

中国对虾 (*Penaeus orientalis* Kishinouye) 的 几种必需脂肪酸营养价值的比较研究*

季文娟 徐学良

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266003)

提 要 用四种试验饵料, 其中分别含有 1% 高纯度的 $\omega-3$ 及 $\omega-6$ 不饱和脂肪酸 (亚油酸 C18:2 $\omega-6$ 、亚麻酸 C18:3 $\omega-3$ 、花生四烯酸 C20:4 $\omega-6$ 、二十二碳六烯酸 C22:6 $\omega-3$, DHA) 以及一种对照饵料含有 5% 棕榈酸 C16:0 和油酸 C18:1 $\omega-9$ 混合物对中国对虾 (*Penaeus orientalis* Kishinouye) 幼虾进行了为期 32 天的投喂试验, 从成活率、蜕皮次数及增重等实验结果可见二十二碳六烯酸 (DHA) 对中国对虾幼虾具有最高的营养价值。同时, 对海捕和人工养殖的中国对虾的脂肪酸组成进行了比较, 两者都含有大量的 $\omega-3$ 系列的高度不饱和脂肪酸; 但是与海捕虾相比较, 人工养殖对虾的 DHA 含量较低, 而亚油酸含量较高。上列结果表明在对虾饵料中补充富含 DHA 的脂肪源将有效地促进对虾增产。

关键词 必需脂肪酸, 营养价值, DHA

近二十年来, 世界养虾业发展迅速。中国的海虾养殖业是从 1978 年开始大规模地发展的, 目前, 中国已经成为世界上主要产虾国之一, 对虾产量已列各国之首。中国对虾 (*P. orientalis* Kishinouye) 是我国海水养殖业的一个主要品种, 随着对虾生产的不断增长, 对人工饵料的需要也随之增长, 而生产营养平衡、配方合理的质优价廉的合成饵料又是饵料生产发展的关键。对虾对脂肪的营养需要是营养研究的一个重要方面。近年来, 各国学者对不同属、种的鱼、虾进行了大量的研究, 但中国对虾对脂肪酸的需要还未见报道。本文将对中国对虾的脂肪酸营养需要作一论述。

从营养学的观点来讲, 海洋鱼类和甲壳类缺乏合成 $\omega-3$ 和 $\omega-6$ 系列不饱和脂肪酸的能力来满足其自身的营养需要而维持正常的生理作用^[3-6,8,10,21,19]。各国学者对不同种的对虾进行的大量研究证明了饵料中的 $\omega-6$ 和 $\omega-3$ 系列不饱和脂肪酸是它们正常生长和生存所必需的^[2,7,9,15,16]。本研究的目的是对亚油酸 C18:2 $\omega-6$ 、亚麻酸 C18:3 $\omega-3$ 、花生四烯酸 C20:4 $\omega-6$ 和二十二碳六烯酸 C22:6 $\omega-3$ (DHA) 等必需脂肪酸对中国对虾幼虾的营养价值和相对必需性进行比较研究。

收稿日期: 1993-06-27。

* 本文工作为与加拿大 IDRC 合作项目的一部分。Dr. J. D. Castell 对本实验进行了指导, IDRC 提供了海水净化装置及部分化学试剂, 谨表感谢。

材料和方法

(一) 对虾

中国对虾幼虾(体重 0.4~0.5g, 体长 2.5~3.0cm)是从胶南养殖场运至青岛太平角试验室的, 在水泥池中暂养 10 天。暂养期间喂以蛤肉, 然后分成 30 组进行投喂试验。

(二) 试验饵料

五种试验饵料(其中一种为对照饵料)的配方组成, 除了 1% 是所试验的不同的纯脂肪酸外, 其余基本组分都相同; 试验饵料的基本组分列于表 2, 添加的不同脂肪酸的组成列于表 3。所有饵料中含脂肪的组分, 如蟹肉蛋白、明胶、玉米淀粉、糊精和纤维素等都预先经过溶剂处理以去掉残余的脂肪。饵料制备后保存在 -20℃ 冰柜中, 直至投喂试验使用。

