

饲料脂肪源对大菱鲆幼鱼生长性能和肌肉脂肪酸组成的影响

李思萌 吴立新* 姜志强 陈 炜

(大连海洋大学辽宁省水生生物学重点实验室,大连 116023)

摘 要:以不同脂肪源配制成等氮等脂的7种试验饲料,对体重为 (27.31 ± 0.10) g的大菱鲆幼鱼进行40 d的饲养试验,旨在探讨饲料脂肪源对大菱鲆幼鱼生长性能和肌肉脂肪酸组成的影响。7种试验饲料的脂肪源分别为鱼油、豆油、菜籽油、花生油、猪油、鱼油+豆油(鱼油:豆油=1:1)和鱼油+豆油+猪油(鱼油:豆油:猪油=3:4:3)。每种饲料设3个重复,每个重复12尾鱼。结果表明:鱼油+豆油组的增重率和特定生长率显著高于鱼油组、豆油组和菜籽油组($P<0.05$),花生油组、猪油组和鱼油+豆油+猪油组的增重率和特定生长率则显著低于其他各组($P<0.05$)。饲料系数以鱼油+豆油组最低,猪油组最高。各组干物质和总磷表观消化率差异不显著($P>0.05$),猪油组和鱼油+豆油+猪油组的粗脂肪表观消化率显著低于其他各组($P<0.05$)。花生油组、鱼油+豆油组和豆油组的粗蛋白质表观消化率显著高于猪油组($P<0.05$)。摄食不同脂肪源饲料的大菱鲆幼鱼鱼体水分、粗脂肪和粗灰分含量差异不显著($P>0.05$)。猪油组鱼体粗蛋白质含量显著低于菜籽油组、花生油组和鱼油组($P<0.05$),其余各组间无显著差异($P>0.05$)。除C14:0以外,各组大菱鲆肌肉中的脂肪酸含量和相应饲料中脂肪酸含量呈正相关。大菱鲆幼鱼肌肉中n-3多不饱和脂肪酸(PUFA)含量以鱼油组和鱼油+豆油组较高,而以花生油组和猪油组较低。结果提示:豆油和菜籽油是大菱鲆幼鱼饲料良好的脂肪源,鱼油和豆油按1:1混合添加则能使大菱鲆幼鱼更好地生长。

关键词:大菱鲆幼鱼;脂肪源;生长性能;脂肪酸组成

中图分类号:S963

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2015)05-1421-10

脂肪作为鱼类生长所必需的营养物质,是鱼类组织细胞的组成成分,参与脂溶性维生素的吸收及在体内的运输,为鱼类的生长发育提供主要的能量来源,更重要的是,脂肪为鱼类提供其自身所不能合成的必需脂肪酸^[1]。不同脂肪源的脂肪酸组成不同,为鱼类所利用的方式和能力不同,因而对鱼类生长、代谢等的影响也有所差别^[2-3]。大量试验表明,C20以上的n-3高不饱和脂肪酸(HUFA)是海水鱼的必需脂肪酸^[1],海水鱼对其有绝对的需求量,而鱼油所含长链多不饱和脂肪

酸[PUFA,包括C20:5n-3(EPA)和C22:6n-3(DHA)]比较丰富,鱼类对其利用率较高,是传统水产饲料的主要脂肪源。由于全球水产养殖的快速增长,使相应的饲料行业也迅速发展,对鱼油的需求量加大,原本有限的鱼油产量不能满足水产养殖的需要,造成鱼油价格不断上涨,寻找能替代鱼油的合适的脂肪源,降低饲料成本,对水产养殖有重要意义^[4]。

为解决鱼油价格上涨造成的饲料成本过高的问题,目前国内外学者在不同脂肪源对水产饲料

收稿日期:2014-11-30

基金项目:国家海洋局公益性行业科研专项(201205025,201405003)

作者简介:李思萌(1991—),女,山东聊城人,硕士研究生,从事水产动物营养学的研究。E-mail:794341295@qq.com

*通信作者:吴立新,教授,硕士生导师,E-mail:wulixin@dlou.edu.cn

续表 1

项目 Items	组别 Groups						
	I	II	III	IV	V	VI	VIII
复维复矿 Vitamins and minerals	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
抗氧化剂 BHT	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
三氧化二铬 Cr ₂ O ₃	0.50	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	100.00
营养水平 Nutrient levels							
水分 Moisture	14.58	13.26	14.47	14.94	14.53	13.94	13.70
粗蛋白质 Crude protein	48.31	48.16	48.05	48.20	48.12	48.11	47.93
粗脂肪 Crude lipid	16.42	16.83	16.70	16.63	16.72	16.53	16.17
粗灰分 Ash	13.80	13.83	13.80	13.91	13.90	13.95	13.72
总能 Gross energy/(MJ/kg)	20.49	20.54	20.68	20.64	20.57	20.56	20.53

