

饲料中不同脂肪酸搭配对仿刺参幼参生长和体组分的影响

王吉桥¹ 赵丽娟² 姜玉声¹ 张剑诚³ 王锡荣²

(¹ 大连水产学院生命科学与技术学院, 116023)

(² 山东省淡水水产研究所, 济南 250117)

(³ 大连太平洋海珍品有限公司, 116045)

摘 要 在水温 13.0~23.0 °C 下, 将平均质量 1.45 g 的仿刺参 *Apostichopus japonicus* 幼参放养在容量 50L (45 cm×31 cm×30 cm) 的水槽中, 投喂以鱼粉、虾糠和玉米蛋白为蛋白源, 添加马尾藻粉、海泥、贝壳粉和黄原胶等粗蛋白 12.70% 和粗脂肪 5.48% 的饲料。在饲料中含有不同比例的亚油酸(LA)、 α -亚麻酸(LNA)、二十二碳六烯酸(22:6n-3)(DHA)和二十碳五烯酸(20:5n-3)(EPA), 以橄榄油平衡脂肪含量, 以贝壳粉平衡其他成分, 配制成 LA 和 LNA 的比例分别为 20:0(S1); 20:1(S2); 1:2(S3) 和 2:1(S4); LA、LNA、DHA 和 EPA 的比例分别为 6:1:5:0(S5); 10:1:30:5(S6) 和 10:5:6:1(S7) 的膏状饲料。80d 的饲养表明, 幼参摄食只添加橄榄油(S1)、添加橄榄油和亚油酸(S2)的饲料时生长最慢, 显著低于其他各组的幼参($P < 0.05$); 摄食只添加亚麻酸(S3)或亚油酸和亚麻酸(S4)的饲料时, 生长较慢, 二者差异不显著($P > 0.05$), 但均显著低于摄食添加 DHA(S5)和 EPA+DHA(S6)的幼参($P < 0.05$); 摄食添加上述 4 种脂肪酸(S7)饲料时, 生长最快, 即 LA、LNA、DHA 和 EPA 的比例为 10:5:6:1 时, 体壁最厚, 肠道中淀粉酶和蛋白酶的有效活力最高, 对饲料脂肪和蛋白质的消化率显著高于其他各组($P < 0.05$)。摄食实验饲料的仿刺参体内蛋白+脂肪+灰分的含量之和(平均 85.79%)远大于初始刺参(79.70%)的相应之和, 由高至低依次为: S2(90.57%) > S1(87.97%) > S3(85.78%) > S4(85.29%) > S7(84.19%) > S5(83.79%) > S6(82.97%)。仿刺参摄食后体内 18 碳脂肪酸含量呈负增长, 而体内 EPA 的含量均呈正增长, 且恒定变化在 4.36%~6.83% 之间, 表明饲料中的 18 碳脂肪酸能转化为仿刺参体内的 EPA。添加了 4 种脂肪酸的 S4、S5、S6 和 S7 组幼参肠过氧化氢酶的活力显著高于剩余组($P < 0.05$); 仿刺参生长较快时, 体内过氧化氢酶活性较高, 超氧化物歧化酶(SOD)则反之。

关键词 仿刺参 脂肪酸 生长 消化率 体组分

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2009)06-0062-13

Effects of four dietary fatty acids on growth and proximate composition of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*

WANG Ji-qiao¹ ZHAO Li-juan² JIANG Yu-sheng¹
ZHANG Jian-cheng³ WANG Xi-rong²

(¹ Life Science and Technology Institute, Dalian Fisheries University, 116023)

辽宁省教育厅计划和辽宁省海洋与渔业厅共同资助

收稿日期: 2008-09-17; 接受日期: 2009-02-03

作者简介: 王吉桥 (1950-), 男, 博士, 大连水产学院教授, 主要从事水产养殖教学研究工作。E-mail: jqwang1950@163.com, Tel: (0411)84763528

(²Freshwater Fishery Research Institute of Shandong Province, Jinan 250117)

(³Dalian Pacific Seafood Co., Ltd, 116045)

ABSTRACT A feeding trial was carried out to evaluate the effects of dietary fatty acids on growth and proximate composition of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Juvenile sea cucumber weighing 1.45g in body weight was stocked into 42 plastic tanks of each 45 cm×31 cm×30 cm for 80 days and fed the commercial 12.70% crude protein and 5.48% crude fat diets containing various proportions of olive oil, linoleic acid (LA), linolenic acid (LNA), docosahexaenic acid (DHA), and eicosapentaenic acid (EPA) with a ratio of LA to LNA=20:0 (S1);20:1(S2);1:2(S3)and 2:1(S4)and with LA:LNA:DHA:EPA=6:1:5:0(S5);10:1:30:5(S6)and 10:5:6:1(S7)at water temperature of 13.0~23.0 °C. The sea cucumber fed the diets containing supplement of only olive oil (S1), both olive oil and LNA (S2) and LA and LNA (S3) was found to have the minimal special growth rate (SGR), significantly lower than the animals fed other diets($P < 0.05$). There were significantly lower visceral-somatic ratio, and higher intestinal amylase and protease activities, and higher apparent digestibility in the juveniles fed the diet with a ratio of LA:LNA:DHA:EPA=10:5:6:1(S7)($P < 0.05$). Much higher total levels (85.79%) of protein, fat and ash were observed in the juveniles fed the experimental diets than in the initial juveniles(79.70%), descendantly ranged as S2(90.57%)> S1(87.97%)> S3(85.78%)> S4(85.29%)> S7(84.19%)> S5(83.79%)> S6(82.97%). While there was degrowth in LA+LNA levels in the juveniles fed the experimental diets, there was increase in EPA level, varying from 4.36%to 6.83% in the juveniles fed the experimental diets without supplementation of EPA, indicating that dietary 18-C fatty acids were to some extent converted into EPA in the juveniles. The catalase activity was significantly higher in groups S4, S5, S6 and S7 than that in other groups in the juveniles ($P < 0.05$). High catalase activity appeared in the sea cucumber juveniles when they grew fast, and superoxide dismutase had no apparent variations under different conditions.

KEY WORDS Sea cucumber *Apostichopus japonicus* Fatty acid Growth
Digestibility Proximate composition

仿刺参 *Apostichopus japonicus* 的营养和药用价值高,社会的文明进步刺激了其市场的需求,养殖面积不断扩大(宋春华等 2005;Chen 2004;张春云等 2004)。饲料是海参养殖的物质基础。随着海参养殖业的迅速发展,海参饲料的研究越来越受到人们的关注(张群乐等 1998;袁成玉 2005)。有关仿刺参幼体和稚参的饵料研究较多(隋锡林等 1986;朱建新等 2007)。朱伟等(2005)认为,仿刺参稚参饲料中蛋白质和脂肪的最适含量分别为 18.21%~24.18%和 5.0%。王吉桥等(2007)比较了不同饲料蛋白源对仿刺参幼参生长的影响。而对幼参在常用蛋白源条件下的适宜脂肪和必需脂肪酸的需求尚未见报道。