(三) 投喂试验方法

将暂养后的幼虾随机分成 30 个试验组, 每组 4 尾虾, 分别放入试验笼箱的各个空格内(每一试验笼箱分隔成均等的四格)以防止互相吞食; 每 3 个笼箱放置于 1 个长方形的玻璃钢水槽内(90×60×60cm), 这样, 共有 10 个水槽 30 个试验笼箱 120 尾虾分别喂以不同的五种试验饵料; 每种饵料试验包括 6 个笼箱、24 尾虾的平行试验。试验水槽里的海水维持一定高度并以 150L/天的速度流动换水, 所供海水经石英砂、活性炭以及高密度纤维柱过滤以除去杂质。每种饵料日投喂 3 次, 经 32 天投喂试验, 记录存活率、每尾虾的增重及蜕皮次数。

(四) 脂肪酸的测定

对五种试验饵料及试验后的虾体分别进行脂肪酸组成的测定, 还对海捕及养殖亲虾的肝胰脏、卵巢、肌肉分别进行了脂肪酸组成的测定, 用以进行比较研究。

脂肪的提取采用了 Bligh 和 Dyer 方法^[1], 脂肪酸的甲酯化采用了前田有美惠等改良的 HCl-CH₃OH 方法^[17], 样品的甲酯混合物用气相色谱法进行分析, 所用气相色谱仪为 HP5890 II—GC, 配有毛细管柱(0.32mm×25M Carbowax)及火焰离子化检测器。

结 果

我们对海捕及人工养殖对虾的脂肪酸组成进行了分析比较, 结果列于表 1。从表中可见, 中国对虾的脂肪酸组成比例模式近似于日本对虾, 其中占主要比例的饱和脂肪酸是棕榈酸 C16:0, 主要的单不饱和脂肪酸是油酸 C18:1 ω 9 和棕榈油酸 C16:1 ω 7, 并含有很高比例的 ω -3 系列的高度不饱和脂肪酸; 无论海捕虾和养殖虾的脂肪酸组成总的比例模式相同, 但与海捕虾相比, 养殖虾的 DHA 含量较低而亚油酸 C18:2 ω 6 的含量较高, 这一差别可能是由于所摄食物及生态环境的不同造成的。

通过投喂试验, 我们对亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸及二十二碳六烯酸(DHA)对中国对虾的营养价值及它们作为必需脂肪酸的相对的必需性作了比较和评估。表 2 列出了试验饵料的基本组分, 表 3、表 4 列出了各试验饵料中所添加的脂肪酸组成及五种试验

表 1 海捕和养殖的中国对虾的脂肪酸组成的比较

Table 1 A comparison of fatty acid compositions between wild and cultured prawn
(*Penaeus orientalis* Kishinouye)

脂肪酸 Fatty acids	卵巢 ovary			肝胰脏 Hepatopancreas		
	越冬后养殖	养殖 ■ *	海捕 ■	越冬后养殖	养殖 ■	海捕 ■
	Cultured after winter- ring	Cultured ■ *	Wild ■	Cultured after winter- ring	Cultured ■	wild ■
C14:0	1.3	1.3	1.6	2.3	2.7	2.6
C16:0	17.3	16.9	16.8	20.3	19.0	17.6
C16:1 ω7	16.5	14.9	20.2	18.3	14.1	18.9
C18:0	3.3	4.1	2.5	5.3	5.1	2.4
C18:1 ω9	20.7	19.4	23.5	21.9	20.0	23.0
C18:2 ω6	5.5	4.1	1.2	4.1	1.9	0.8
C18:3 ω3	0.9	1.0	1.0	1.6	1.1	0.5
C20:1 ω9	1.1	2.7	2.9	1.8	3.8	9.0
C20:4 ω6	4.0	2.8	1.4	ND**	3.0	3.0
C20:5 ω3	18.3	18.0	13.1	14.5	17.0	9.4
C22:6 ω3	1.8	6.6	7.0	3.0	3.6	3.8
C22:6 ω3/C18:2 ω6	0.327	1.609	5.833	0.732	1.894	4.75

Cultured ■ *: GSI=8.0

ND** not detected

表 2 试验饵料的基础成份

Table 2 Basal diet ingredients

成份 Ingredient	干饵料中所占百分比 % of dry diet
蟹肉蛋白 Crab Protein concentrate	40
明胶 Gelatin	10
玉米淀粉 Corn starch	15
糊精 Dextrin	5
纤维素 Cellulose	17.3
混合无机物 Mineral mix (as in HFX CRD)	4
混合维生素 Vitamin mix (as in HFX CRD)	2
胆固醇 Cholesterol	0.5
总计 Total	93.8
饵料制备后期阶段需加入的成份 Ingredients to be added during final diet preparation	
维生素E醋酸盐 Vitamin E acetate	0.2
氯化胆碱 Choline chloride (70%)	1.0
实验类脂混合物 Experimental Lipid Mixture	5.0
总计 Total	6.2

