

文章编号: 1004-7271(2008)01-0082-06

## 幼鳢对必需脂肪酸适宜需求量的初步研究

徐增洪<sup>1</sup>, 徐跑<sup>1</sup>, 华伯仙<sup>2</sup>, 邢旭文<sup>1</sup>

- (1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业部水生动物遗传育种和  
养殖生物学重点开放实验室, 江苏 无锡 214081;  
2. 江苏省(宝应)渔业科技示范园, 江苏 宝应 225800)

**摘要:**应用正交设计法研究幼鳢(*Monopterus alba*)对必需脂肪酸(EFA)的最适营养需求量。实验在室外池塘小体积网箱中进行。根据三因素三水平正交试验表 $L_9(3^3)$ ,制作9组实验饲料进行生长比较试验。野生幼鳢[体重(37.88±1.5)g,体长(34.5±2.0)cm]经驯化至正常摄食后,经过40d的饲养,结果得到最大体重增长率60.51%和最大体长增长率10.15%。进一步分析表明,幼鳢对亚油酸(C18:2n-6)、亚麻酸(C18:3n-3)和EPA(二十碳五烯酸C20:5n-3)+DHA(二十二碳六烯酸C22:6n-3)(1:1)适宜需求量分别为1.33%、0.57%和0.24%,其中C18:2n-6/C18:3n-3、C18:2n-6/C22:6n-3的最佳比例分别为2.34和11.08,黄鳢的必需脂肪酸主要为n-6系列C18:2n-6。此外,幼鳢的体重生长和体长生长存在着相对的独立性,C20:5n-3和C22:6n-3对体重生长影响作用要大于C18:3n-3,而C18:3n-3对体长生长的影响作用则大于C20:5n-3和C22:6n-3。研究同时表明,黄鳢对更长链高度不饱和脂肪酸(C20:5n-3和C22:6n-3)的需求量相对较低,它在饲料中的超量添加对生长的影响不显著。

**关键词:**幼鳢;必需脂肪酸;需求量

中图分类号:S 963.1 文献标识码:A

## Study on nutrient requirements of young eel for essential fatty acids

XU Zeng-hong<sup>1</sup>, XU Pao<sup>1</sup>, HUA Bo-xian<sup>2</sup>, BING Xu-wen<sup>1</sup>

- (1. Key Open Laboratory for Genetic Breeding of Aquatic Animals and Aquaculture Biology, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;  
2. Jiangsu(Baoying) Fishery Science and Technology Demonstration Garden, Baoying 225800, China)

**Abstract:**  $L_9(3^3)$  design method was applied to study nutrient requirements of young eel for essential fatty acids(EFA). The experiment progress in extraventricular pond was divided into nine groups. The results indicate after breeding 40 d in due form, the maximal growth rate is 60.51 percent(weight) and 10.15 percent(length), the good requirements of C18:2n-6, C18:3n-3 and C20:5n-3 + C22:6n-3 to young eel is 1.33 percent, 0.57 percent, 0.24 percent, and the ratio of C18:2n-6/C18:3n-3, C18:2n-6/C22:6n-3 is 2.34, 11.08. The EFA of eel demanding mostly is C18:2n-6. Furthermore, there is relative independence between weight and length growth of eel. The function of C20:5n-3 and C22:6n-3 is greater than C18:3n-3 on weight growth of eel, and that the function of C18:3n-3 is greater than C20:5n-3 and C22:6n-3 on length

收稿日期:2007-04-06

基金项目:科技部农业科技成果转化资金资助(05EFN216900378)

作者简介:徐增洪(1970-),男,浙江桐庐人,硕士,主要从事水产养殖及营养饲料方面的研究。E-mail:xuzh@ffrc.cn

通讯作者:邢旭文,E-mail:bingxw@ffrc.cn

growth of eel. The study also indicates that the requirements of HUFA (C20:5n-3 and C22:6n-3) is lower to eel, and its exceeding addition in feed is not notable in effect on growth of eel.