一般认为,淡水和洄游鱼类的必需脂肪酸有 4 种:即亚油酸(18:2n-6)、亚麻酸(18:3n-3)、二十碳五烯酸(20:5n-3)(EPA)和二十二碳六烯酸(22:6n-3)(DHA)。大多数海水鱼类缺乏 C20 延长酶和 $\Delta 5$ 去饱和酶,不能将(18:2n-6)和(18:3n-3)等短链脂肪酸延长和去饱和生成(20:5n-3)和(22:6n-3),所以(18:2n-6)和(18:3n-3)在海水鱼中不具有必需脂肪酸的作用。仿刺参为底栖杂食性,主要以底栖藻类、有机碎屑、某些细菌和原生动物为食,对必需脂肪酸的需求,目前尚不清楚。研究饲料中不同脂肪酸对仿刺参生长和存活的影响

响,对科学配制饲料,提高海参养殖效益,丰富棘皮动物营养与饲料的研究具有重要意义。为此作者于2007年4~9月采用饲料添加脂肪酸饲养法,在饲料中添加不同比例的亚油酸、亚麻酸、二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA),研究了仿刺参对这4种脂肪酸的需要,为科学配制仿刺参饲料,丰富棘皮动物营养学提供基础。

1 材料与方 法

1.1 实验海 参

实验用2龄仿刺参来自大连水产学院养殖场,平均重量1.45 g,暂养14 d从6.0 kg中挑选630头规格整齐、颜色鲜亮干净和体质健壮的个体,随机放入42个容水50L(45 cm × 31 cm × 30 cm)的塑料水槽中,每槽中15头,投喂7种脂肪含量相同、但脂肪酸种类不同的饲料(S1-S7),每种饲料6个重复。

1.2 实验饲 料

饲料配方及营养成分见表1。

表1 实验基础饲料配方及营养成分(%)

Table 1 Ingredients and proximate composition of the basic experimental diets (%)

成分 Ingredient	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
鱼粉 Fish meal	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
虾糠 Shrimp shell and visceral meal	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
玉米蛋白 Corn gluten meal	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
马尾藻粉 Dry <i>Sargassum</i> sp. meal	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
海泥 Dry beach silt	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
脂肪 Fat	4.20	4.21	4.19	4.19	4.20	4.21	4.21
贝壳粉 Shellfish shell meal	11.20	11.19	11.21	11.21	11.20	11.19	11.19
酵母及增稠剂 Yeast and thickenings	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
a 复合维生素和矿物盐 Vitamin mix and mineral mix	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
b 抗氧化剂 Antioxidant	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
饲料成分(%)Composition							
粗蛋白 Crude protein	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70	12.70
粗脂肪 Crude fat	5.48	5.49	5.47	5.47	5.48	5.49	5.49
灰分 Ash	57.09	57.01	57.02	57.01	54.86	53.89	54.84

注:a复合维生素和矿物盐为北京鑫水产高新技术开发公司生产的鲤专用微量元素,参照鲤用量添加;b抗氧化剂为北京嘉康源科技发展有限公司的食品和饲料专用复合抗氧化剂,主要含6.8% BHT、0.1% BHA和12.9% EMQ等成分

1.2.1 实验设计

实验设计S1组仅含有LA,S2组含有LA和少量的LNA,S3和S4组将LA和LNA设置成不同的比例来测定两种脂肪酸是否为仿刺参的必需脂肪酸;通过S5组添加LA、LNA和DHA3种脂肪酸,S6、S7组同时含有4种实验脂肪酸来测定仿刺参对DHA的需要程度,DHA和EPA是否为其必需脂肪酸及脂肪酸平衡性对仿刺参生长的影响。

1.2.2 饲料配方

实验饲料以鱼粉、虾糠和玉米蛋白为蛋白源,添加马尾藻粉、海泥、贝壳粉和黄原胶增稠剂等(王吉桥等2007),配成粗蛋白为12.70%,粗脂肪含量为 $5.48 \pm 0.01\%$ 的饲料(表1)。饲料中分别添加不同比例的亚油酸(LA)、 α -亚麻酸(LNA)、DHA和EPA(表2)。以橄榄油平衡脂肪含量,以贝壳粉平衡其他成分,其中LA和

LNA 的比例分别为 20 : 0(S1);20 : 1(S2);1 : 2(S3)和 2 : 1(S4);LA、LNA、DHA 和 EPA 的比例分别为 6 : 1 : 5 : 0(S5);10 : 1 : 30 : 5(S6)和 10 : 5 : 6 : 1(S7)(表 3)。

表 2 实验饲料中 4 种脂肪酸的添加量(占饲料含量%)

Table 2 Supplementation of four fatty acids in the experimental diets (% in the diets)

成分 Ingredient	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
橄榄油 ^a 和乳化剂 ^f	4.20	2.01	1.76	1.54	2.2	1.31	0.55
Olive oil and emulsifier							
亚油酸 ^b Linoleic acid		2.2		1.33			0.9
α -亚麻酸 ^c 和乳化剂			2.19	1.32			0.76
Linolenic acid and emulsifier							
DHA ^d					0.8	0.68	0.5
EPA ^e						0.72	0.45
包埋脂 Lipid coated			0.24		1.2	1.5	1.05
其他 Other	0.03	1.82	0.12	0.80	5.83	6.19	5.49
合计脂肪含量 Total content	4.20	4.21	4.19	4.19	4.20	4.21	4.21
溶失率 ^g Releasing	14.32	11.21	16.45	19.73	13.58	17.52	15.81

注:a 为邦氏纯正食用油;b、d、e 皆为北京嘉康源科技发展有限公司的包埋粉状脂肪酸,其中 b、d 为单种脂肪酸,含量分别为 78%和 10%,e 中含有 6%的 DHA 和 9.7%EPA;c 为北京豪尔思科技有限公司的液体单脂肪酸,纯度为 80%;f 采用美国莱斯福药业有限公司出品的莱斯福大豆卵磷脂胶囊,辅料为甘油;g 指在海水中浸泡 36 h 后各种脂肪的平均溶失率

表 3 饲料中主要脂肪酸含量(占脂肪含量的%)

Table 3 Principal fatty acid composition of the experimental diets (% in the diets)

脂肪酸 Fatty acid	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
C16 : 0	14.14	9.87	13.27	9.49	20.39	13.07	9.80
C16 : 1	1.21	0.92	1.22	0.91	1.21	1.29	0.95
C18 : 0	3.19	2.28	2.78	1.94	3.54	2.38	1.76
C18 : 1	53.10	39.09	38.85	28.89	38.17	27.59	20.56
C18 : 2*	18.20	34.91	15.38	29.08	13.63	10.93	24.09
C18 : 3*	TR	1.84	23.67	12.61	2.18	0.96	13.24
C20 : 0	TR	TR	0.24	TR	0.33	0.30	0.19
C20 : 1	TR	TR	0.31	TR	TR	0.72	0.45
C20 : 4	TR	TR	TR	TR	TR	0.64	0.44
C20 : 5*	TR	TR	TR	TR	TR	4.14	2.55
C22 : 1	TR	TR	TR	0.34	TR	1.81	0.96
C22 : 2	6.98	1.84	0.89	TR	TR	TR	TR
C22 : 4	TR	TR	TR	TR	4.50	2.28	1.62
C22 : 5	TR	TR	TR	TR	TR	1.95	2.13
C22 : 6*	TR	TR	TR	TR	10.38	27.08	16.70