复维复矿为每千克饲料提供 Vitamins and minerals provided the following per kg of diets:VD₃ 12.9 mg,核黄素 riboflavin 360.0 mg,视黄醇醋酸酯 retinol acetate 32.0 mg,硫胺素 thiamine 110.0 mg,生育酚 tocopherol 200.0 mg,生物素 biotin 10.0 mg,泛酸 pantothenic acid 359.0 mg,烟酸 nicotinic acid 1 026.0 mg,盐酸吡哆醇 pyridoxine hydrochloride 86.0 mg,叶酸 folic acid 20.0 mg,VB₁₂ 1.2 44 mg,肌醇 inositol 4 000.0 mg,抗坏血酸 ascorbic acid 2 000.0 mg,氯化胆碱 choline chloride (50%) 10 000.0 mg,MgSO₄·7H₂O 5 066.9 mg,KCl 3 020.0 mg,CoCl₂ 40.0 mg,KAl(SO₄)₂ 12.7 mg,ZnSO₄·7H₂O 253.0 mg,CuSO₄·5H₂O 10.0 mg,KI 8.0 mg,MnSO₄·4H₂O 73.2 mg,Na₂SeO₃ 2.5 mg,C₆H₅O₇Fe·5H₂O 1 632.0 mg,NaCl 100.0 mg,NaF 4.0 mg,Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 13 000.0 mg。

表 2 试验饲料脂肪酸组成
Table 2 Fatty acid composition of experimental diets %

脂肪酸 Fatty acids	组别 Groups						
	I	II	III	IV	V	VI	VIII
C14:0	5.13	2.82	2.68	2.55	3.07	3.98	3.99
C16:0	19.57	16.23	12.56	15.30	24.61	17.90	19.81
C16:1	6.43	3.41	3.40	3.24	3.81	4.94	4.70
C16:4n-3	0.67	0.72	0.70	0.65	0.52	0.68	0.82
C17:0	0.65	0.62	0.42	0.40	0.36	0.54	0.53
C17:1	0.87	0.56	0.53	0.50	0.51	0.70	0.67
C18:0	4.38	3.85	2.82	3.47	11.69	4.06	5.75
C18:1n-7	3.22	2.15	2.78	1.58	2.58	2.62	2.40
C18:1n-9	11.78	17.47	32.55	25.61	24.60	14.83	17.40
C18:2n-6	9.28	34.23	19.02	27.10	13.09	21.60	20.74
C18:3n-3	1.43	3.33	4.88	1.07	1.12	2.45	2.10
C18:4n-3	1.48	0.54	0.56	0.50	0.44	1.05	0.92
C20:1	3.31	0.57	1.24	1.07	0.93	1.74	1.18
C20:4n-6	0.84	0.43	0.45	—	0.51	0.65	0.56
C20:5n-3 (EPA)	10.60	6.57	7.04	6.70	5.82	9.17	8.40
C22:0	—	—	—	1.72	—	—	—
C22:1	4.33	—	1.07	—	—	1.91	1.15
C22:5n-3	1.41	0.79	0.90	0.89	0.83	1.16	0.98
C22:6n-3 (DHA)	12.36	5.69	6.40	5.18	5.51	10.01	7.95

续表 2

脂肪酸 Fatty acids	组别 Groups						
	I	II	III	IV	V	VI	VIII
SFA ¹⁾	29.73	23.53	18.48	23.44	39.73	26.48	30.08
MUFA ²⁾	29.94	24.17	41.57	32.00	32.43	26.74	25.17
PUFA ³⁾	38.07	52.30	39.95	42.09	27.84	46.79	42.47
HUFA ⁴⁾	27.36	14.74	16.05	13.92	13.63	22.72	19.63
n-3 ⁵⁾	27.95	17.64	20.48	14.99	14.24	24.52	21.17
n-6 ⁶⁾	10.12	34.67	19.47	27.10	13.60	22.27	21.30
n-3/n-6	2.76	0.51	1.05	0.55	1.05	1.10	0.99
EPA+DHA	22.96	12.26	13.44	11.88	11.33	19.18	16.35

¹⁾ SFA,饱和脂肪酸 saturated fatty acids:C14:0、C16:0、C17:0、C18:0、C20:0。
²⁾ MUFA,单不饱和脂肪酸 monounsaturated fatty acids:C18:1n-7、C18:1n-9、C20:1、C22:1。
³⁾ PUFA,多不饱和脂肪酸 poly unsaturated fatty acids:C16:4n-3、C18:2n-6、C18:3n-3、C18:4n-3、C20:4n-6、C20:5n-3、C22:5n-3、C22:6n-3。
⁴⁾ HUFA,高不饱和脂肪酸 highly unsaturated fatty acids:C18:4n-3、C20:4n-6、C20:5n-3、C22:5n-3、C22:6n-3。
⁵⁾ n-3:C16:4n-3、C18:3n-3、C18:4n-3、C20:5n-3、C22:5n-3、C22:6n-3。
⁶⁾ n-6:C18:2n-6、C20:4n-6。

1.3 样品采集及分析测定

试验结束时将试验鱼饥饿 24 h,将每箱鱼分别称重并随机取 3 尾装于自封袋,置于-20 ℃冰箱中保存,用于体组成测定。每箱随机另取 2 尾,取其背肌,经冷冻干燥后,置于-80 ℃冰箱保存用于脂肪酸组成测定。