**Key words:** young eel; essential fatty acids; requirements

必需脂肪酸(essential fatty acids, EFA)是指为动物生长发育所必需,但动物本身不能合成或合成量很少不能满足机体生长发育需要,必须由外源饲料提供的一类高度不饱和脂肪酸(high unsaturated fatty acids, HUFA)。有关研究表明,一般鱼类本身只能合成 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,如亚油酸(C18:2n-6)、亚麻酸(C18:3n-3)、花生四稀酸(C20:4n-6)以及 EPA (C20:5n-3)和 DHA(C22:6n-3)等<sup>[1-2]</sup>。对鱼类的必需脂肪酸研究国内外多集中在冷水性、肉食性及经济价值较大的种类,如鲑鳟类、虾类等<sup>[3-6]</sup>。对温水、淡水性鱼类的相关研究还很少,仅局限于如鳊鱼、鲤鱼、青鱼等<sup>[7-9]</sup>。黄鳙(*Monopterus alba*)必需脂肪酸的研究则至今仍是一个空白,随着我国黄鳙人工养殖的不断发展,迫切需要对黄鳙开展营养、生理等方面较为深入的研究,为黄鳙配合饲料的研制提供一定的理论依据,推动黄鳙养殖业进一步的发展。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验幼鳙

实验在江苏省(宝应)渔业科技示范园区进行。实验幼鳙为当地自然采集的野生鳙种,体重(37.88 ± 1.5) g,体长(34.5 ± 2.0) cm,选取规格均匀、体质优良的幼鳙作为实验对象。

### 1.2 池塘和网箱

试验池塘面积 0.3 hm<sup>2</sup>,水深 1.6 m,进排水方便。实验用小体积网箱规格:1 m × 1 m × 1.5 m,网目适宜。平行设置两排网箱共计 18 只(9 × 2,设二个平行重复组)。网箱在实验前半个月放入池塘浸泡,让箱体着生藻类,形成润滑作用防止擦伤鳙体。网箱上缘高出水面 0.5 m,同时在网箱内投放适量水花生等水草,为幼鳙营造良好的栖息条件。

每个网箱放养 50 尾实验幼鳙,随机抽取 20 尾分别测量其体重和体长,实验结束时以同样方法得到其平均体重、平均体长。

### 1.3 实验饲料

#### 1.3.1 实验用油脂

必需脂肪酸(C18:2n-6、C18:3n-3 和 C20:5n-3、C22:6n-3)由红花籽油、亚麻籽油、鲑鱼油和 EPA/DHA 混合油几种油脂提供,红花籽油购自东海粮油工业公司,亚麻籽油购自吴江市金扬油厂,鲑鱼油和 EPA/DHA 混合油脂购自无锡市迅达化学品厂。检测各油脂中亚油酸、亚麻酸、二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸含量见表 1。

表 1 实验油脂中必需脂肪酸含量

Tab. 1 Essential fatty acids(EFA) composition of experimental oils

必需脂肪酸 EFA	红花籽油	亚麻籽油	鲑鱼油	EPA/DHA 混合油	%
C18:2n-6	60.87	25.09	3.6	1.45	
C18:3n-3	0.34	42.72	2.1	0.94	
C20:5n-3			8.2	41.08	
C22:6n-3			18.6	33.26	

#### 1.3.2 基础饲料

基础饲料为由酪蛋白、糊精等原料精制而成的无脂饲料,以羧甲基纤维为粘合剂,饲料中均添加

3%的诱食剂。根据表2配方制成颗粒饲料,晾干备用。

### 1.3.3 实验饲料制作及实验设计

以亚油酸(C18:2n-6)、亚麻酸(C18:3n-3)和EPA+DHA(C20:5n-3 + C22:6n-3,1:1混合)作为A、B、C三个因子,由于EPA和DHA同时存在于鱼油中,两者很难分离,因此将它们作为一个因子处理,采用三因素三水平正交设计表 $L_9(3^3)$ 设9个试验组(设二个重复平行组)。设计亚油酸三水平(%)分别为:1.0、1.3、1.6,亚麻酸三水平(%)分别为:0.5、1.0、1.5,EPA+DHA三水平(%)分别为0.25、0.5、0.75。根据 $L_9(3^3)$ 正交表及对实验油脂的成分检测分析(表1),计算每组饲料理论油脂添加量(表3,采用喷涂方法),然后再分析测定其必需脂肪酸的实际含量。饲料添加油脂后经晾干放入冰柜冷藏保存。

