*Solea senegalensis*) larvae[J]. *Aquaculture*, 2005, 245(1-4): 193-209.
- [34] Bae J Y, Kim D J, Yoo K Y, *et al.* Effects of dietary arachidonic acid (20:4n-6) levels on growth performance and fatty acid composition of juvenile eel, *Anguilla japonica*[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2010, 23(4): 508-514.
- [35] Ma H N, Jin M, Zhu T T, *et al.* Effect of dietary arachidonic acid levels on growth performance, fatty acid profiles and lipid metabolism of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J]. *Aquaculture*, 2018, 486: 31-41.
- [36] Lewis R A, Lee T H, Austen K F. Effects of omega-3 fatty acids on the generation of products of the 5-lipoxygenase pathway[M]//Simopoulos A P, Kifer R R, Martin R E. Health Effects of Polyunsaturated Fatty Acids in Seafoods. Orlando, FL: Academic Press, 1986: 227-238.

Effects of dietary n-3/n-6 HUFA on growth, body composition and fatty acid composition of tissue in juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*)

MA Changxing^{1,2}, WANG Jiying^{2*}, LI Baoshan², WANG Chengqiang²,
SHEN Yubo^{1,2}, LIU Caili^{1,2}, ZHOU Ying^{1,2}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition (CREEFN) of the Ministry of Agriculture, Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shandong Key Laboratory of Marine Ecological Restoration, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China)

Abstract: A 65 d feeding trial was conducted in a float cage to study the effect of dietary n-3/n-6 HUFA(D1:14.28, D2:9.26, D3:5.66, D4:3.06, D5:2.02, D6:1.50) on growth, body composition and fatty acid composition of tissue in juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). Six diets were formulated to feed six groups of juvenile *S. schlegeli* [mean initial weight (36.30±0.03) g], respectively. Each diet was randomly fed to triplicate groups of 30 fish per cage. The results show that: ① Dietary n-3/n-6 HUFA had no significant impact on the survival rate of fish ($P>0.05$). With the decreasing of dietary n-3/n-6 HUFA, the weight gain rate first increased and then decreased, the feed conversion ratio (FCR) showed an opposite trend, and the weight gain rate of D2 and D3 groups was significantly higher than that of other groups ($P<0.05$). ② The crude fat in the whole fish and muscle showed a trend of increased first and then decreased, which reaching their peaks in group D2 and D3, respectively ($P<0.05$). The crude fat in the liver first decreased and then increased, and the D2 group was significantly lower than the other groups ($P<0.05$). ③ The content of C20:4n-6 in all tissues were increased with the decreasing of dietary n-3/n-6 HUFA. C20:5n-3, C22:6n-3 and n-3/n-6 HUFA in all tissues showed an overall decreased trend. ④ The fatty acid composition of fish body was affected by the dietary, in order of abdominal fat, muscle, whole fish and liver. The dietary C20:4n-6 was negatively correlated with C20:5n-3 of all tissues. Under this experimental conditions, the appropriate proportion of dietary n-3/n-6 HUFA (5.66-9.26) can significantly improve the growth of experimental fish, and modify body composition and fatty acid composition of tissues. The univariate quadratic regression analysis, based on weight gain rate and feed conversion ratio, showed that the appropriate proportion of n-3/n-6 HUFA in the dietary of juvenile *S. schlegeli* is 8.93 and 8.70, respectively.

Key words: *Sebastes schlegeli*; n-3/n-6 HUFA; growth; body composition ; fatty acid

Corresponding author: WANG Jiying. E-mail: ytwjy@126.com

Funding projects: Science and Technology Development Project of Yantai(2017ZH68)