

24-32

# 中国对虾对必需脂肪酸的营养需求

任泽林 李爱杰 薛长湖

S 968.226

(水产学院)

A

**摘要** 用正交设计法设计亚油酸等必需脂肪酸三因素三水平饲料试验,结果表明中国对虾增重率、增长率、存活率受必需脂肪酸含量及其比例的影响。在本试验条件下,中国对虾对亚油酸、亚麻酸、二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸的最适需要量分别为(%)1.95、1.09、0.30和0.37。亚油酸与亚麻酸及亚油酸与二十二碳六烯酸的最佳比例分别为1.79和5.3。对中国对虾来说,二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸的作用大于亚油酸和亚麻酸。

**关键词** 中国对虾;亚油酸;亚麻酸;二十碳五烯酸;二十二碳六烯酸;增重率;增长率;存活率

的经济效益和社会效益。对虾养殖业的发展,推动了饲料工业和对虾营养学研究的发  
展。脂肪是中国对虾必需的一类能量和营养物质,对其需要量的研究已有报导<sup>[1][2]</sup>。

脂肪中的必需脂肪酸不能在体内合成或合成很少,必须由饲料中提供。对虾缺乏必需脂肪酸就会导致一系列脂肪酸缺乏症,如生长差,血清蛋白量及可食部分百分比减少,蜕皮间期延长,虾壳重量减轻等<sup>[4]</sup>。对虾必需脂肪酸包括亚油酸(18:2n-6)、亚麻酸(18:3n-3)、二十碳五烯酸(20:5n-3)和二十二碳六烯酸(22:6n-3)。Kanazawa et al 对日本对虾 (*Penaeus japonicus*)<sup>[5][6]</sup> Castell and Covey 对美洲巨螯虾 (*Homarus americanus*)<sup>[4]</sup> Read 对印度对虾 (*Penaeus indicus*)<sup>[8]</sup> 对必需脂肪酸的需求量作了较多的研究,而中国对虾对饲料中亚油酸、亚麻酸、二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸的营养需求研究,至今未见报道。本文就中国对虾对饲料中这四种必需脂肪酸的适宜需要量及最佳比例进行了探讨,以便为中国对虾配合饲料中添加这四种必需脂肪酸提供依据。

## 1 材料与方方法

1.1 实验用油 香油、亚麻油、菜子油、豆油、花生油、鳗鱼油、鲑鱼油。测得各种油中亚油酸、亚麻酸、二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸含量如表1所示。

1.2 实验用虾及网箱 实验虾取自青岛市黄岛养殖场,平均体长和体重分别为7.14cm和5.14g。网箱规格为100cm×55cm×95cm,聚乙烯网片规格为20目。

1.3 实验饲料 实验基础饲料以不含脂肪或含脂肪甚少的原料组成,其组成如表2所示。

• 高等学校博士学科点专项科研基金 8942303 资助项目  
收稿日期:1992-12-14; 修订日期:1993-06-12

表1 各种油中四种必需脂肪酸含量(%)  
Table 1 EFA\* composition of experimental oils(%)

EFA	香油 Sesame oil	亚麻油 Linseed oil	菜子油 Rapeseed oil	豆油 Soybean oil	花生油 Peanut oil	鳀鱼油 Anchovy oil	鲱鱼油 Mackerel oil
18:2n-6	39.9	16.6	15.3	54.3	34.3	2.1	3.6
18:3n-3	0.4	50.6	7.5	9.2		1.5	2.1
20:5n-3						10.3	8.2
22:6n-3						13.9	19.6

\* EFA 为必需脂肪酸缩写(Essential fatty acids)

表2 基础饲料的组成(%)  
Table 2 Composition of the basal diet(%)

酪蛋白 Casein	42.50	混合无机盐 <sup>a)</sup> Mineral mixture	14.85
糊精 Dextrin	20.00	混合维生素 <sup>b)</sup> Vitamin mixture	4.00
明胶 Gelatin	14.45	混合氨基酸 <sup>c)</sup> Free amino acid mixture	6.75
胆固醇 Cholesterol	0.20	甲壳素 Chitin	1.25
褐藻胶 Algin	2.00		

a) 混合无机盐组成(Component of mineral mixture)(%):