表 3 试验饵料中添加的脂肪酸的组成

Table 3 Composition of supplementing fatty acids to basal diet

饵料号 Diet No.	18: 2 ω 6	18: 3 ω 3	20: 4 ω 6	22: 6 ω 3	16: 0+18: 1 ω 9
1	1	0	0	0	2+2
2	0	1	0	0	2+2
3	0	0	1	0	2+2
4	0	0	0	1	2+2
5	0	0	0	0	2.5+2.5

饵料的脂肪酸组成分析结果, 表 5、表 6 及图 1、图 2 表示了经过 32 天的投喂试验, 饵料中的不同脂肪酸对中国对虾的成活率、蜕皮次数及生长率的影响结果。从上列图表可以看出, 饵料脂肪中只含有棕榈酸 C16: 0 和油酸 C18: 1 ω 9 的对照饵料导致幼虾的极低的成活率及蜕皮频率, 并几乎停止生长; 添加 1% 亚油酸的饵料提高了幼虾的成活率和增重率 ($P < 0.05$), 但是对蜕皮频率的增加并不明显; 而添加 1% 亚麻酸的饵料能明显地提高幼虾的生长率、成活率及蜕皮频率 ($P < 0.01$); 表 5、表 6 及图 1、图 2 亦表明了饵料中添加 1% 的花生四烯酸显著地改善了幼虾的成活、生长率及蜕皮频率; 添加 1% 的二十二碳六烯酸 (DHA) 使幼虾达到最高的成活率、增重率及蜕皮频率 ($P < 0.01$)。

表 4 试验饵料的脂肪酸组成分析

Table 4 Fatty acid analysis of five experimental diets (% of lipid)

饵料号 Diet No.	18: 2 ω 6	18: 3 ω 3	20: 4 ω 6	22: 6 ω 3	16: 0+18: 1 ω 9
1	25.4	0	0	0	74.5
2	0	24.6	0	0	75.3
3	0	0	22.7	0	74.1
4	0	0	0	22.8	76.0
5	0	0	0	0	100.0

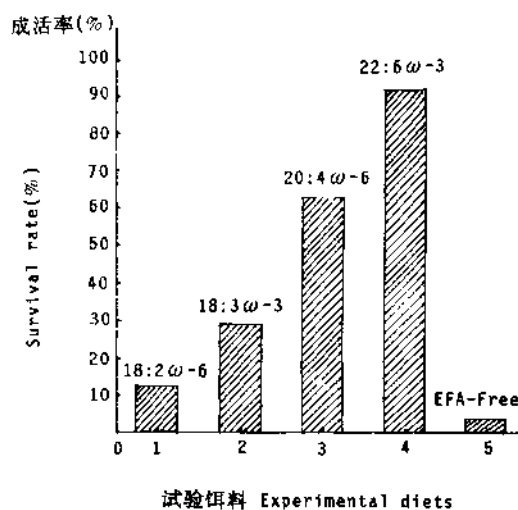
表 5 饵料中的 ω -3 和 ω -6 脂肪酸对中国对虾的存活率和蜕皮率的效果比较Table 5 Effect of dietary ω -3 and ω -6 fatty acids on survival and molting of Chinese prawn (*Penaeus orientalis* Kishinouye)

饵料号 Diet No.	喂养天数 feeding days	成活率 survival rate (%)	蜕皮次数 Molting frequency
1	32	12.5	3
2	32	29.2	4
3	32	63.0	5
4	32	92.0	6
5	32	4.0	3

表 6 饵料中的 $\omega-3$ 和 $\omega-6$ 脂肪酸对中国对虾的生长率的效果比较Table 6 Effect of dietary $\omega-3$ and $\omega-6$ fatty acids on growth of Chinese prawn (*Penaeus orientalis* Kishinouye), average weight per prawn

饵料号 Diet No.	喂养天数 feeding days	最初重量 initial wt. (g)	最终重量 final wt. (g)	生长率 growth rate (%)
1	32	0.37 ± 0.27	0.67 ± 0.03	81 ± 8.02^a
2	32	0.38 ± 0.10	0.74 ± 0.14	95 ± 21.2^{bc}
3	32	0.45 ± 0.19	0.99 ± 1.15	120 ± 6.44^{bc}
4	32	0.45 ± 0.17	1.62 ± 0.23	260 ± 18.4^d
5	32	0.45 ± 0.10	0.62 ± 0.00	38 ± 0.00^d

表中每个重量值是三次平均值, 栏目中有相同上标的值表示没有显著差异 ($P > 0.05$) 或 ($P > 0.01$)
Each value in weight of table is the mean of triplicates, values with the same superscript in a column are not significantly different ($P > 0.05$) or ($P > 0.01$).