表2 基础饲料配方组成

成分	含量	成分	含量
酪蛋白	40	矿物质	4
糊精	35	氨基酸	3
纤维素粉	10.8	维生素	0.2
羧甲基纤维素	4	诱食剂	3

注:配方营养水平设计及混合维生素、矿物质和氨基酸组成参照文献[17,18]

表3 各组实验饲料的油脂添加量及营养成分组成及 $L_9(3^3)$ 正交设计表

油脂	1	2	3	4	5	6	7	8	9
红花籽油	10.30	5.05	3.14	16.99	11.57	6.66	22.27	16.71	10.51
亚麻籽油	13.47	27.21	35.18	13.54	26.34	37.26	13.73	26.18	36.88
鲑鱼油	8.47	2.54	6.14	6.14	8.47	2.54	2.54	6.14	8.47
EPA/DHA混合油	6.37	1.91	4.62	4.62	6.37	1.91	1.91	4.62	6.37
粗蛋白	44.13	43.92	44.22	44.67	43.66	44.13	44.25	44.55	44.38
粗脂肪	3.72	3.54	4.68	3.97	5.01	4.62	3.89	5.09	5.86

$L_9(3^3)$ 正交表(括号内为实际测定值)

	A (C18:2n-6)	B (C18:3n-3)	C (C20:5n-3 + C22:6n-3,1:1)
1	1(0.95)	1(0.58)	3(0.77)
2	1(0.97)	2(1.12)	1(0.21)
3	1(1.05)	3(1.47)	2(0.55)
4	2(1.35)	1(0.55)	2(0.55)
5	2(1.35)	2(1.10)	3(0.81)
6	2(1.30)	3(1.55)	1(0.25)
7	3(1.66)	1(0.58)	1(0.27)
8	3(1.65)	2(1.09)	2(0.59)
9	3(1.57)	3(1.55)	3(0.76)

## 1.4 实验日常管理

包括投饲管理和水质管理等。实验幼鳢放入网箱后,经过7~10d的饵料驯化(用鱼糜加蚯蚓拌基础饲料,逐步提高颗粒饲料的比例,最终其比例稳定在80%),等幼鳢正常摄食后,开始正式投喂试验。每天投喂一次(傍晚18点),投饲量在3%~10%之间,第二天捞去残饵,作好每天观察记录工作(摄食和死亡情况)。池塘水温在25~31℃之间,7月2日网箱投放实验幼鳢,正式投喂试验从7月17日开始至8月26日结束,共计饲养40d。

## 2 结果与分析

### 2.1 经过40d饲养后的实验结果数据

根据表4、表5的分析结果,从幼鳢体重生长情况看,A(C18:2n-6)、B(C18:3n-3)和C(C20:5n-3 + C22:6n-3)三因素对幼鳢体重生长影响作用依次为A>C>B,三者的最优水平分别是:C18:2n-6取