$\text{NaH}_2\text{PO}_4$  10,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  21.5,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  26.5,  $\text{CaCO}_3$  10.5, 乳酸钙(Ca-lactate) 16.5,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  10,  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  1.2,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.511, 柠檬酸铁(Fe-citrate) 0.061,  $\text{MnSO}_4 \cdot (4-6)\text{H}_2\text{O}$  0.143, KI 0.058, CuCl 0.051,  $\text{CuCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.176, KCl 2.8.

b) 混合维生素组成(Component of vitamin mixture)(%):

$\text{V}_A$  0.1,  $\text{V}_B$  0.01,  $\text{V}_{E1}$  0,  $\text{V}_K$  0.1,  $\text{V}_C$  25,  $\text{V}_{B1}$  0.4,  $\text{V}_{B2}$  0.67,  $\text{V}_{B3}$  1.0,  $\text{V}_{B5}$  2.5,  $\text{V}_{B6}$  0.4,  $\text{V}_{B7}$  0.04,  $\text{V}_{B11}$  0.1,  $\text{V}_{B12}$  0.01, 氯化胆碱(Choline chloride) 20, 肌醇(Inositol) 13.3, 对氨基苯甲酸(P-aminobenzoic acid) 1.3, 纤维素粉(Cellulose microcrystalline) 34.07.

c) 混合氨基酸组成(Component of free amino acid mixture)(%):

赖氨酸(Lys) 17.9, 蛋氨酸(Met) 3.2, 精氨酸(Arg) 23, 苏氨酸(Thr) 27, 亮氨酸(Leu) 3.7, 甘氨酸(Gly) 25.2.

鱼油中同时含有 20:5n-3 和 22:6n-3, 两者很难分离, 因此将 20:5n-3 和 22:6n-3 作为一个因素处理。每一水平中 20:5n-3 与 22:6n-3 比例保持在 0.58:1 左右。按正交表  $L_9(3^3)$  进行设计, 三因素三水平共九组, 每组二平行。其中亚麻酸水平(%)为: 1.4, 2.2, 3.0; 亚麻酸水平(%)为: 0.5, 0.9, 1.3; 20:5n-3 与 22:6n-3 水平(%)为: 0.23+0.40, 0.46+0.80, 0.69+1.20。分别添加各种油使 18:2n-6, 18:3n-3, 20:5n-3, 22:6n-3 达到所要求的量, 添加油量见表 3。按表 2、表 3 将各成分混匀制成颗粒, 于 50~60°C 烘至含水分 10% 以下, 并测定粗蛋白、粗脂肪及四种必需脂肪酸含量, 见表 4。

1.4 饲养方法 对虾运回后, 于水泥池暂养 2d, 挑选健康活泼、大小近似的虾, 测量体长, 体重后分置于 18 个网箱中。每网箱放虾 30 尾, 投饵量为虾重的 6%, 每天 08h、15h 各

投饵一次。投饵前换水,换水量为80%。发现死虾及残饵及时捞出。全天充气,水温21~26℃,饲养45d(自8月20日至10月5日)。

表3 各组饲料添加油量(g/kg)

Table 3 Oil content added to the test diets (g/kg)

组别 Diet	香油 Sesame oil	亚麻油 Linseed oil	菜子油 Rapeseed oil	豆油 Soybean oil	花生油 Peanut oil	鲱鱼油 Anchovy oil	鲈鱼油 Mackerel oil
1	3.8	4.0		20.0		39.0	37.4
2	2.7	7.9	50.0	5.0		12.0	13.2
3	6.3	20.0		15.0		29.0	22.6
4	2.0	2.9		40.0		29.0	22.6
5	4.0	10.0		30.0		39.0	37.4
6	7.7	14.0	30.0	20.0		12.0	13.2
7	5.0	1.0		50.0	9.9	12.0	13.2
8	5.0	7.1		50.0	3.9	29.0	22.6
9	3.0	13.3		40.0		39.0	37.4

表4 各组饲料中必需脂肪酸及粗蛋白、粗脂肪含量(测定值、干基%)

Table 4 Analysed EFA, crude protein and crude fat composition of the test diets (% of dry matter)

组别 Diet	18:2n-6	18:3n-3	20:5n-3 +22:6n-3	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat
1	1.35	0.36	0.63+1.08	43.22	10.12
2	1.45	0.89	0.20+0.36	43.73	9.08
3	1.35	1.08	0.53+0.88	43.63	9.29
4	2.22	0.56	0.39+0.72	43.45	9.65
5	2.07	0.78	0.58+1.31	42.52	11.55
6	1.95	1.09	0.20+0.37	43.39	9.73
7	2.63	0.46	0.22+0.39	43.71	9.11
8	2.56	0.84	0.53+0.63	42.53	11.53
9	2.49	1.14	0.67+1.07	42.26	12.07