图 1 饵料中的 $\omega-3$ 和 $\omega-6$ 脂肪酸对中国对虾成活率的效果比较Fig. 1 The effect of $\omega-3$ and $\omega-6$ fatty acids on the survival rate of *Penaeus orientalis* Kishinouye

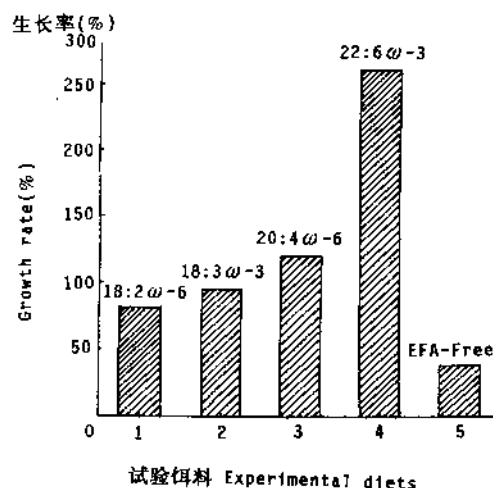


图2 饵料中的 ω -3和 ω -6脂肪酸对中国对虾生长率的效果比较

Fig. 2 The effect of ω -3 and ω -6 fatty acids on growth of *Penaeus orientalis* Kishinouye

讨 论

金沢昭夫等于1977、1978、1979年报道了关于日本对虾缺乏合成亚油酸、亚麻酸、二十二碳五烯酸(EPA)及二十二碳六烯酸(DHA)的能力的研究结果^[10,11,14],指出日本对虾缺乏将双键引入 ω -6及 ω -3位置的能力。Bottino *et al.* 1980, Colvin *et al.* 1976, Kayama *et al.* 1980报道了印度对虾、褐对虾、桃红对虾等缺乏链增长和增双键的能力来合成足够的 ω -3及 ω -6高度不饱和脂肪酸(HUFA)^[2,7,16]。从本文的表5、表6及图1、图2可以看出,中国对虾由于缺乏产生适量的 ω -6及 ω -3系列的HUFA的能力,当投喂仅含饱和的棕榈酸及单不饱和的油酸而无HUFA补充的对照饵料时,出现高死亡率、低蜕皮频率及几乎不增重。一些 ω -3及 ω -6HUFA是生物体细胞膜的重要组成成分及某些激素的前体,它们对维持对虾的正常生理活动是必不可少的。虽然所需量很少,但一旦对虾消耗了原来体内储存的量而又不能从外界摄取这些脂肪酸,与此相关的许多重要的生理和生化过程将被抑制,最终导致死亡。

金沢昭夫于1977年报道了在日本对虾的饵料中添加亚油酸和亚麻酸,明显地提高了增重率^[13],而比较二者的效果, ω -3系列的亚麻酸要优于 ω -6系列的亚油酸。本文中的表5、表6亦表明了在中国对虾饵料中添加1%亚油酸时能明显提高幼虾的成活率和生长率($P < 0.05$)而对蜕皮频率无明显的改进,而当添加1%亚麻酸时,幼虾的成活率、增重率及蜕皮频率都有明显的提高($P < 0.01$)。试验结果说明对于中国对虾来说,亚麻酸C18:3 ω 3比亚油酸C18:2 ω 6具有更高的必需脂肪酸价值。

表5、表6及图1、图2还表明了含有1%花生四烯酸的饵料能显著地提高中国对虾

幼虾的成活率和蜕皮频率，但增重率仅稍优于添加亚麻酸的饵料的作用，这一结果可能是由于作为某种激素前体的组成成分的花生四烯酸在甲壳类的蜕皮过程中起到重要的作用，但对它们的生长却无特别的促进作用。正如在上述图表中所示，在四种试验饵料中，添加 1%DHA 的饵料使对虾能得到最高的成活率、增重率和蜕皮频率。