饲料、鱼体、粪便的常规营养成分测定参照 AOAC (1995) ^[11] 方法。水分含量通过在 105 ℃烘箱烘至恒重测定;粗蛋白质含量用凯氏定氮仪(总氮×6.25)测定;粗脂肪含量采用索氏抽提法,以乙醚为抽提液测定;粗灰分含量通过在马福炉中 550 ℃灼烧(8 h)测定;总磷含量采用钼黄比色法测定;Cr₂O₃ 含量采用湿式化定量法测定;总能值用 HDC6000 自动量热仪测定。

脂肪酸组成的测定方法如下:粗脂肪采用改进的 Folch 法^[12]提取,提取的粗脂肪在氢氧化钾-甲醇 70 ℃下皂化 1 h,用氟化硼(BF₃)催化法^[13]甲酯化后,浓缩转移至石油醚中用于色谱分析。脂肪酸组成用日本岛津 GC-2010 气相色谱仪分析。色谱柱为硝基对苯二甲酸改性的聚乙二醇(FFAP) 抗氧化交联石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.3 μm),进样口温度 260 ℃,色谱柱升温程序:初温 160 ℃,以 2 ℃/min 升至 230 ℃保持至出峰完毕。分流进样,分流比为 100:1,载气为高纯氮气(流速为 1 mL/min),检测器为氢离子火

焰检测器,温度为 230 ℃。

1.4 计算公式

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

特定生长率(specific growth ratio,SGR,%/d)=
$$100\times (\ln W_t-\ln W_0)/t;$$

蛋白质效率(protein efficiency ratio,PER,%)=
$$100\times (W_t-W_0)/(F\times P);$$

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

式中:W₀ 为试验开始时鱼体重(g);W_t 为试验结束时鱼体重(g);F 为饲料干物质摄入量(g);P 为饲料粗蛋白质含量(%);t 为养殖试验天数(d)。

1.5 统计分析

采用 SPSS 17.0 软件对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),若差异显著,则用 Duncan 氏法多重比较检验组间差异,显著水平为 P<0.05。

2 结 果

2.1 生长性能

如表 3 所示,试验鱼的增重率和特定生长率均以鱼油+豆油组最高,显著高于其他各组(P<0.05),其次为鱼油组、豆油组和菜籽油组,显著高

于花生油组、猪油组和鱼油+豆油+猪油组 ($P<0.05$)。鱼油+豆油组蛋白质效率显著高于鱼油+豆油+猪油组 ($P<0.05$),其他各组间无显著差异 ($P>0.05$)。饲料系数以鱼油+豆油组最低,但与鱼油组、豆油组、菜籽油组之间无显著差异 ($P>0.05$),上述4组均显著低于花生油组、猪油组和鱼油+豆油+猪油组 ($P<0.05$)。

表3 饲料脂肪源对大菱鲆幼鱼生长性能的影响(平均值±标准误)
Table 3 Effects of dietary lipid source on growth performance of juvenile turbot (mean±SE)

组别 Groups	初始尾重 IBW/g	终末尾重 FBW/g	增重率 WGR/%	特定生长率 SGR/(%/d)	蛋白质效率 PER/%	饲料系数 FCR
I	27.32±0.10	40.07±0.49 ^b	46.73±0.36 ^b	0.96±0.03 ^b	2.16±0.23 ^{ab}	0.99±0.02 ^a
II	27.43±0.12	40.16±0.58 ^b	46.40±0.53 ^b	0.95±0.02 ^b	2.05±0.02 ^{ab}	1.05±0.04 ^a
III	27.19±0.16	39.68±0.28 ^b	45.93±0.62 ^b	0.95±0.02 ^b	2.02±0.01 ^{ab}	1.03±0.01 ^a
IV	27.37±0.15	38.01±0.22 ^a	38.84±0.27 ^a	0.82±0.01 ^a	1.94±0.06 ^{ab}	1.24±0.07 ^b
V	27.41±0.12	37.27±0.79 ^a	37.31±0.69 ^a	0.77±0.05 ^a	1.85±0.07 ^{ab}	1.35±0.05 ^b
VI	26.98±0.08	40.94±0.56 ^b	53.17±0.30 ^c	1.06±0.01 ^c	2.36±0.17 ^b	0.96±0.04 ^a
VII	27.34±0.12	37.08±0.48 ^a	37.82±0.78 ^a	0.81±0.02 ^a	1.72±0.14 ^a	1.32±0.01 ^b

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。
Values with different small letter superscripts in the same column mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 营养成分表观消化率

如表4所示,各组干物质和总磷的表观消化率无显著差异 ($P>0.05$)。花生油组、鱼油+豆油组和豆油组粗蛋白质表观消化率显著高于猪油组 ($P<0.05$),与其他各组无显著差异 ($P>0.05$)。粗脂肪表观消化率在鱼油组、豆油组、菜籽油组、花生油组和鱼油+豆油组之间无显著差异 ($P>0.05$),均显著高于鱼油+豆油+猪油组 ($P<0.05$),而猪油组则显著低于鱼油+豆油+猪油组 ($P<0.05$)。