### 1.5 成分分析

1.5.1 粗蛋白 用凯氏半微量定氮法测定。

1.5.2 粗脂肪 用无水乙醚索氏提取法测定。

1.5.3 必需脂肪酸 饲料取0.15g(虾肉取5g)加氯仿和甲醇(2:1)研磨浸提24h,过滤,静置,抽去上层清液,将下层氯仿通过无水硫酸钠过滤,滤液收集于干燥烧瓶中,蒸去

氯仿,将所得脂肪进行甲酯化,然后加入石油醚苯混合液(1:1),提取甲酯,用 GC-9A 气相色谱仪分析,分析条件为:

色谱柱:玻璃柱 3m×Φ3mm

担体和填充液:15%DEGS 装在 ChromosorbW-AW(80-100 目)担体上。

柱温:200℃(恒温)

进样口和检测器温度:250℃

载气 N<sub>2</sub>:55ml/min

氢气:0.5kg/cm<sup>2</sup>

空气:0.5kg/cm<sup>2</sup>

## 2 结果与讨论

2.1 饲料中亚油酸、亚麻酸、二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸的最佳含量 实验结果见表 5。试验结果用直观法进行指标分析,分析结果如下:

表 5 饲养试验结果

Table 5 Results of feeding experiment

组别 Series	A	B	C	平均初重 (g) Mean initial weight	平均初长 (cm) Mean initial length	放虾 尾数 Initial number	平均终重 (g) Mean final weight	平均终长 (cm) Mean final length	收虾 尾数 Final number	增重率 (%) Weight gain rate	增长率 (%) Length gain rate	存活率 (%) Survival rate
1	1	1	3	6.27	7.54	60	6.82	8.21	19	8.77	8.89	31.67
2	1	2	1	6.44	7.60	60	8.75	9.35	33	35.87	23.03	55
3	1	3	2	5.56	7.45	60	8.46	8.89	27	52.16	19.33	45
4	2	1	2	5.65	7.38	60	7.90	8.72	27	39.52	18.16	45
5	2	2	3	5.60	7.43	60	8.03	8.67	25	43.39	16.70	41.70
6	2	3	1	5.14	7.10	60	8.32	8.84	35	59.92	24.50	58.30
7	3	1	1	4.73	6.67	60	6.54	7.93	31	34.03	18.89	51.60
8	3	2	2	4.51	6.51	60	5.97	7.53	20	32.57	15.67	33.33
9	3	3	3	4.80	5.61	60	5.69	7.84	26	18.54	18.61	43.30

\* A、B、C 分别代表亚油酸、亚麻酸及混合酸。其所在列阿拉伯数字表示水平数

(A、B and C indicate respectively 18:2n-6, 18:3n-3 and mixed acids of 20:5n-3 and 22:6n-3. Digits under A、B and C show the levels)

2.1.1 对虾体重增重率 直观分析结果见表 6。从表 6 可见,影响体重增重率的,亚油酸以第二水平为最好,亚麻酸以第三水平为最好,二十碳五烯酸及二十二碳六烯酸(以下以混合酸表示)以第一水平为最好,各水平平均值之和的极差为 C>A>B,这说明影响体重

增重率的第一限制因子为混合酸,其次为亚油酸,再次为亚麻酸。即混全酸的作用大于亚油酸及亚麻酸。

2.1.2 对虾体长增长率 直观分析结果见表7。

表6 饲料中必需脂肪酸及其水平对中国对虾体重增重率的影响

Table 6 Effect of dietary EFA and their levels on weight gain rate of *Penaeus Chinensis*

水 平 Level	A	B	C
1	96.80	82.62	129.82
2	143.13	111.85	124.57
3	85.16	130.62	70.70
极 差 Range	57.07	48.00	59.12
优水平 Good level	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
因素主次顺序 The order of factors	C <sub>1</sub> A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>		

\* A、B、C右下角阿拉伯数字表示水平数(下同)

(The suffixes of A, B and C indicate the levels. Same for Tables 7 and 8.)