注:* 指饲料中 4 种目标脂肪酸;TR 指含量低于 0.1%

1.2.3 制作

除脂肪外,饲料中各种原料均经 200 目筛绢过滤,除去上层,首先做成混合均匀的粉状混合物,然后添加不

同种类的脂肪,研磨均匀制成饲料,低温贮存备用。

按饲料中液态脂肪含量的10%添加软磷脂乳化剂,混合均匀,防止入水后在水面形成油膜,造成海参排脏。脂类乳化后加入饲料中,先用玉米蛋白和贝壳粉作为第一稀释剂,混合研磨均匀,然后逐步加入其他成分研磨、混合。投喂前用80℃左右的沸水搅拌均匀,在室温下放置至酵母发挥作用成为松软合适的膏状饲料再投喂。

投喂时将饲料均匀涂抹到20 cm×30 cm的波纹板上,波纹板放置于水槽底部,并将充气石压在板下,涂抹饲料面朝上,防止饲料被冲散。饲料增稠后不分散,刺参摄食后排出的粪便呈规则的长条状,不易分散,利于残饵和粪便的辨别和收集。

1.3 饲养与管理

实验期间采用经沉淀和曝气2 d的自然海水,水温13.0~23.0℃。傍晚过量投喂,隔天收集残饵和粪便,每4 d全量换水。水温高于16℃后,第2天收集残饵和粪便。全天充氧,溶氧含量7.57~7.80 mg/L; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为0.038~0.070 mg/L。每20 d称量各组海参总重(称重前饥饿1 d),计算特殊增长率($\text{SGR} = (\ln \text{末体重} - \ln \text{初体重}) / \text{饲养天数} \times 100\%$)。

1.4 样品收集和生化指标的测定

实验开始时从各饲料组随机取15头海参,保存于-70℃冰箱中;实验结束时从每组饲料的3个重复中随机抽取刺参20头,在75℃下烘干至恒重计算海参水分含量,分别用凯氏定氮法、索氏抽提法(以乙醚为抽提液)和马福炉灼烧(600℃,6 h)法测定粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量;用 Cr_2O_3 指示剂法测定消化率 $= [1 - (e^1 / E \times B / B^1)] \times 100\%$;其中, E 和 e^1 分别为饲料和粪便中营养物质的含量, B 和 B^1 为饲料和粪便中 Cr_2O_3 的含量(李爱杰 2000);用气相色谱仪分析脂肪酸种类和含量;碘量法测溶氧含量;次溴酸盐氧化法测氨氮含量。

在幼参生长最旺盛阶段(17℃)收集粪便。为减少粪便在槽中停留所造成的损失,每天上午将4个平行连续两次投喂的粪便收集在一起,烘干研磨后,取3次测定的平均值。

1.5 酶活性的测定

实验开始水温13.0℃,水温每升高2.0℃,从每个饲料组另外3个重复中随机挑选3头海参,保存于-70℃冰箱中,实验结束时统一测定脏壁比和不同酶的活力。测定方法:将海参置于冰盘内,解剖取出全部肠,用去离子水清洗肠内含物后,研磨、离心取上清液,每个平行组的3头海参的肠制成混合样品为一重复,每组3个重复。分别用淀粉-碘比色法、福林-酚法、分光光度计测定底物(H_2O_2)减少法和聚乙烯醇-橄榄油乳化液法测定肠道中淀粉酶、蛋白酶、过氧化氢酶和脂肪酶的活性(桂远明 2004),考马斯亮蓝G-250法测样品中蛋白浓度,超氧化物歧化酶(SOD)的活性使用其对邻苯三酚的抑制率来代替活性(许雅娟等 2006)。

1.6 数据的处理

所有实验数据用SPSS13.0软件单因素方差分析法(ANOVA)首先进行相关性检验分析,如差异显著,再用LSD方法进行多重比较。以 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 饲料中不同脂肪酸搭配对幼参生长和消化的影响

2.1.1 对仿刺参幼参生长的影响

80 d的饲养表明,仿刺参的生长速度随饲料中添加脂肪酸种类的增多而增加(表4)。幼参摄食只添加橄榄油(S1)和添加橄榄油和亚油酸(S2)的饲料时生长最慢,显著低于其他各组的幼参($P < 0.05$);摄食只添加亚麻酸(S3)或亚油酸和亚麻酸(S4)的饲料时,生长较慢,二者差异不显著($P > 0.05$),但均显著低于摄食添加

DHA(S5)和 EPA+DHA(S6)的幼参($P < 0.05$);摄食添加上述 4 种脂肪酸(S7)饲料时,生长最快,但与摄食添加 EPA+DHA(S6)饲料的幼参差异不显著($P > 0.05$),即添加多种脂肪酸,尤其是 EPA+DHA,促进生长的效果最明显。

表 4 仿刺参幼参摄食含不同脂肪酸饲料时的特殊生长率(SGR, %/d)和对饲料中脂肪、蛋白的消化率(% ,平均值±标准误, $n=3$)

Table 4 Special growth rate (SGR, %/d) and apparent digestibility(%) of dietary fat and protein in the sea cucumber fed the experimental diets (mean±SE, $n=3$)

项目 Item	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
SGR(%/d)	13.0~15.0 °C	-0.225±0.074 ^{ab}	-0.258±0.043 ^a	-0.199±0.002 ^{ab}	0.046±0.153 ^{bc}	0.111±0.112 ^{cd}	0.381±0.097 ^{de}	0.491±0.057 ^e
	15.0~17.5 °C	0.890±0.016 ^{ab}	0.727±0.062 ^a	1.075±0.033 ^{bc}	1.206±0.015 ^c	1.721±0.217 ^d	1.947±0.024 ^{de}	2.125±0.088 ^e
	17.5~21 °C	1.226±0.178 ^{ab}	1.036±0.049 ^a	1.551±0.123 ^c	1.519±0.085 ^{bc}	1.715±0.073 ^c	1.708±0.007 ^c	1.787±0.044 ^c
	21.0~23.0 °C	0.659±0.083 ^b	0.412±0.054 ^a	0.685±0.044 ^b	0.639±0.065 ^b	0.801±0.088 ^b	0.777±0.035 ^b	0.780±0.013 ^b
	平均 Mean	0.637±0.049 ^a	0.582±0.004 ^a	0.828±0.037 ^b	0.857±0.079 ^b	1.087±0.101 ^c	1.203±0.018 ^{cd}	1.296±0.041 ^d
消化率 Digestibility	脂肪 Fat	43.10	43.28	48.35	46.77	48.13	52.01	58.44 ^a
	蛋白 Protein	40.51	43.87	41.36	40.82	49.05	43.42	47.99

注:同一行中标有不同字母的平均值间差异显著($P < 0.05$),标有相同字母的平均值间差异不显著($P > 0.05$),下同

整个实验过程中,不同水温下(即不同饲养阶段),幼参摄食不同饲料时生长速度不同(表 4)。养殖前 20 d(13.0~15.0 °C),幼参摄食只添加橄榄油(S1)、添加橄榄油和亚油酸(S2)及添加橄榄油和亚麻酸(S3)的饲料时呈负生长,三者差异不显著($P > 0.05$),但显著低于摄食添加 EPA+DHA 和上述 4 种脂肪酸饲料的幼参($P < 0.05$)。