表4 饲料脂肪源对饲料中营养成分表观消化率的影响(平均值±标准误)
Table 4 Effects of dietary lipid source on nutrient apparent digestibility in diets (mean±SE)

组别 Groups	干物质 Dry matter	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	总磷 Total phosphorus
I	63.13±0.80	85.43±0.23 ^{ab}	68.07±0.49 ^c	59.30±1.26
II	62.42±0.51	85.68±0.15 ^b	68.38±1.00 ^c	61.87±1.01
III	63.36±0.53	85.11±0.11 ^{ab}	69.28±0.62 ^c	59.65±2.00
IV	62.61±1.40	86.74±0.56 ^b	67.20±0.68 ^c	62.54±1.95
V	60.32±1.50	82.79±0.37 ^a	57.56±1.33 ^a	60.02±1.25
VI	62.71±1.66	85.88±0.53 ^b	66.99±0.86 ^c	60.85±2.01
VII	60.69±0.30	83.94±2.19 ^{ab}	62.39±1.19 ^b	56.32±1.33

2.3 体组成

如表5所示,饲料脂肪源对鱼体水分、粗脂肪和粗灰分含量均没有显著影响 ($P>0.05$)。猪油组鱼体粗蛋白质含量显著低于菜籽油组、花生油组和鱼油组 ($P<0.05$),其余各组间无显著差异 ($P>0.05$)。

2.4 肌肉脂肪酸组成

如表6所示,各组肌肉中均是以C16:0、C22:6n-3含量较高,其次为C18:1n-9、C18:2n-6。猪油组和鱼油+豆油+猪油组中饱和脂肪酸(SFA)含量最高,而以EPA和DHA为主的HUFA含量则以鱼油组最高,鱼油+豆油组次之,菜籽油组的单不饱和脂肪酸(MUFA)含量则明显高于其他各组。如图1所示,除C14:0以外,各组大菱鲆肌肉中的脂肪酸含量和相应饲料中脂肪酸含量呈正相关。各组肌肉中MUFA含量均比饲料中的低,而HUFA含量则高于饲料中。

表 5 饲料脂肪源对大菱鲆幼鱼体组成的影响(湿重基础,平均值±标准误)

Table 5 Effects of dietary lipid source on body composition of juvenile turbot (wet weight basis, mean±SE) %				
组别 Groups	水分 Moisture	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Ash
I	78.58±0.05	14.75±0.13 ^b	3.27±0.04	3.35±0.04
II	78.93±0.05	14.57±0.04 ^{ab}	3.30±0.14	3.39±0.05
III	77.81±1.26	14.85±0.05 ^b	3.63±0.16	3.81±0.03
IV	78.45±0.40	14.84±0.11 ^b	3.30±0.22	3.58±0.05
V	78.08±0.69	14.09±0.05 ^a	3.54±0.32	3.90±0.30
VI	78.88±0.15	14.58±0.15 ^{ab}	3.48±0.19	3.34±0.10
VII	78.12±0.62	14.35±0.42 ^{ab}	3.54±0.26	3.77±0.35

表 6 饲料脂肪源对大菱鲆幼鱼肌肉脂肪酸组成的影响(占总脂肪酸的百分比)

Table 6 Effects of dietary lipid source on fatty acid composition in muscle of juvenile turbot (percentage in total fatty acids) %							
脂肪酸 Fatty acids	组别 Groups						
	I	II	III	IV	V	VI	VIII
C14:0	2.89	1.78	2.70	2.43	2.16	2.28	2.87
C16:0	19.34	17.66	16.35	18.08	22.57	19.07	21.55
C16:1	4.74	2.46	3.41	3.23	3.00	3.37	3.66
C18:0	4.45	4.89	3.95	4.26	5.66	4.86	4.68
C18:1n-7	3.17	2.62	3.13	2.51	2.92	2.87	2.93
C18:1n-9	12.03	13.76	22.55	17.91	16.99	13.00	14.65
C18:2n-6	9.68	20.18	14.99	19.96	11.98	14.78	15.65
C18:3n-3	1.04	1.50	2.38	0.87	0.78	1.17	1.07
C18:4n-3	0.83	0.48	0.51	0.48	0.30	0.46	0.58
C20:1	1.93	0.94	1.42	1.25	1.02	1.25	1.34
C20:2n-6	0.51	0.60	0.67	0.87	0.80	0.58	0.64
C20:4n-6	1.95	1.19	1.54	1.53	1.99	1.43	1.81
C20:5n-3 (EPA)	8.79	6.73	6.95	6.63	5.64	8.00	6.70
C22:1	1.40	0.46	0.79	0.47	0.24	0.83	0.78
C22:5n-3	2.55	2.14	2.00	2.11	1.71	2.68	2.17
C22:5n-6	0.60	0.45	0.39	0.41	0.46	0.61	0.51
C22:6n-3 (DHA)	22.98	19.34	16.40	16.19	18.63	21.82	18.36
SFA ¹⁾	26.68	24.33	23.00	24.77	30.39	26.21	29.10
MUFA ²⁾	23.27	20.24	31.30	25.37	24.17	21.32	23.36
PUFA ³⁾	48.93	52.61	45.83	49.05	42.29	51.53	47.49
HUFA ⁴⁾	37.70	30.33	27.79	27.35	28.59	35.00	30.13
n-3 ⁵⁾	36.19	30.19	28.24	26.28	27.06	34.13	28.88
n-6 ⁶⁾	12.74	22.42	17.59	22.77	15.23	17.40	18.61
n-3/n-6	2.84	1.35	1.61	1.15	1.78	1.96	1.55
EPA+DHA	31.77	26.07	23.35	22.82	24.27	29.82	25.06