1.33%, C20:5n-3 + C22:6n-3 取 0.24%, C18:3n-3 取 0.57%, 其中, C18:2n-6/C18:3n-3 之比值为 2.34, C18:2n-6/C22:6n-3 之比值为 11.08。根据表 4、表 6 的分析结果,从幼鳢体长生长情况看, A (C18:2n-6)、B (C18:3n-3) 和 C (C20:5n-3 + C22:6n-3) 三因素对体长生长影响作用依次为 A > B > C, 三者的最优水平分别又是: C18:2n-6 取 1.33%, C18:3n-3 取 1.52%, C20:5n-3 + C22:6n-3 取 0.24%, 其中, C18:2n-6/C18:3n-3 之比值为 0.88, C18:2n-6/C22:6n-3 之比值为 11.08。实验同时表明, C18:2n-6 相对其它两个因子无论对幼鳢体重、体长生长均起着主要影响作用, 从而成为第一限制因子, C20:5n-3 + C22:6n-3 对体重生长影响要大于 C18:3n-3, 而 C18:3n-3 对体长生长的影响作用则大于 C20:5n-3 + C22:6n-3, 因此表明, 黄鳢以 n-6 系列必需脂肪酸为主, 其体重和体长生长之间既存在相关性, 又有一定程度的独立性, 受不同的营养因子影响。

表 4 实验幼鳢初始与结束时的体长、体重值及相关生长率

Tab. 4 Initial and final values of young experimental eel's weight and length

实验组号	平均初重(g)	平均初长(cm)	平均终重(g)	平均终长(cm)	体重相对生长率(%)	体长相对生长率(%)
1	38.14 ± 1.9	34.2 ± 1.3	45.58 ± 2.3	36.1 ± 1.6	19.50	5.71
2	39.06 ± 1.7	34.5 ± 1.3	44.96 ± 2.5	36.1 ± 1.2	15.10	4.58
3	39.15 ± 2.2	34.5 ± 1.1	50.16 ± 1.9	36.6 ± 1.9	28.12	6.03
4	37.94 ± 3.4	35.3 ± 1.8	55.44 ± 1.4	37.5 ± 2.4	46.13	6.20
5	35.97 ± 2.6	34.5 ± 0.8	46.18 ± 2.7	36.5 ± 2.7	28.38	5.80
6	35.92 ± 1.6	34.0 ± 2.4	52.60 ± 3.5	47.5 ± 2.0	46.44	10.15
7	39.76 ± 3.0	35.7 ± 2.0	63.82 ± 3.1	38.1 ± 1.4	60.51	6.87
8	37.65 ± 2.8	34.0 ± 1.7	48.06 ± 2.6	36.7 ± 1.8	27.65	8.06
9	37.30 ± 1.7	33.7 ± 0.7	44.14 ± 2.9	35.8 ± 1.6	18.33	6.42

注: 相对增重率(%) = 100 × (平均终重 - 平均初重) / 平均初重

表 5 体重生长率统计学分析

Tab. 5 Statistic analysis of weight gain rate

	A (C18:2n-6)	B (C18:3n-3)	C (C20:5n-3 + C22:6n-3)	体重相对生长率(%)
1	1	1	3	19.50
2	1	2	1	15.10
3	1	3	2	28.12
4	2	1	2	46.13
5	2	2	3	28.38
6	2	3	1	46.44
7	3	1	1	60.51
8	3	2	2	27.65
9	3	3	3	18.33
K <sub>1</sub>	62.72	126.14	122.05	
K <sub>2</sub>	120.95	71.13	101.90	
K <sub>3</sub>	106.49	92.89	66.21	
极差	58.23	55.01	55.84	
最优水平组合	A2	B1	C1	
因素主次顺序		A2—C1—B1		

## 2.2 实验幼鳢的体重、体长生长指标方差统计分析结果

结果分析同时显示, 第 7 组的体重生长达到了最大值为 60.51% (C18:2n-6、C18:3n-3 和 C20:5n-3 + C22:6n-3 含量分别为 1.66%、0.58%、0.27%, C18:2n-6/C18:3n-3 之比值为 2.86, C18:2n-6/C22:6n-3 之比值为 12.30), 第 6 组的体长生长达到了最大值为 10.15% (C18:2n-6、C18:3n-3 和 C20:5n-3 + C22:6n-3 含量分别为 1.30%、1.55%、0.25%, C18:2n-6/C18:3n-3 之比值为 0.84, C18:2n-6/C22:6n-3 之比值为 10.40), 与这两组的三个因素水平及相互之间的比例和最优水平相一致或最接近直接相关。方差分析表明, 这两组与其它各组间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 说明实验结果是可以接受的。