养殖的第 21~40 天(15.0~17.5 °C),摄食不同实验饲料的幼参未出现负生长,而随着饲料中添加脂肪酸种类的增多而呈正增长(表 4)。幼参摄食只添加橄榄油(S1)和添加橄榄油和亚油酸(S2)的饲料时生长最慢,二者与摄食只添加亚麻酸的组(S3)差异不显著($P > 0.05$),而显著低于添加亚油酸和亚麻酸(S4)、摄食添加 DHA(S5)和 EPA+DHA(S6)及摄食添加上述 4 种脂肪酸(S7)饲料的幼参($P < 0.05$);摄食添加 EPA+DHA(S6)及上述 4 种脂肪酸(S7)饲料的幼参生长最快,显著高于 S1~S4 组($P < 0.05$)。

养殖的第 41~60 天(17.5~21.0 °C),各组的幼参生长明显加快,组间差值缩小,为整个实验期间生长最快的时期。摄食只添加亚麻酸(S3)、添加 DHA(S5)和 EPA+DHA(S6)及上述 4 种脂肪酸(S7)饲料的幼参生长速度差异不显著($P > 0.05$),但显著高于其他组($P < 0.05$),S1 和 S2 组之间差异不显著($P > 0.05$)。

养殖的最后 20 d(21.0~23.0 °C),各组幼参的生长速度均减慢,但组间差值仍很小,仅摄食添加橄榄油和亚油酸(S2)的幼参生长显著慢于其他各组($P < 0.05$),而其他各组间差异不显著($P > 0.05$)。

整个实验过程中,摄食同种饲料的幼参生长速度呈“低-高-低”的变化趋势,即养殖的第 21~60 天、水温 15.0~21.0 °C 时,幼参的生长速度最快;摄食不同实验饲料的幼参生长速度以摄食添加 EPA+DHA(S6)及上述 4 种脂肪酸(S7)饲料的幼参生长最快。

2.1.2 对脂肪和蛋白表观消化率的影响

幼参对实验饲料中脂肪和蛋白质的消化率随饲料中添加脂肪酸种类的增多而增加(表 4)。幼参摄食只添加橄榄油(S1)的饲料时,对饲料中脂肪的消化率最低;而摄食添加 4 种脂肪酸的饲料时,对饲料中脂肪的消化率最高,显著高于其他各组($P < 0.05$),其他各组间差异较小。

摄食只添加橄榄油(S1)饲料的幼参对蛋白质的消化率最低,而摄食添加 DHA(S5)饲料的幼参对蛋白质的消化率最高。实验中仿刺参对饲料粗蛋白的表观消化率普遍不足 50%,为降低饲料成本,避免蛋白质浪费,

饲料中粗蛋白量可适当降低。

2.2 饲料中不同脂肪酸搭配对刺参体生化成分的影响

饲料中添加不同种类的脂肪酸对仿刺参体成分的影响不同(表5)。仿刺参体内蛋白含量随饲料中添加脂肪酸种类的增多而极显著降低,均显著低于初始仿刺参($P < 0.05$)。摄食不同实验饲料的仿刺参体蛋白质含量由高至低依次为: S2 > S1 > S4、S3 > S5、S7 和 S6。

表5 仿刺参摄食含不同脂肪酸搭配饲料时体的营养成分(占干重%,平均值±标准误, $n=3$)
Table 5 Approximate composition (% in dry matter) of the sea cucumber fed the diets containing various combinations of fatty acids (Mean ± S. E., $n=3$)

成分 Composition	初始刺参	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
蛋白 Protein	45.40± 0.31 ^a	40.64± 0.52 ^b	43.53± 0.15 ^d	38.51± 0.42 ^c	39.25± 0.23 ^c	36.80± 0.18 ^e	36.41± 0.10 ^e	36.64± 0.34 ^e
脂肪 Fat	3.88± 0.02 ^a	5.04± 0.39 ^b	5.03± 0.25 ^b	5.96± 0.47 ^d	5.15± 0.45 ^b	5.17± 0.35 ^{bc}	5.36± 0.25 ^c	5.88± 0.40 ^d
灰分 Ash	30.42± 0.20 ^a	42.29± 0.16 ^b	42.01± 0.11 ^{bc}	41.31± 0.21 ^{cd}	40.89± 0.19 ^c	41.82± 0.11 ^{bd}	41.20± 0.06 ^{cd}	41.67± 0.26 ^{def}
水分 Moisture	92.87± 0.25 ^a	91.77± 0.29 ^{de}	91.69± 0.12 ^d	91.85± 0.22 ^{cd}	91.99± 0.12 ^{bcd}	91.92± 0.31 ^{cd}	92.37± 0.13 ^{abce}	92.60± 0.14 ^{ab}

仿刺参体内脂肪含量随饲料中添加脂肪酸种类的增多而增高,显著高于初始仿刺参($P < 0.05$)。摄食不同实验饲料的仿刺参体脂肪含量由高至低依次为: S3、S7 > S6 > S5 > S4、S1 和 S2。

摄食实验饲料的仿刺参体内灰分的含量极显著高于初始刺参($P < 0.01$)。S1、S2 组与 S3、S4 组差异显著($P < 0.05$); S5 与 S6 差异显著($P < 0.05$), S7 组与 S6 组差异不显著($P > 0.05$),而与 S1、S2 组差异显著($P < 0.05$)。

与灰分含量不同,摄食实验饲料的仿刺参体内水分的含量低于初始刺参,但各组间差异不显著($P > 0.05$)。

摄食实验饲料的仿刺参体内蛋白+脂肪+灰分的含量之和(平均 85.79%)远大于初始刺参(79.70%)的相应之和,由高至低依次为: S2(90.57%) > S1(87.97%) > S3(85.78%) > S4(85.29%) > S7(84.19%) > S5(83.79%) > S6(82.97%)。

仿刺参摄食含不同脂肪酸搭配的饲料时体内脂肪酸的含量变化很大(表6)。仿刺参体内 C 18 : 1 和 C 18 : 2 含量高而波动幅度较大,但均高于初始海参,并与饲料中同种脂肪酸呈正相关。与 18 : 1 和 C 18 : 2 含量相比,仿刺参体内 C 18 : 3 的含量低而波动幅度较小,均与饲料中同种脂肪酸含量呈正相关,但与初始海参相差较小。

值得注意的是,摄食实验饲料的仿刺参体内 18 碳脂肪酸含量均低于饲料中同种脂肪酸的含量,即摄食后体内 18 碳脂肪酸含量呈负增长,而仿刺参摄食不同实验饲料后,体内(C20 : 5)(EPA)的含量均呈正增长,即使饲料中 EPA 含量低于 0.1%,仍变化在 4.36%~4.75%之间。除摄食添加了 DHA 和 EPA 饲料的仿刺参(S6 和 S7)体内(C20 : 5)的含量显著高于其他组外($P < 0.05$),其他各组间差异不显著($P > 0.05$)。这意味着当身体内 EPA 含量较低时,仿刺参可以利用其他脂肪酸合成 EPA,维持体内含量满足身体需要。