1) SFA,饱和脂肪酸 saturated fatty acids:C14:0、C16:0、C17:0、C18:0。

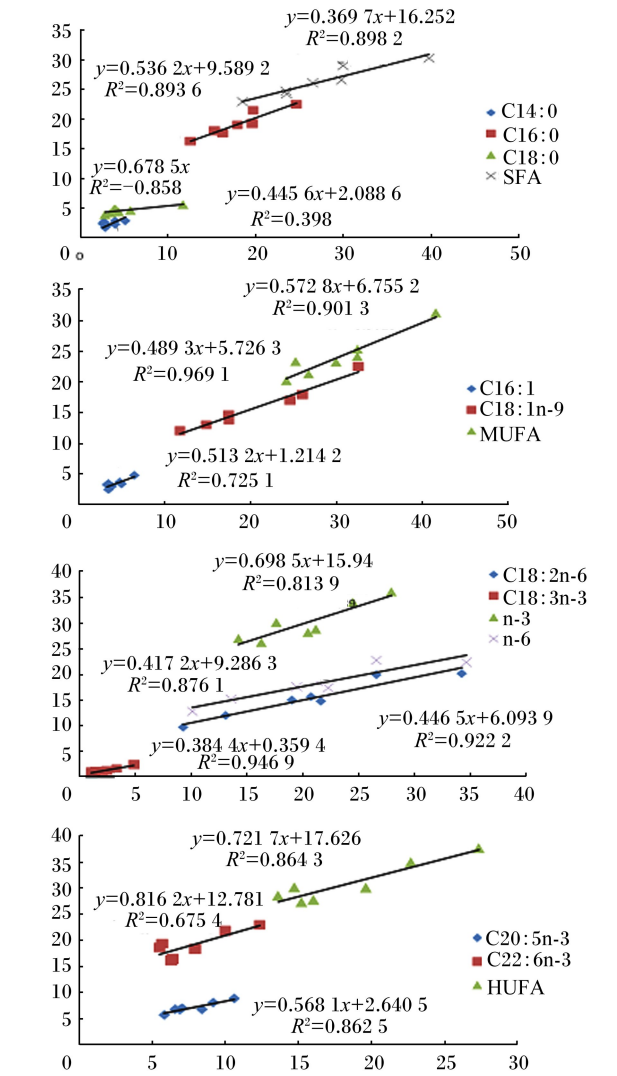
2) MUFA,单不饱和脂肪酸 monounsaturated fatty acids:C16:1、C18:1n-7、C18:1n-9、C20:1、C22:1。

3) PUFA,多不饱和脂肪酸 poly unsaturated fatty acids:C18:2n-6、C18:3n-3、C18:4n-3、C20:2n-6、C20:4n-6、C20:5n-3、C22:5n-3、C22:5n-6、C22:6n-3。

4) HUFA,高不饱和脂肪酸 highly unsaturated fatty acids:C18:4n-3、C20:4n-6、C20:5n-3、C22:5n-3、C22:5n-6、C22:6n-3。

5) n-3:C18:3n-3、C18:4n-3、C20:5n-3、C22:5n-3、C22:6n-3。

6) n-6:C18:2n-6、C20:2n-6、C20:4n-6、C22:5n-6。



以饲料脂肪酸含量(%,占总脂肪酸的百分比)为横坐标,以对应的肌肉脂肪酸含量(%,占总脂肪酸的百分比)为纵坐标。The dietary fatty acid contents(%, percentage in total fatty acids) as abscissa and the corresponding muscle fatty acid contents(%, percentage in total fatty acids) as ordinate.

图1 大菱鲃肌肉脂肪酸含量与饲料脂肪酸含量之间的相关关系

Fig.1 Relationships between fish muscle fatty acid contents and dietary fatty acid contents

3 讨论

本试验结果显示,各组试验鱼的增重率和特定生长率从高到低依次为鱼油+豆油组、鱼油组、豆油组、菜籽油组、花生油组、鱼油+豆油+猪油组、

猪油组。这与高淳仁等^[14]用不同脂肪源饲料饲喂真鲷(*Pagrosomus major*)的研究结果相似,说明鱼油、豆油混合添加有利于大菱鲃幼鱼的生长,豆油和菜籽油作为饲料脂肪源与鱼油效果差别不大,而含过多饱和脂肪酸的动物油脂不利于鱼体生长。从饲料系数来看,大菱鲃幼鱼对以鱼油+豆油、鱼油、菜籽油和豆油为脂肪源的饲料利用较优。蛋白质效率除鱼油+豆油+猪油组显著低于鱼油+豆油组外,其他各组间无显著差异,这表明除鱼油+豆油+猪油组成的混合油外,以其他油脂作为脂肪源,饲料营养价值不比鱼油差。