本研究结果说明，对于中国对虾来说， $\omega-3$ 及 $\omega-6$ 系列的高度不饱和脂肪酸是饵料中必需的；在饵料中添加亚油酸 C18:2 $\omega6$ 、亚麻酸 C18:3 $\omega3$ 、花生四烯酸 C20:4 $\omega6$ 和 DHA 都能提高幼虾的成活率、增重率及蜕皮频率。从本试验还可看出，作为必需脂肪酸， $\omega-3$ 系列高度不饱和脂肪酸的作用优于 $\omega-6$ 系列高度不饱和脂肪酸；同一系列中，长链的又优于短链的作用；而在上述四种必需脂肪酸中，DHA 具有最高的营养价值。

从表 7 可见，不同饵料试验中的虾体的脂肪酸组成比例明显地受所喂饵料的脂肪酸组成的影响。从表 1 海捕虾和养殖虾的脂肪酸组成的比较中亦反映出饵料对虾体脂肪酸组成的影响。在对虾养殖生产中，投喂人工配合饵料。目前的对虾人工配合饵料多以富含亚油酸的植物蛋白为主要原料，因此使养殖虾虾体脂肪中的亚油酸含量高于海捕虾虾体脂肪中的亚油酸含量，而海捕虾由于在自然环境中摄食海洋动植物使虾体脂肪中 DHA 的含量高于养殖虾。由此提示我们，生产营养平衡、配方合理的人工饵料对促进对虾生长、提高养殖产量的重要性。各种必需脂肪酸的营养价值的比较对于选择适当的脂肪源提供了理论依据，在中国对虾的养殖生产中，添加富含 DHA 的脂肪源将是促进对虾生长、提高养殖产量的有效途径。

表 7 不同饵料所喂虾体的脂肪酸组成

Table 7 Fatty acid compositions of five experimental shrimp carcasses

脂肪酸 Fatty acids	不同饵料号的试验虾体 Shrimp Carcass fed by diet No.				
	1	2	3	4	对照 Control
C16:0	21.1	16.4	16.8	17.9	22.1
C16:1 $\omega7$	4.1	3.4	2.6	3.8	6.5
C18:0	4.6	4.3	4.4	4.5	4.4
C18:1 $\omega9$	23.5	32.9	27.6	30.9	30.6
C18:2 $\omega6$	13.2	2.1	1.2	1.6	2.1
C18:3 $\omega3$	0.2	12.0	0.1	0.2	0.2
C20:1 $\omega9$	0.9	1.1	1.4	1.2	0.9
C20:4 $\omega6$	2.8	1.5	19.9	2.5	3.1
C20:5 $\omega3$	9.0	6.1	5.2	6.9	9.3
C22:6 $\omega3$	5.9	5.9	6.1	15.5	6.7
C18:2 $\omega6$	13.2	2.1	1.2	1.6	2.1
C18:3 $\omega3$	0.2	12.0	0.1	0.2	0.2
C20:4 $\omega6$	2.8	1.5	19.9	2.5	3.1
C22:6 $\omega3$	5.9	5.9	6.1	15.5	6.7
C16:0+C18:1 $\omega9$	44.6	49.3	44.4	48.8	52.7