仿刺参摄食 DHA 含量低于 0.1%的饲料时,体内 DHA 含量虽呈正增长,但均低于初始海参;即使摄食 S4 组饲料的仿刺参体内 DHA 含量显著高于摄食 DHA 含量低于 0.1%饲料的仿刺参,据此并不能说明仿刺参可以自己合成 DHA。而且仿刺参摄食添加 DHA 的饲料时(S5~S7),体内 DHA 含量虽均高于初始海参并显著高于其他各组($P < 0.05$,表6),但皆呈负增长。

表6 仿刺参摄食含不同脂肪酸搭配饲料时体内脂肪酸的含量(占总脂肪含量的%,平均值±标准误, $n=2$)Table 6 Fatty acid composition (% in total fat content) of the sea cucumber fed the diets containing various combinations of fatty acids (Mean \pm S. E., $n=2$)

脂肪酸 Fatty acid	初始海参 Initial sea cucumber	比较 Comparison	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
C 18 : 1	11.64± 0.04	饲料 Diet	53.10	39.09	38.85	28.89	38.17	27.59	20.56
		海参 Sea cucumber	23.40± 0.03 ^a	21.99± 0.16 ^a	17.39± 0.44 ^b	17.21± 0.15 ^b	20.50± 0.30 ^a	15.58± 0.15 ^b	15.69± 0.07 ^b
		差值 Difference	-29.70	-17.10	-21.46	-11.680	-17.67	-12.01	-4.87
C 18 : 2	8.47± 0.55	饲料 Diet	18.20	34.91	15.38	29.08	13.63	10.93	24.09
		海参 Sea cucumber	10.76± 0.64 ^b	16.99± 0.01 ^a	12.50± 0.26 ^b	13.76± 0.14 ^a	10.62± 1.14 ^b	8.39± 0.01 ^c	14.48± 0.25 ^a
		差值 Difference	-7.44	-17.92	-2.88	-15.32	-3.01	-2.54	-9.61
C 18 : 3	0.82± 0.04	饲料 Diet	TR	1.84	23.67	12.61	2.18	0.96	13.24
		海参 Sea cucumber	0.7± 0.01 ^a	1.08± 0.1 ^a	5.77± 0.07 ^b	3.06± 0.05 ^b	1.84± 0.11 ^a	0.70± 0.07 ^a	3.10± 0.09 ^b
		差值 Difference	+0.7	-0.76	-17.90	-9.55	-0.34	-0.26	-10.14
C 20 : 5	8.58± 0.59	饲料 Diet	TR	TR	TR	TR	TR	4.14	2.55
		21 海参 Sea cucumber	4.75± 0.13 ^a	4.36± 0.01 ^a	4.63± 0.17 ^a	4.49± 0.06 ^a	4.47± 0.06 ^a	6.83± 0.08 ^b	5.54± 0.08 ^b
		差值 Difference	+4.75	+4.36	+4.63	+4.49	+4.47	+4.88	+3.41
C 22 : 6	4.64± 0.55	饲料 Diet	TR	TR	TR	TR	10.38	27.08	16.70
		海参 Sea cucumber	2.61± 0.07 ^a	2.07± 0.08 ^a	2.15± 0.39 ^a	3.44± 0.24 ^b	4.34± 0.02 ^b	8.32± 0.29 ^c	7.19± 0.22 ^c
		差值 Difference	2.61	2.07	2.15	3.44	-6.04	-18.76	-9.51

注:TR表示含量低于0.1%;差值=实验结束时海参中含量-饲料中含量

2.3 仿刺参摄食不同饲料时在不同温度下的脏壁比

实验开始(13.0℃)时,仿刺参的脏壁比(内脏质量/体壁质量)为0.480。整个实验期间,仿刺参摄食添加4种脂肪酸(S7)的饲料时,脏壁比显著低于其他组($P < 0.05$)(图1),分别比S1、S2、S3、S4、S5和S6组幼参低22.30%、24.55%、17.12%、22.97%、17.57%和19.59%,即摄食添加4种脂肪酸饲料的仿刺参体壁较厚。在本实验水温范围内,摄食7种饲料的仿刺参幼参的脏壁比皆呈“V字形”变化:在15.0~21.0℃时,随水温的升高而下降,但不同温度下差异不显著($P > 0.05$),23℃时又显著上升($P < 0.05$),即外界条件适宜,刺参生长迅速时,仿刺参身体舒展状态好,体壁充盈,脏壁比较低。

2.4 饲料中脂肪酸种类对仿刺参肠道中蛋白质含量和消化酶活性的影响

2.4.1 对蛋白质含量的影响

整个实验期间,仿刺参摄食添加4种脂肪酸(S7)的饲料时,肠道研磨液样品中蛋白物质含量较高(酶浓度高),但与其他组差异不显著($P > 0.05$)(图2);初始刺参(13.0℃)肠道样品中蛋白浓度为165.39±8.96 μg/ml,随水温的升高而逐渐降低,分为明显的两个阶段:即13.0~19.0℃时肠道中蛋白浓度较高,21.0~23.0℃时,显著下降($P < 0.05$)。

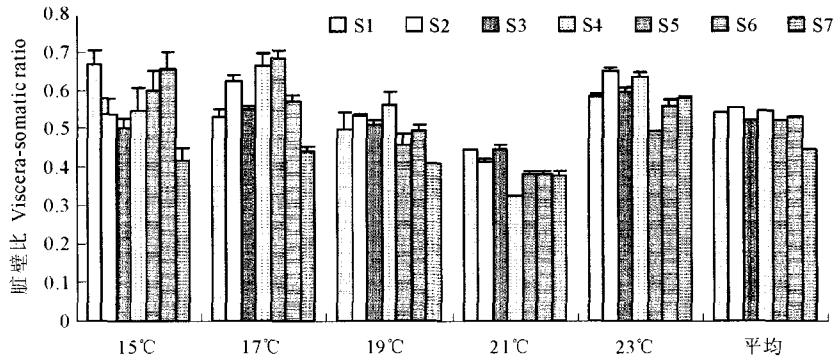


图 1 仿刺参摄食不同饲料时在不同温度下的脏壁比(平均值, $n=3$)

Fig. 1 Viscera-somatic ratio (Mean, $n=3$) in the sea cucumber fed the diets containing various combinations of fatty acids at varied water temperature

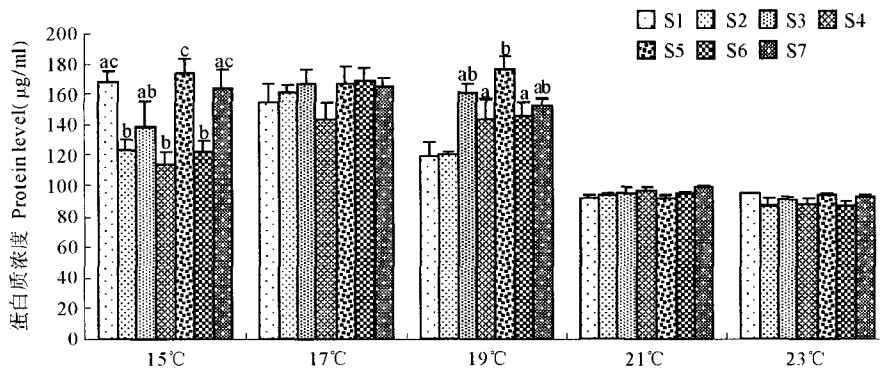


图 2 摄食实验饲料的仿刺参肠道样品中蛋白浓度($\mu\text{g/ml}$)(平均值 \pm 标准误, $n=3$)