研究表明,海水鱼对 HUFA(特别是 n-3 HUFA)有特殊需求^[15]。本试验中鱼油组和鱼油+豆油组饲料中 n-3 PUFA(特别是 EPA 和 DHA)含量明显高于其他组,这可能是这 2 组大菱鲃幼鱼生长较好的原因。Sargent 等^[16]报道,脂肪源的差异实质是脂肪酸组成和比例的差异,饲料中必需脂肪酸含量和脂肪酸比例可对鱼类生长产生不同影响。本试验中鱼油组的 EPA+DHA 含量最高,而其增重率和特定生长率却较鱼油+豆油组低,可能是由于这 2 组饲料中 EPA、DHA 的绝对含量均已满足了鱼体的生长需求,但鱼油+豆油组饲料的 n-3/n-6 比鱼油组的更适合大菱鲃幼鱼生长,或者可能和鱼油组饲料中 C18:3n-3 含量比鱼油+豆油组低有关。季文娟^[17]在黑鲷(*Sparus macrocephalus*)的研究中也有类似发现,鱼油组饲料的 EPA+DHA 含量最高,但其 C18:3n-3 含量低于豆油组,则其增重率也低于豆油组。本试验中豆油和菜籽油作为脂肪源也表现出了较好的促生长效果,说明其饲料中 n-3 PUFA(特别是 EPA 和 DHA)含量已可以满足鱼体生长,而花生油组大菱鲃幼鱼生长效果较差则可能与饲料中 n-3 PUFA 含量较低有关。与王煜恒等^[18]对异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的研究结果相反,本试验中鱼油+豆油+猪油组大菱鲃幼鱼的生长效果较差,这可能是由于鱼种不同所致。鱼油+豆油+猪油组饲料中含有大量 SFA,有研究表明,饲料中 SFA 含量高会降低鱼体对饲料脂肪和干物质的消化率,从而影响生长^[19-20]。此外,猪油组生长效果差也与饲料中含大量 SFA 及 n-3 HUFA 含量较低、脂肪酸比例不平衡有关。

本试验结果表明,大菱鲃幼鱼肌肉脂肪酸和饲料脂肪酸呈明显正相关,这与鱼体脂肪酸组成

基本反映了饲料脂肪酸组成这一研究结果相一致^[21-23]。鱼体脂肪酸组成和饲料脂肪酸组成密切相关,但特殊脂肪酸会被有选择的保留和利用^[24],这可能是大菱鲆肌肉脂肪酸中 DHA 含量明显高于饲料中的原因。DHA 被有选择的保留也见于军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[25]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[26]等。各组大菱鲆幼鱼肌肉中 MUFA 含量均低于饲料中,而 PUFA 含量均高于饲料中,大菱鲆对 PUFA 这种有选择的保留验证了鱼类倾向于利用 MUFA 作为能量,而将 PUFA 作为功能性物质贮存在体内的结论^[27]。杭晓敏等^[28]发现,不饱和脂肪酸具有降血脂、降血压、抑制血小板聚集、提高生物流动态活性、抗肿瘤、消炎和免疫调节等多种功效,尤其能显著降低心脑血管疾病的发生率。本试验中,豆油组和鱼油+豆油组的大菱鲆幼鱼肌肉中 PUFA 含量较高,鱼油组和鱼油+豆油组的大菱鲆幼鱼肌肉中 DHA 和 EPA 含量较高,具有极高的营养价值,因此,以鱼油、豆油及鱼油+豆油的混合油为脂肪源的大菱鲆饲料,可提高大菱鲆幼鱼肌肉中的 PUFA 含量,提高大菱鲆的品质,使其具有较高的食用价值。

鱼类对脂肪的消化性能与脂肪源的脂肪酸组成有关,动物性脂肪源的 SFA 含量高,难以被鱼体消化^[29]。本试验结果表明,猪油组和鱼油+豆油+猪油组饲料的脂肪酸中 C16:0 和 C18:0 含量明显高于其他各组,这可能是猪油组和鱼油+豆油+猪油组粗脂肪表观消化率较低的原因。Bendiksen 等^[30]研究发现蛋白质消化率随着饲料中植物油含量的增加而增加,本试验中花生油组、鱼油+豆油组和豆油组表现出较高的粗蛋白质表观消化率与其研究结果相似。猪油组的粗蛋白质消化率最低,鱼油+豆油+猪油组次之。猪油组和鱼油+豆油+猪油组较低的干物质、粗蛋白质和粗脂肪表观消化率可能是导致这 2 组大菱鲆幼鱼饲料系数较高、生长较差的原因。

有研究表明,脂肪源不同对鱼体生化组成的影响不同。如在草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[31]的研究中,不同脂肪源对草鱼稚鱼鱼体的水分、粗脂肪、粗蛋白质和粗灰分含量均有显著影响,但在本试验中鱼体水分、粗脂肪含量在各组间没有显著差异,这与真鲷^[32]、异育银鲫^[33]的研究结果类似,说明这几种脂肪源均能作为能量被大菱鲆幼鱼较好的利用。