表7 饲料中必需脂肪酸及其水平对中国对虾体长增长率的影响

Table 7 Effect of dietary EFA and their levels on length gain rate of *Penaeus chinensis*

水 平 Level	A	B	C
1	51.25	45.94	66.42
2	59.36	55.40	53.16
3	53.17	62.44	44.20
极 差 Range	8.11	16.50	22.20
优水平 Good level	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>
因素主次顺序 The order of factors	C <sub>1</sub> B <sub>3</sub> A <sub>2</sub>		

从表7可见,影响体长增长率的,亚油酸以第二水平为最大,亚麻酸以第三水平为最大,混合酸以第一水平为最好。各水平平均值之和的极差为C>B>A,这说明影响体长增长率的第一限制因子为混合酸,其次为亚麻酸,再次为亚油酸。其作用的大小顺序与此相

同。

### 2.1.3 对虾存活率 直观分析结果见表 8。

从表 8 可见,影响存活率,亚油酸以第二水平为最大,亚麻酸以第三水平为最大,混合酸以第一水平为最大。各水平平均值之和的极差为  $C > B > A$ ,这说明影响存活率的第一限制因子为混合酸,其次为亚麻酸,再次为亚油酸。

无论增重,增长及存活率,皆以混合酸的作用最大。Kanazawa et al<sup>[5,17]</sup>,Castell and Covey<sup>[4]</sup>皆认为  $20:5n-3$  和  $22:6n-3$  优于  $18:2n-6$  或  $18:3n-3$ ,这与我们的实验结果一致。Kanazawa et al<sup>[6]</sup>指出,在饲料中加入  $18:3n-3$  能促进生长和提高存活率,且优于  $18:2n-6$ 。我们的实验结果,在促进体长和提高存活率方面,和 Kanazawa et al 的实验结果一致,但在促进体重方面却是  $18:2n-6$  优于  $18:3n-3$ ,与 Kanazawa et al 的结果不同。

表 8 饲料中必需脂肪酸及其水平对中国对虾存活率的影响

Table 8 Effect of dietary EFA and their levels on survival rate of *Penaeus chinensis*

水 平 Level	A	B	C
1	131.67	128.27	164.90
2	145.00	130.03	123.33
3	128.23	146.60	116.67
极 差 Range	16.77	18.23	48.23
优 水 平 Good level	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
因素主次顺序 The order of factors	C <sub>1</sub> B <sub>1</sub> A <sub>2</sub>		

第 6 组增重,增长及存活率都达最大值,这一结果和第 6 组中的  $18:2n-6$ ,  $18:3n-3$ ,  $20:5n-3$  和  $22:6n-3$  都为优水平是一致的,方差分析表明第 6 组与其他组间差异显著 ( $P < 0.05$ ),这说明实验结果是可信的。可以认为,第 6 组必需脂肪酸配方,即在饲料中  $18:2n-6$  为 1.95%,  $18:3n-3$  为 1.09%,  $20:5n-3$  为 0.20%,  $22:6n-3$  为 0.37% 是本试验条件下的最佳配方。

### 2.1.4 亚油酸、亚麻酸、二十碳五烯酸及二十二碳六烯酸的营养生理作用

Castell and Covey<sup>[4]</sup> 研究报道,对虾缺乏亚油酸等四种必需脂肪酸就会导致脂肪酸缺乏症。日本对虾喂以缺乏必需脂肪酸的饲料时会产生多量的  $20:3n-9$ ,  $18:3n-3$ ,  $20:5n-3$  及  $22:6n-3$  之所以必需,是因为它们不能由  $n-6$  或  $n-9$  系列的脂肪酸转变生成,而必须从食物中取得。它们的生理作用,就目前发表的文献<sup>[3]</sup>看,它们在甘油脂的  $\beta$ -碳位上构成磷脂,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

的弹性和穿透性,此穿透性参与细胞内外物质的交换,是质膜的一种很重要的作用。HUFA 摄食不足,质膜穿透性差,间接影响细胞对膜外营养物质的利用,这可能是在 HUFA 不足情况下生长差的重要原因。此外,HUFA 的存在还可防止脂肪肝的形成。关于 n-3 系列的 HUFA 的营养生理作用,目前所知不多,还有待于进一步的研究。