Fig. 2 Protein levels ($\mu\text{g/ml}$) in intestines of the sea cucumber fed the diets containing various combinations of fatty acids at varied water temperature (Mean \pm S. E., $n=3$)

2.4.2 对淀粉酶活性的影响

整个实验期间,仿刺参摄食添加 4 种脂肪酸(S7)的饲料时,肠道中淀粉酶的活力最高,显著高于其他各组 ($P < 0.05$)(表 7),而其他各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

初始刺参(13.0 °C)肠道中淀粉酶的活力为 17.1 ± 1.9 U/mg 蛋白质,随水温的升高而呈“低-高-低-高”的变化趋势:即 17.0 °C 时最高,S7 组酶活力极显著高于其他各组 ($P < 0.01$),S2、S4、S5 和 S6 组之间差异不显著 ($P > 0.05$);19.0~21.0 °C 时最低,S4 组酶活力显著高于另外 6 组 ($P < 0.05$);23.0 °C 又有所升高,其中 S6、S7 组极显著高于 S1~S5 组 ($P < 0.01$);即在水温 17 °C 和 23 °C 时仿刺参肠道淀粉酶活性较强,此时对饲料中的糖类物质消化利用率较高,而丰富的脂肪酸又有助于提高淀粉酶活性。

2.4.3 对蛋白酶活力的影响

仿刺参摄食不同实验饲料时肠道中蛋白酶的活力变化趋势与淀粉酶不同(表 8)。整个实验中,幼参肠蛋白酶的活力随饲料中添加脂肪酸种类的增多而降低。添加了 4 种脂肪酸的 S4、S5、S6 和 S7 组幼参肠蛋白酶的活力显著低于其他 3 组 ($P < 0.05$)。

不同实验阶段(水温下),实验幼参肠蛋白酶的活力也不同,基本呈倒 V 字形变化:即实验前 20d(15.0 °C),幼参肠蛋白酶活力逐渐升高,S6 和 S7 组显著低于 S1 和 S2 组 ($P < 0.05$);在 17.0~19.0 °C 之间达最大值,S4、S5、S6 和 S7 组仍显著低于 S1 组 ($P < 0.05$),但差幅度变小,此后随温度升高逐渐下降。

仿刺参肠道研磨液样品中蛋白浓度和蛋白酶活力随温度的变化规律与特殊生长率 SGR 随温度的变化规律相同,而与淀粉酶活力变化规律相异,说明了仿刺参主要依靠体内消化蛋白质物质产生的能量来满足生长的需

要,其肠道内脂肪酶活性极低,无法用普通的聚乙烯醇-橄榄油乳化液法测出也同时证明了这一点。

表 7 摄食实验饲料的仿刺参肠道淀粉酶活力(U/mg 蛋白质,平均值±标准误,n=3)

Table 7 Amylase activity(U/mg protein)in intestines of the sea cucumber fed the experimental diets at varied water temperature (Mean ± S. E, n=3)

温度(°C) Temperature(°C)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
15	26.66±0.33 ^b	33.69±1.61 ^c	44.50±0.78 ^d	18.54±1.56 ^a	17.09±0.11 ^a	28.30±1.88 ^b	53.96±0.76 ^e
	177.03±2.21 ^a	168.17±4.75 ^{ab}	175.14±2.22 ^{ac}	155.08±2.47 ^b	166.82±1.50 ^{bc}	161.88±2.26 ^b	192.41±2.39 ^d
19	25.55±2.75 ^a	23.66±2.76 ^{ab}	27.24±3.54 ^a	36.01±1.81	17.19±0.21 ^{bc}	36.86±0.266	23.62±2.72 ^{ac}
	13.24±1.84 ^a	25.48±2.68 ^b	41.71±0.1	40.69±2.69	22.04±2.42 ^b	22.71±1.81 ^b	33.21±0.91 ^c
23	81.76±2.95 ^a	80.57±0.74 ^a	72.89±1.68 ^b	61.53±0.72 ^c	73.93±1.17 ^b	89.10±1.21 ^a	86.15±1.64 ^a
	平均 Average	64.85 ^a	66.31 ^a	72.30 ^a	62.37 ^a	59.41 ^a	67.77 ^a

表 8 摄食实验饲料的仿刺参肠道蛋白酶的活力(U/mg 蛋白质,平均值±标准误,n=3)

Table 8 Protease activity(U/mg protein)in intestines of the sea cucumber fed the experimental diets at varied water temperature (Mean ± S. E, n=3)

温度(°C) Temperature(°C)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
15	219.3±14.5 ^a	223.1±11.5 ^a	161.7±30.9 ^b	192.7±0.6 ^{ab}	188.2±4.5 ^{ab}	154.5±15.3 ^{bc}	109.1±11.1 ^c
	291.4±37.2 ^b	215.8±15.3 ^{ac}	282.1±20.9 ^{bc}	182.9±25.1 ^{ad}	201.2±7.9 ^{ac}	276.6±9.4 ^{bc}	247.4±4.3 ^{bcd}
19	279.5±36.2 ^a	218.8±11.4 ^{bc}	252.1±12.5 ^{ab}	191.3±12.1 ^c	195.2±12.3 ^{bc}	180.2±9.6 ^c	218.2±7.9 ^{bc}
	141.1±4.4 ^{ab}	136.2±4.1 ^b	170.3±12.3 ^c	153.9±0.7 ^{de}	147.1±3.7 ^{ad}	146.1±10.3 ^{abd}	160.6±0.8 ^{ce}
23	127.8±4.1 ^a	122.4±2.9 ^{ab}	114.3±5.6 ^{ac}	109.3±2.4 ^{bc}	105.8±0.2 ^{cd}	81.3±5.5 ^e	90.9±6.0 ^{de}
	平均 Average	211.8 ^a	183.3 ^a	196.1 ^a	166.02 ^b	167.8 ^b	167.7 ^b

注:实验刺参初始蛋白活性为 240.8±6.9 U/mg 蛋白

2.5 饲料中脂肪酸种类对仿刺参肠道中过氧化氢酶和 SOD 活性的影响

2.5.1 对过氧化氢酶活性的影响

过氧化氢酶具有重要的生理功能,其在细胞内与产生 H₂O₂ 的需氧脱氢酶类同时存在,能将细胞代谢所产生的毒性物质 H₂O₂ 迅速加以清除,从而共同保护血红蛋白、巯基酶和膜蛋白,其活性与生物代谢强度及抗寒、抗病能力有一定关系。