综上所述,从生长和饲料利用来看,鱼油和豆油按 1:1 混合添加最有利于大菱鲆生长,促生长效果好于单独添加鱼油的饲料。综合大菱鲆幼鱼的生长性能、体组成以及饲料营养成分表观消化率来看,豆油、菜籽油作为饲料脂肪源,其应用效果不比鱼油差。从大菱鲆幼鱼的肌肉脂肪酸组成来看,鱼油、豆油以及鱼油和豆油按 1:1 混合作为脂肪均能提高大菱鲆的营养价值。因此,在蛋白质源为鱼粉,能够保证饲料中含有适量的 n-3 HUFA 的基础上,豆油、菜籽油均可作为合适的脂肪源替代鱼油。

4 结 论

在本试验条件下,豆油和菜籽油是大菱鲆幼鱼饲料良好的脂肪源,鱼油和豆油按 1:1 混合添加则能使大菱鲆幼鱼更好地生长。

参考文献:

- [1] 李爱杰.水产动物营养与饲料学[M].北京:中国农业出版社,1998:36-46.
- [2] SARGENT J R, TOCHER D R, BELL J G. The lipids [C]//HALVER J E, HARDY R W. Fish nutrition. 3rd ed. San Diego: Academic Press, 2002: 181-257.
- [3] GREENE D H S, SELIVONCHICK D P. Effects of dietary vegetable, animal and marine lipids on muscle lipid and hematology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1990, 89(2): 165-182.
- [4] NEW M B, WIJKSTROM U N. Use of fishmeal and fish oil in aquafeeds: further thoughts on the fishmeal trap [C]. Rome: FAO Fisheries Circular NO. 975 FIPP/C975. 2002.
- [5] STICKNEY R R, MCGEACHIN R B. Responses of *Tilapia aurea* to semipurified diets of differing fatty acid composition [C]//Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Nazareth, Tel Aviv, Israel: Tel Aviv University Press, 1983: 346-355.
- [6] 王道尊, 潘兆龙, 梅志平. 不同脂肪源饲料对青鱼生长的影响 [J]. 水产学报, 1989, 13(4): 370-374.
- [7] ARZEL J, MARTINEZ LOPEZ F X, MÉTAILLER R, et al. Effect of dietary lipid on growth performance and body composition of brown trout (*Salmo trutta*) reared in seawater [J]. Aquaculture, 1994, 123(3/4): 361-375.
- [8] 梁萌青, 常青, 王印庚, 等. 维生素 E 及脂肪源对大