参 考 文 献

- [1] Bligh E. G. and Dyer W. J., 1959 • A rapid method of total lipid extraction and purification . Can . J. Biochem . Physiol, 37 : 911—917.
- [2] Bottino N. R. et. al., 1980 • Seasonal and nutritional effects of the fatty acids of three species of shrimp *Penaeus setiferus*, *P. aztecus*, *P. duorarum*. Aquaculture, 19 : 139—148.
- [3] Castell J. D. and Kean J. C., 1989 • A standard reference diet for crustacean nutrition research I. Evaluation of two formulations . J. of the World Aqua. Soc., 20 (3) : 93—99.
- [4] Castell J. D. et. al., 1972 • Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms . J. Nutri. 102 : 77—86.
- [5] Castell J. D. and Covey J. F. 1976 • Dietary lipid requirements of adult lobster (*Homarus americanus*). J. Nutri., 106 : 1159—1165.
- [6] Castell J. D., 1982 • Fatty acids metabolism in crustaceans . Proc. Second Intl. Conf. on Aquaculture Nutrition, 124—145.
- [7] Colvin P. M., 1976 • The effect of selected seed oils on the fatty acid composition and growth of (*Penaeus indicus*). Aquaculture 8 : 81—89.
- [8] Fujii M. and Yone Y., 1976 • Studies on nutrition of red sea bream—XI. Effect of dietary linolenic and n—3 polyunsaturated fatty acid on growth and feed conversion . Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 42 : 583—588.
- [9] Guary J. et. al., 1976 • The Effects of a fat—free diet and compounded diets supplemented with various oils on molt, growth and fatty acid composition of prawn *Penaeus japonicus* bate. Aquaculture, 7 : 245—254.
- [10] Kanazawa A. et. al., 1979 • Relationship between EFA requirement of aquatic animal and capacity for bioconversion of Linolenic acid to highly unsaturated fatty acids . Comp. Biochem. physiol, 63B : 295—298.
- [11] Kanazawa A. and Teshima S., 1977 • Biosynthesis of fatty acids from acetate in the prawn *Penaeus japonicus*. Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ, 26 : 49—53.
- [12] Kanazawa A. et. al., 1979 • Biosynthesis of fatty acids from palmitic acid in the prawn, *Penaeus japonicus*. Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ., 28 : 17—20.
- [13] Kanazawa A. et. al., 1977 • Essential fatty acids in the diet of prawn—I. Effects of linoleic and linolenic acids on growth . Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 43 (9) : 1111—1114.
- [14] Kanazawa A. et. al., 1978 • Effects of eicosapentaenoic acid on growth and fatty acid composition of the prawn *Penaeus japonicus*. Mem. Fac. fish. Kagoshima Univ., 27 (1) : 35—40.
- [15] Kanazawa A. et. al., 1979 • Essential fatty acids in the diet of prawn —II. Effect of docosahexaenoic acid on growth . Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 45 (9) : 1151—1153.
- [16] Kayama M. et. al., 1980 • Essential fatty acid in the diet of prawn—III. Lipid metabolism and fatty acid composition . Bull. Jap. Soc. Sci. Fish, 46 : 483—488.
- [17] Maeda Y. et. al., 1987 • Sample analysis method for fatty acids in food samples . J. Food Hygiene Soc. Jap, 28 (5) : 384—389.
- [18] Read G. H. L. et. al., 1981 • The response of *Penaeus indicus* to purified and compounded diets of varying fatty acid composition. Aquaculture, 24 : 245.
- [19] Watanobe T. et. al., 1974 • Requirement of rainbow trout for essential fatty acids . Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 40 : 493—499.
- [20] Xu Xueliang, et. al., 1992 • Effect of dietary ω —3 and ω —6 fatty acids on survival, molting and growth of juvenile shrimp (*Penaeus chinensis*). Marine Fisheries Research, (13) : 21—28.
- [21] Yu T. C. and Shinnhuber R. O., 1977 • Effect of dietary n—3 and n—6 fatty acids on growth and feed conversion efficiency of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Aquaculture, 16 : 31—38.

A COMPARATIVE STUDY ON THE NUTRITIVE VALUE OF SOME ESSENTIAL FATTY ACIDS FOR CHINESE PRAWN (*PENAEUS ORIENTALIS* KISHINOUE)

Ji Wenjuan Xu Xueliang

Yellow Sea Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery sciences, Qingdao 266003)

ABSTRACT With four experimental diets added with 1% highly purified $\omega-3$ and $\omega-6$ fatty acids (Linoleic 18 : 2 $\omega 6$, Linolenic 18 : 3 $\omega 3$, arachidonic 20 : 4 $\omega 6$, and docosahexenoic acid 22 : 6 $\omega 3$) respectively and with the control diet which contains 5% of palmitic acid (16 : 0) and oleic acid (18 : 1 $\omega 9$) mixture, a feeding experiment for juvenile Chinese prawn was conducted for a 32-day period. The prawn fed the diet containing 1% of docosahexenoic acid (22 : 6 $\omega 3$, DHA) with 4% of 16 : 0, 18 : 1 $\omega 9$ mixture obtained the highest survival rate, molting frequency and weight gain. The result indicates that DHA has the highest EFA value for juvenile Chinese prawn. Comparisons were made between wild and cultured Chinese prawn (*P. orientalis* Kishinouye) for fatty acid composition. There are large proportions of $\omega-3$ polyunsaturated fatty acids in the fatty acid compositions of either wild or cultured prawn. It suggests that the supplement with oils rich in DHA to the artificial diets will benefit the Chinese prawn production effectively.

KEYWORDS Essential fatty acid, Nutritive value, DHA