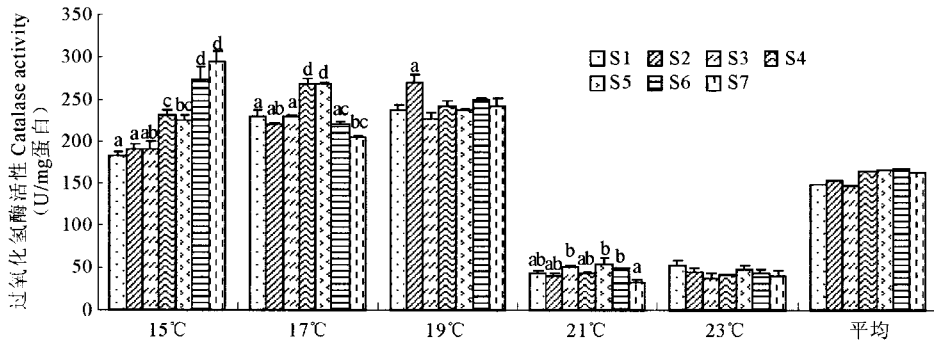


图3 摄食实验饲料的仿刺参肠道过氧化氢酶的活性(U/mg蛋白质,平均值±标准误, $n=3$)

Fig. 3 Catalase activity(U/mg protein)in intestines of the sea cucumber fed the experimental diets at varied water temperature (Mean \pm S. E, $n=3$)

摄食不同实验饲料的仿刺参肠道中过氧化氢酶的活力不同(图3)。整个实验中,幼参肠过氧化氢酶的活力随饲料中添加脂肪酸种类的增多而略有增加。添加了4种脂肪酸的S4、S5、S6和S7组幼参肠过氧化氢酶的活力显著高于其他3组($P < 0.05$),即仿刺参摄食添加4种脂肪酸饲料后,生物代谢增强,抗病能力增强。

不同实验期间(水温下),实验幼参肠过氧化氢酶的活力不同,分为两个明显阶段(图3):初始幼参(13.0 °C)肠过氧化氢酶活力为 139.24 ± 2.37 (U/mg蛋白质),水温15~19 °C时即实验前40 d,逐渐升高,21.0 °C后活性突然降低。实验期间,摄食实验饲料的仿刺参生长较快时,体内过氧化氢酶活性也高,反之较低;即在水温升至21 °C之前,仿刺参生长速度较快,21~23 °C时生长明显变慢。

2.5.2 对SOD的影响

超氧化物歧化酶是生物体内抗氧化防御系统的重要酶之一,它在清除生物体内活性氧的过程中起着重要的作用,因此为疾病的检出和机体防御机能的变化提供必要的证据。SOD是一切需氧有机体清除 O_2^- 保护机体免受伤害的一种关键酶,其活性与生物的免疫水平密切相关。

初始刺参体内超氧化物歧化酶的活性为 $76.71 \pm 9.27\%$,各实验组随水温升高SOD缓慢增加(图4),整个实验过程中各组之间无显著差异($P > 0.05$)。说明实验中仿刺参随水温的升高,体内代谢生成的超氧自由基增加,而饲料中脂肪酸的差异对此影响较小。

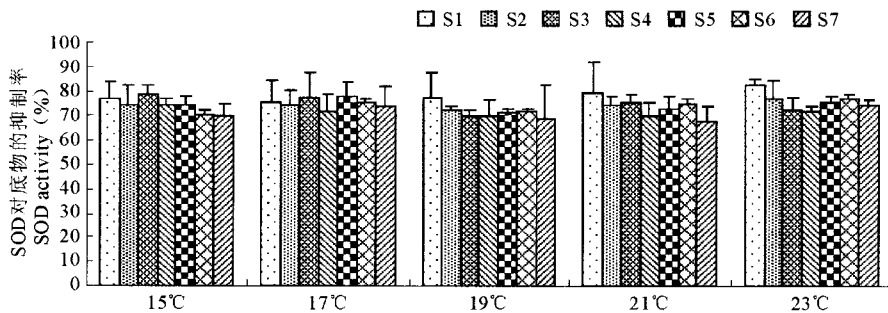


图4 摄食实验饲料的仿刺参肠道超氧化物歧化酶对底物邻苯三酚的抑制率(% ,平均值±标准误, $n=3$)

Fig. 4 SOD activity in intestines of the sea cucumber fed the experimental diets at varied water temperature (Mean \pm S. E, $n=3$)

3 讨论

水产动物对饲料中脂肪酸的需要主要取决于3个方面:一是种类、发育阶段和生理状态等;二是环境条件(如水温、水质和污染等);三是评价指标(如生长、免疫和肉质等)。许多研究证明,多数淡水鱼必需亚油酸(18 : 2n-6)和亚麻酸(18 : 3n-3);多数海水鱼类和贝类等必需二十碳五烯酸(EPA, 20 : 5n-3)和二十二碳六烯酸

(DHA, 22:6n-3)。洄游性鱼类和虾蟹必需这4种脂肪酸。有关仿刺参的必需脂肪酸目前尚未见报道。仿刺参消化管内容物以颗粒大小不同的沙泥、砾、双壳类的幼贝、桡足类和虾蟹类的脱皮壳、大叶藻、原生动物(14种)和细菌类等为主体,其中以硅藻(60种)为主。仿刺参的天然食物(如底栖硅藻和鼠尾藻等)中富含EPA和DHA等n-3系列高度不饱和脂肪酸,尤其是EPA;野生仿刺参体内n-3系列高度不饱和脂肪酸的含量也高于养殖仿刺参(李丹彤等 2006)。仿刺参天然饵料中脂肪酸种类组成决定了仿刺参对脂肪酸的需要。

本实验中,饲料S2~S6中LNA在添加的4种脂肪酸中的相对比值分别为2、24、12、2和1,而摄食这些饲料的仿刺参体内LNA的相应比值分别为1、6、3、2和1,即饲料中LNA的相对比值高于LNA在仿刺参体内的比值;饲料S1~S6中LA在添加的4种脂肪酸中的相对比值分别为3.5、7、3、6、2.5和2,而摄食这些饲料的仿刺参体内LA的相应比值为2.5、4、3、3.3、2.5和2,即饲料中LA的相对比值高于LA在仿刺参体内的比值。这说明仿刺参摄食后体内十八碳脂肪酸含量减少,而EPA的含量增加,是否饲料中的十八碳脂肪酸除作为能量和组织修复而消耗外,可能还有一部分作为原料转化为仿刺参体内的EPA。

在不添加DHA的S1~S4饲料组中,仿刺参体内DHA含量仍为2.07%~3.44%,似乎仿刺参也能将部分十八碳脂肪酸转化为DHA。但仿刺参摄食不添加DHA的饲料时,体内DHA含量远低于EPA含量;摄食添加DHA的饲料时,体内DHA含量与饲料中DHA含量相比呈明显的负增长;实验中摄食添加DHA的S5组生长显著高于不添加的S1~S4组海参,而与同时添加DHA和EPA的S6组始终保持差异不显著($P > 0.05$),充分说明了DHA对仿刺参的至关重要,也意味着仿刺参不能将十八碳脂肪酸转化为DHA,而仿刺参摄食不添加DHA的饲料时,体内的DHA可能另有来路。

研究发现,动物体内积累的DHA和EPA主要来自食物和海洋微生物(尤其是海洋真菌和微藻等)(Achman *et al.* 1964)。在已分离的产油海洋微藻中,金藻纲、黄纲、硅藻纲、红藻纲、绿藻纲和隐藻纲中都有富含EPA的藻类(Servel *et al.* 1994),富含DHA的藻类相对较少。向怡卉等(2006)测定发现,仿刺参消化道中同时含有DHA和EPA,后者含量最高。所以笔者认为,本实验中仿刺参摄食不添加DHA的饲料时,体内的DHA可能主要来自肠道内的微生物。