表 6 体长增长率统计学分析  
Tab.6 Statistic analysis of length gain rate

	A (C <sub>18</sub> :2n-6)	B (C <sub>18</sub> :3n-3)	C (C <sub>20</sub> :5n-3 + C <sub>22</sub> :6n-3)	体长相对增长率(%)
1	1	1	3	5.71
2	1	2	1	4.58
3	1	3	2	6.03
4	2	1	2	6.20
5	2	2	3	5.80
6	2	3	1	10.15
7	3	1	1	6.87
8	3	2	2	8.06
9	3	3	3	6.42
K <sub>1</sub>	16.32	18.78	21.60	
K <sub>2</sub>	22.15	18.44	20.29	
K <sub>3</sub>	21.35	22.60	17.93	
极差	5.83	4.16	3.67	
最优水平组合	A2	B3	C1	
因素主次顺序		A2—B3—C1		

### 3 讨论

#### 3.1 必需脂肪酸的主要生理功能及其在饲料中添加不足或过量对生长的影响

EFA 的主要生理功能,在  $\beta$ -碳位上构成磷脂,参与磷脂合成<sup>[10]</sup>。EFA 在磷脂内的浓度最高,而磷脂是质膜的重要组成部分,这些高度不饱和脂肪酸(HUFA)可以增强质膜上磷脂的弹性和通透性,此通透性参与细胞内外物质的交换,是质膜的一种十分重要的生理作用。HUFA 摄入不足,质膜通透性差,间接影响细胞对膜外物质的利用,这可能是在 HUFA 不足情况下生长差的重要原因。另外,EFA 以磷脂的形式出现在线粒体和细胞膜中,对于维持细胞膜、线粒体膜等生物膜的正常结构和功能,维持体液输送以及体内某些酶的活性都具有重要作用,成为鱼虾生长的限制性因素之一。

鱼虾对各种 EFA 的需求量同样受诸多因素的影响,如生长阶段、食性种类、环境因素等。幼体鱼虾对 EFA 需要量比成年鱼虾高;生长速度越快,EFA 需要量越大。因此在供给 EFA 时都要加以考虑。EFA 同必需氨基酸等其它营养成分一样,它的不足和过量都会引起机体生长发育阻滞现象,这在虹鳟,鲤,鳊和罗非鱼上都已发现。然而,当饲喂过大剂量 n-3 系列 PUFA 时也会引起类似的生长阻抑现象<sup>[7-8]</sup>。因为 EFA 过多时,不饱和双键易氧化和酸败,反而会使鱼虾生长减慢,饲料效率下降。因此,在配合饲料研制过程中应着重考虑,在实际生产中应视具体情况而定,合理添加。

#### 3.2 幼鳢对必需脂肪酸营养需求的主要特点

有关 EFA 的营养研究表明<sup>[11]</sup>,鱼虾的不同种类及不同生长阶段其需要的 EFA 数量和种类不尽相同。如冷水性鱼类需要的 n-3 数量要大于对 n-6 的需求量<sup>[12]</sup>。对虹鳟、鲤、青鱼、草鱼、鳊等的研究结果表明<sup>[7-9]</sup>,淡水鱼类利用 18 碳脂肪酸合成 20 或 22 碳脂肪酸的能力明显强于海水鱼类,因此淡水鱼类的 EFA 主要是亚油酸(C<sub>18</sub>:2n-6)和亚麻酸(C<sub>18</sub>:3n-3、C<sub>18</sub>:3n-6)。而对真鲷、黑鲷、大菱鲆、牙鲆等海水鱼类的研究结果表明<sup>[13-14]</sup>,海水鱼类的 EFA 主要是 EPA(C<sub>20</sub>:5n-3)和 DHA(C<sub>22</sub>:6n-3)<sup>[15-16]</sup>。