2.2 饲料中亚油酸与亚麻酸、亚油酸与二十二碳六烯酸的比例与对虾增重率、增长率及存活率的关系 从图 1,图 2 可见,当 18:2n-6 与 18:3n-3 比例为 1.79,18:2n-6 与 22:6n-3 比例为 5.3 时,对虾增重率、增长率、存活率最高。第 7 组饲料 18:2n-6/18:3n-3 比为 5.71,偏离 1.79 较大,增重率、增长率和存活率应比较小,但其 18:2n-6/22:6n-3 为 6.83,接近 5.3,因此增重率、增长率及存活率较高。第 1 组饲料 18:2n-6/18:3n-3 为 3.79,18:2n-6/22:6n-3 为 1.25,偏离 1.79 和 5.3 较大,所以增重率、增长率及存活率皆很低。结果表明,对虾增重率,增长率及存活率同时受到 18:2n-6,18:3n-3,20:5n-3,22:6n-3 含量和 18:2n-6/18:3n-3,18:2n-6/22:6n-3 的双重影响。饲料中 18:2n-6 与 18:3n-3,18:2n-6 与 22:6n-3 的最佳比例分别为 1.79 和 5.3。根据实验结果,如以 18:2n-6 为 1,则 18:2n-6,18:3n-3,20:5n-3,22:6n-3 之间的最佳比例为 1:0.56:0.1:0.19。

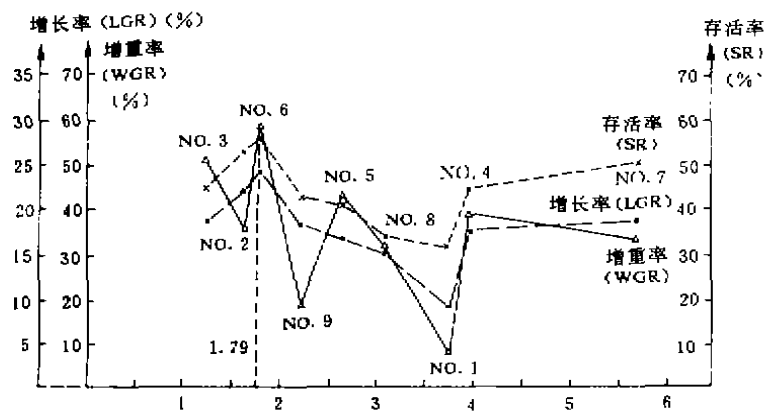


图 1 18:2n-6/18:3n-3 比与对虾增重率、增长率、存活率关系图

Fig. 1 Relationship between the ratio of linoleic acid to linolenic acid in the diet and the weight gain rate, the length gain rate and survival rate of *Penaeus chinensis*

\* LGR:Length gain rate, WGR,Weight gain rate, SR;Survival rate, same for Fig. 2

### 3 小结

1. 中国对虾对 18:2n-6,18:3n-3,20:5n-3 和 22:6n-3 最适需要量(%)分别为 1.95,1.09,0.20 和 0.37。

2. 20:5n-3 和 22:6n-3 的生理作用大于 18:2n-6 和 18:3n-3,为影响对虾生

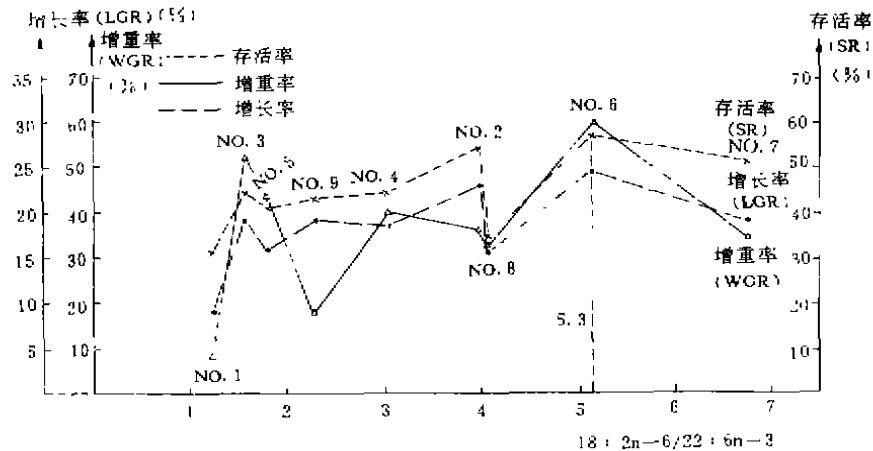


图 2 18:2n-6/22:6n-3 比与对虾增重率、增长率、存活率关系图

Fig. 2 Relationship between the ratio of linoleic acid to docosahexenoic acid in the diet and the weight gain rate, length gain rate and survival rate of *Penaeus chinensis*