- 菱鲂非特异性免疫的影响[J].海洋水产研究, 2005, 26(5): 15-21.
- [9] BELL J G, CASTELL J D, TOCHER D R, et al. Effects of different dietary arachidonic acid: docosahexaenoic acid ratios on phospholipid fatty acid compositions and prostaglandin production in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1995, 14(2): 139-151.
- [10] BELL J G, TOCHER D R, FARNDIAE B M, et al. Effects of essential fatty acid-deficient diets on growth, mortality, tissue histopathology and fatty acid compositions in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1999, 20(3): 263-277.
- [11] AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International [M]. 16th ed. Arlington, VA: AOAC International, 1995: 1094.
- [12] CHRISTIE W W. Lipid analysis [M]. Oxford: Pergamon Press, 1982: 22.
- [13] METCALFE L D, SCHMITZ A A, PEAKA J R, et al. Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis [J]. Analytical Chemistry, 1996, 38(3): 514-515.
- [14] 高淳仁, 雷霖霖. 不同脂肪源对真鲷幼鱼生长、存活及体内脂肪酸组成的影响 [J]. 中国水产科学, 1999, 6(3): 55-60.
- [15] 马爱军, 雷霖林, 陈四清, 等. 大菱鲂营养需求与饲料研究进展 [J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(4): 450-459.
- [16] SARGENT J, BELL G, MCEVOY L, et al. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish [J]. Aquaculture, 1999, 177(1/2/3/4): 191-199.
- [17] 季文娟. 饲料中不同脂肪源对黑鲷幼鱼生长和鱼体脂肪酸组成的影响 [J]. 海洋水产研究, 1999, 20(1): 69-74.
- [18] 王煜恒, 王爱民, 刘文斌, 等. 不同脂肪源对异育银鲫鱼种生长、消化率及体成分的影响 [J]. 水产学报, 2010, 34(9): 1439-1446.
- [19] MENOYO D, LOPEZ-BOTE C J, BAUTISTA J M, et al. Growth, digestibility and fatty acid utilization in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed varying levels of n-3 and saturated fatty acid [J]. Aquaculture, 2003, 225(1/2/3/4): 295-307.
- [20] NG W K, SIGHOLT T, BELL J G. The influence of environmental temperature on the apparent nutrient and fatty acid digestibility in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed finishing diets containing different blends of fish oil, rapeseed oil and palm oil [J]. Aquaculture Research, 2004, 35(13): 1228-1237.
- [21] REGOST C, ARZEL J, ROBIN J, et al. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*): I. Growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism [J]. Aquaculture, 2003, 217(1/2/3/4): 465-482.
- [22] XU R P, HUNG S S O, GERMAN J B. White sturgeon tissue fatty acid compositions are affected by dietary lipids [J]. Journal of Nutrition, 1993, 123(10): 1685-1692.
- [23] HENDERSON R J. Fatty acid metabolism in freshwater fish with particular reference to polyunsaturated fatty acids [J]. Archives of Animal Nutrition, 1996, 49: 5-22.
- [24] SKONBERG D L, RASCO B A, DONG F M. Fatty acid composition of salmonid muscle changes in response to a high oleic acid diet [J]. The Journal of Nutrition, 1994, 124(9): 1628-1638.
- [25] 王骥腾, 田丽霞, 王勇, 等. 3 种植物油源对军曹鱼生长、体组成和脂肪酸组成的影响 [J]. 浙江海洋学院报: 自然科学版, 2007, 26(3): 237-245.
- [26] CABALLERO M J, OBACH A, ROSEN LUND G, et al. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture, 2002, 214(1/2/3/4): 253-271.
- [27] 谭肖英, 刘永坚, 田丽霞, 等. 鱼类对饲料脂肪源利用的研究进展 [J]. 水产养殖, 2007(5): 38-41.
- [28] 杭晓敏, 唐涌濂, 柳向龙. 多不饱和脂肪酸的研究进展 [J]. 生物工程进展, 2001, 21(4): 18-21.
- [29] 赵红霞, 曹俊明, 陈水春, 等. 动植物脂肪源替代鱼油对鱼类影响的研究 [J]. 饲料工业, 2007, 28(24): 23-26.
- [30] BENDIKSEN E Å, BERG O K, JOBLING M, et al. Digestibility, growth and nutrient utilisation of Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) in relation to temperature, feed fat content and oil source [J]. Aquaculture, 2003, 224(1/2/3/4): 283-299.
- [31] 刘玮, 徐萍, 任本根, 等. 不同脂肪源饲料对草鱼稚鱼生长的影响 [J]. 水产学报, 1995, 19(4): 362-365.
- [32] GLENCROSS B, HAWKINS W, CURNOW J. Evaluation of canola oils as alternative lipid resources in diets for juvenile red seabream, *Pagrus auratus* [J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9(5): 305-315.
- [33] 陈家林, 韩东, 朱晓鸣, 等. 不同脂肪源对异育银鲫的生长、体组成和肌肉脂肪酸的影响 [J]. 水生生物学报, 2011, 35(6): 988-997.

Effects of Dietary Lipid Source on Growth Performance and Muscle Fatty Acid Composition of Juvenile Turbot (*Scophthalmus maximus*)

LI Simeng WU Lixin* JIANG Zhiqiang CHEN Wei

(Key Laboratory of Hydrobiology in Liaoning Province, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

Abstract: A 40-day growth trial was conducted to study the effects of dietary lipid sources on growth performance and muscle fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) with the body weight of (27.31 ± 0.10) g. Seven experimental diets were formulated with the lipid sources of fish oil, soybean oil, rapeseed oil, peanut oil, lard, fish oil+soybean oil (fish oil:soybean oil=1:1) and fish oil+soybean oil+lard (fish oil:soybean oil:lard=3:4:3), respectively. Each diet was fed to 3 replicates and 12 fish per replicate. The results showed as follows: the weight gain rate and specific growth rate in fish oil+soybean oil group were significantly higher than those in fish oil, soybean oil and rapeseed oil groups ($P < 0.05$), and those in peanut oil, lard and fish oil+soybean oil+lard groups were significantly lower than those in other groups ($P < 0.05$). Feed conversion ratio in oil+soybean oil group was the lowest and that in lard group was the highest. There were no significant differences in the apparent digestibility of dry matter and total phosphorus among all groups ($P > 0.05$), while the apparent digestibility of crude lipid in lard and fish oil+soybean oil+lard groups was significantly lower than that in other groups ($P < 0.05$). The apparent digestibility of crude protein in peanut oil, fish oil+soybean oil and soybean oil groups was significantly higher than that in other groups ($P < 0.05$). No significant differences were observed in whole body moisture, crude lipid and ash contents among all groups ($P > 0.05$). The whole body crude protein content in lard group was significantly lower than that in rapeseed oil, peanut oil and fish oil groups ($P < 0.05$), while no significant difference was observed in other groups ($P > 0.05$). There was a positive correlation between muscle fatty acid content and corresponding dietary fatty acid content. The higher muscle n-3 poly unsaturated fatty acids (PUFA) content was detected in fish oil and fish oil+soybean oil groups, while the lower muscle n-3 PUFA content was detected in peanut oil and lard groups. These results suggest that soybean oil and rapeseed oil can be used as lipid sources in juvenile turbot diets, and fish oil, soybean oil can be mixed together (1:1) as a better lipid source to enhance the growth of juvenile turbot. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(5):1421-1430]

Key words: juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*); lipid sources; growth performance; fatty acid composition

* Corresponding author, professor, E-mail: wulixin@dlou.edu.cn