本试验以幼鳢作为研究对象,即考虑不同生长阶段存在的生长特点(早期以长度生长为主,后期以体重生长为主),今后有待对成鳢进行进一步的比较研究。本研究结果表明,影响黄鳢生长的主要必需脂肪酸是 C<sub>18</sub>:2n-6,而 C<sub>18</sub>:3n-3 和 C<sub>20</sub>:5n-3 + C<sub>22</sub>:6n-3 对幼鳢的生长影响在体重和体长方面各有侧重,其中,幼鳢对 C<sub>18</sub>:2n-6、C<sub>18</sub>:3n-3 和 C<sub>20</sub>:5n-3 + C<sub>22</sub>:6n-3 的适宜需求量分别为 1.33%、0.57% 和 0.24% (体重生长)或 1.33%、1.52% 和 0.24% (体长生长)。更长链高度不饱和脂肪酸(C<sub>20</sub>:5n-3、C<sub>22</sub>:6n-3)能有效地促进生长,但幼鳢对它的需求量相对较低,不易发生缺乏症,因此在配合饲料研制

中无需超量添加。

#### 参考文献:

- [1] 李爱杰,刘镜恪.我国重要养殖鱼类营养研究概况[J].齐鲁渔业,1997,14(2):11-14.
- [2] 程树东,李英文.鱼类必需脂肪酸概述[J].重庆水产,2004,68(3):39-42.
- [3] 刘镜恪,陈晓琳.海水仔稚鱼的必需脂肪酸——n-3系列高度不饱和脂肪酸研究概况[J].青岛海洋大学学报,2002,32(6):897-902.
- [4] 刘镜恪,周利,雷霖霖.海水仔稚鱼脂类营养研究进展[J].海洋与湖沼,2002,33(4):448-451.
- [5] 徐玮,麦康森,王正丽.鲍鱼必需脂肪酸营养生理研究[J].中国海洋大学学报,2004,34(6):983-987.
- [6] 薛敏,李爱杰,张显娟.牙鲆幼鱼对EPA和DHA的营养需求[J].水产学报,2004,28(3):285-291.
- [7] Takeuchi T, Watanabe T. Requirement of carp for essential fatty acids[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1977,43:541-551.
- [8] Watanabe T. Lipid nutrition in fish[J]. Comp Biochem Physiol, 1982,73:3-15.
- [9] 王道尊.必需脂肪酸对青鱼生长影响的初步观察[J].水产科技情报,1986,(2):4-6.
- [10] 庄健隆.水产动物之饲料营养及营养性疾病[M].台湾:养猪科学出版社,1987:36.
- [11] 刘玮.淡水养殖鱼类的必需脂肪酸需求[J].江西科学,1993,11(3):19-194.
- [12] 林鼎,肖锡延.鱼虾营养研究进展[M].广州:中山大学出版社,1995.
- [13] Aclanan R G. Structural homogeneity in unsaturated fatty acids of marine fish lipids[J]. Journal Off Fisheries Research of Canada,1964,21:247-254.
- [14] Owen J M, Adron J W, Sargent J R. Studies on the nutrition of marine flatfish. The effect of the plaice *Pleuronectes platessa* [J]. Marine Biology,1972,13:160-166.
- [15] 刘镜恪,周利.国外仔稚鱼营养研究进展[J].海洋科学集刊,1996,37:189-194.
- [16] 刘镜恪,雷霖霖.人工调节轮虫n-3HUFA对黑鲷仔稚鱼生长、存活的影响[J].科学通报,1997,42(12):1330-1333.
- [17] 杨代勤,陈芳,李道霞等.黄鳝的营养素需要量及饲料最适能量蛋白比[J].水产学报,2000,24(3):259-262.
- [18] Halver J. E. Formulating practical diets for fish [J]. Fish Res Bd Can,1970,33(4):1932-1939.