海水主要养殖鱼类稚、幼鱼适宜生长时,对饲料中DHA和EPA的需要量一般占饲料的0.5%~2.0%,DHA和EPA的比例多为0.5~2.5之间(王吉桥等 2001)。饲料中EFA过高或过低都会妨碍生长,饲料效率显著下降,引起鱼体成分变化并产生不良症状。本实验中摄食S6、S7组饲料的仿刺参,饲料中DHA和EPA的比例相同,且EPA+DHA(S6)(31.22%)>(S7)(19.25%);而S7组生长最快,确切说明平衡的脂肪酸更胜于单独增加最需要种类的量。实验S7饲料中LA+LNA为2.0%,二者之比为2:1,DHA和EPA之合接近1.0,二者比例6:1,此时仿刺参生长较快,这是否为仿刺参饲料适宜的必需脂肪酸种类和需要量,还需深入研究。

本实验中,摄食同种饲料的仿刺参在不同阶段即不同水温条件下生长速度不同,表明水温显著影响仿刺参对饲料适宜必需脂肪酸的需要。整个实验过程S2组(LA:LNA=20:1)和S1(LA:LNA=20:0)SGR基本保持差异不显著,但在实验最后的20d,S2组开始显著低于S1组($P < 0.05$),添加了亚油酸和少量 α -亚麻酸的S2组生长低于只添加亚油酸的S1组,且S1(LA+LNA)(18.20%)<S2(36.75%);此外在实验水温23℃时各实验组SGR与21℃时的差值分别为S7(1.007)>S6(0.931)>S5(0.914)>S4(0.880)>S3(0.866)>S2(0.624)>S1(0.567),即当水温较高时随多不饱和脂肪酸数量的增加,生长SGR降低越大,可能因为多不饱和脂肪酸熔点低,温度较高时易被氧化,稳定性降低。添加DHA(S5)和EPA+DHA(S6)及上述4种脂肪酸(S7)饲料的幼参生长速度快于其他组,主要表现在低水温(13.0~15.0℃)时幼参很快适应了实验饲料,早开食,不仅呈正生长,生长快,而其他组的幼参适应新饲料慢,呈负生长;在最适宜水温(17.0~19.0℃)时生长更快。同理,入冬时水温降低,摄食含上述4种脂肪酸饲料的幼参又会很快适应温度和饲料而快速生长。所以,在仿刺参冬季保苗、早春和深秋低温时更应投喂添加上述4种脂肪酸的饲料,以促进海参生长。

实验7组饲料中(C18:1)与4种脂肪酸的和S1(71.30%),S2(75.84%),S3(77.90%),S4(70.58%),S5(64.36%),S6(70.70%)和S7(77.14%)基本相仿,实验中摄食S1组(LA+LNA=18.20%+0%)与S2组(LA+LNA=34.9%+1.84%)仿刺参生长SGR差异不显著($P > 0.05$),S3组(LA:LNA=1:2)与S4组

(LA:LNA=2:1)保持生长差异不显著($P > 0.05$),说明单独增加 LA 或 LNA 的量,对仿刺参生长影响较小,证明 LA 与 LNA 皆为仿刺参非必需脂肪酸,而 S3、S4 组生长显著高于 S1、S2 组($P < 0.05$)又证实(C18:1)不能完全弥补仿刺参对 LA 和 LNA 的需求。

仿刺参摄食添加 4 种脂肪酸(S7)的饲料时,对饲料中脂肪和蛋白质的消化率较高,这与其肠道中淀粉酶的活力显著高于其他各组相一致,而与肠蛋白酶的活力随饲料中添加脂肪酸种类的增多而降低不一致。许多研究表明,水生动物消化率与消化酶的比活性未必呈正相关,因此采用了有效消化的概念,如用消化酶与食物接触的时间或绝对消化酶活性等来衡量对营养成分的有效消化能力。在本实验中,若用肠蛋白酶的活力与肠道蛋白质含量的乘积来表示对饲料蛋白的消化率,仿刺参摄食添加 4 种脂肪酸的饲料时,对饲料中蛋白质的消化率就比较接近实际。

参 考 文 献

- 王吉桥,陈国泰,李振武,李凡,李飞. 2007. 3 种粘合剂及其不同组合对仿刺参配合饲料水稳定性和消化率的影响. 饲料博览, 3:5~8
- 王吉桥,蒋湘辉,赵丽娟,苏久旺,孙丕海. 2007. 不同饲料蛋白源对仿刺参幼参生长的影响. 饲料博览, 19: 9~13
- 王吉桥,张欣,刘革利. 2001. 海水鱼类必需脂肪酸营养与需要的研究进展. 水产科学, 20(5): 39~43
- 许雅娟,赵艳景,胡虹. 2006. 邻苯三酚自氧化法测定超氧化物歧化酶活性的研究. 西南民族大学学报, 32(3): 1 207~1 209
- 向怡卉,苏秀榕,董明敏. 2006. 海参体壁及消化道的氨基酸和脂肪酸分析. 水产科学, 25(6): 280~282
- 朱建新,刘慧,冷凯良,曲克明,王诗欢,薛志宁,孙阳. 2007. 几种常用饵料对稚幼参生长影响的初步研究. 海洋水产研究, 28(5):48~53
- 朱伟,麦康森,张百刚,王福振,徐桂玉. 2005. 刺参参对蛋白质和脂肪需求量的初步研究. 海洋科学, 29(3):54~58
- 李爱杰. 2000. 水产动物营养与饲料学. 北京:中国农业出版社
- 李丹彤,常亚青,陈炜. 2006. 獐子岛野生刺参体壁营养成分的分析. 大连水产学院学报, 21(3): 278~282
- 宋春华,王祖杰. 2005. 刺参的人工养殖. 生物学通报, 40(2):26~27
- 桂远明. 2004. 水产动物机能学实验. 北京:中国农业出版社, 113~120
- 张春云,王印庚,荣小军,孙惠玲,董树刚. 2004. 国内外海参自然资源、养殖状况及存在问题. 海洋水产研究, 25(3): 89~97
- 张群乐,刘永宏. 1998. 海参海胆增殖技术. 青岛:青岛海洋大学出版社, 106~108
- 袁成玉. 2005. 海参饲料研究的现状与发展方向. 水产科学, 24(12): 54~56
- 隋锡林,胡庆明. 1986. 幼参人工配合饲料的研究. 水产科学, 5(3): 22~25
- Achman, R. G., Jangaard, P. M., Hoyle, R. J. *et al.* 1964. Origin of marine fatty acids. Analysis of the fatty acids produced by the diatom *Skeletonema costatum*. J. Fish Res. Board Can, 21:747~756
- Chen, J. X. 2004. Present status and prospects of sea cucumber industry in China. Roma: Advances in sea cucumber aquaculture and management. FAO Fisheries Technical Paper, 25~38
- Servel, M. O., Claire, C., Derrien, A. *et al.* 1994. Fatty acid composition of some marine microalgae. Phytochem. 36:691~693