长的第一限制性因素。在增重方面, 18:3n-3 的作用小于 18:2n-6; 在增长和提高存活率方面, 18:3n-3 作用大于 18:2n-6。

3. 饲料中 18:2n-6 与 18:3n-3, 18:2n-6 与 22:6n-3 最佳比例分别为 1.79 和 5.3, 各不饱和脂肪酸之间最佳比为 1:0.56:0.10:0.19。

4. 以富含亚油酸的植物蛋白饲料为主要原料的对虾配合饲料中, 往往缺乏 20:5n-3 和 22:6n-3, 所以设计对虾饲料时, 应添加鱼油, 并按其适宜比例添加, 以满足对虾的营养需要。

### 参考文献

- [1] 侯文璞, 汪哲夫. 对虾配合饲料学, 北京, 海洋科学出版社, 1990, 89-91.
- [2] 陈新章, 李爱杰. 中国对虾对饲料中蛋白质、糖、纤维素、脂肪的适宜含量及日需量研究. 海洋科学, 1988, 6: 1-6.
- [3] 庄健隆. 水产动物之饲料营养及营养性疾病. 台湾养猪科学出版社出版, 1987, 36.
- [4] Castell, J. D., and J. F. Covey. Dietary lipid requirement of adult lobsters. J. Nutr., 1976, 106: 1159-1165.
- [5] Kanazawa, A., S. Teshima and M. Endo, Requirements of Prawn *Penaeus japonicus* for essential fatty acids. Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ., 1979, 28: 27-33.
- [6] Kanazawa, A., S. Teshima, S. Tokiwa and H. J. Ceccaldi, Effects of dietary linoleic and linolenic acids on growth of Prawn. Oceanol. Acta, 1979, 2: 41-47.
- [7] Kanazawa, A., S. Teshima, M. Kayama and M. Hirata, Essential fatty acids in diet of Prawn I Effect of docosahexenoic acids on growth. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 1979, 45: 1151-1153.
- [8] Read, G. H. L., The response of *Penaeus indicus* (Crustacea: Penaeidae) to purified and compounded diets of varying fatty acid composition. Aquaculture, 1981, 24: 245-256.



## NUTRIENT REQUIREMENTS OF *PENAEUS CHINENSIS* FOR ESSENTIAL FATTY ACIDS

Ren Zelin Li Aijie Xue Changhu

(School of Fisheries)

### Abstracts

The dietary test of *Penaeus chinensis* was designed by means of the gradient method for 18 : 2n-6, 18 : 3n-3, 20 : 5n-3 and 22 : 6n-3. The result shows that the weight gain rate, the length gain rate and the survival rate are influenced by the content of 18 : 2n-6, 18 : 3n-3, 20 : 5n-3 and 22 : 6n-3 and the ratios of 18 : 2n-6 to 18 : 3n-3 and 18 : 2n-6 to 22 : 6n-3. The appropriate content of 18 : 2n-6, 18 : 3n-3, 20 : 5n-3 and 22 : 6n-3 are 1.95%, 1.09%, 0.20% and 0.37% respectively. The appropriate ratios of 18 : 2n-6 to 18 : 3n-3 and 18 : 2n-6 to 22 : 6n-3 are 1.79 and 5.3 respectively. As to *Penaeus chinensis*, we have found that the EFA activity of 20 : 5n-3 and 22 : 6n-3 is higher than that of 18 : 3n-3 and 18 : 2n-6. The result also shows that 18 : 2n-6 is more effective than 18 : 3n-3 on the weight gain rate, and 18 : 2n-6 is less effective than 18 : 3n-3 on the length gain rate and the survival rate.

**Key words:** *Penaeus chinensis*; linoleic acid; linolenic acid; eicosapentaenoic acid; docosahexenoic acid; weight gain; length gain; survival rate

### 海 洋 人 物

奇里科夫, А. П. (Алексей Плыч Чириков, 1703—1748. 11) 俄国航海家、海军准将。1721年毕业于海运学院。作为俄国航海家白令(V. Bering)的助手,于1725—1730年和1733—1743年两次考察勘察加半岛。1741年7月16日乘《圣保罗号》邮船先于欧洲人到达并考察北美洲的部分西北海岸。发现阿留申群岛一系列岛屿。1742年出航寻找白令指挥的《圣彼得号》船,其间,查明阿图岛位置。1746年参加编制俄国太平洋的发现总图。1748年11月逝世于莫斯科。

(刘安国)