

文章编号: 1000-0615(2008)02-0257-09

不同脂肪源饲料培育的大型溞对中华绒螯蟹仔蟹发育和变态的影响

夏爱军^{1,2}, 成永旭¹, 贺诗水¹,

吴旭干¹, 边文冀², 杨筱珍¹, 陆全平², 王 武¹

(1. 农业部水产种质资源和养殖生态重点开放实验室, 上海水产大学, 上海 200090;

(2. 江苏省淡水水产研究所, 江苏 南京 210017)

摘要: 2003 年 5 月 20 日至 6 月 22 日, 研究了不同脂肪源饲料培育的大型溞对中华绒螯蟹发育和变态的影响。采用纯酵母(酵母组)、酵母添加 10% 豆油(豆油组)和酵母添加 10% 鱼油(鱼油组)三组饲料培养的大型溞作为大眼幼体发育到仔蟹 IV 期的生长和蜕壳的饵料。实验期间水温为室温, 温度为 20~24 ℃。结果表明, 鱼油组培养的大型溞能显著地加速仔蟹发育阶段变态时间(缩短蜕皮周期), 促进生长。其次为豆油组。酵母组最差。其加速变态的效果在仔蟹 I 期发育变态到 II 期就显著表现出来。此外, 鱼油组、豆油组与酵母组相比, 相应仔蟹期的规格较大。脂肪酸组成分析显示, 仔蟹脂肪酸的组成在一定程度上, 反映了其摄食不同脂肪源饲料培育的大型溞的脂肪酸组成。鱼油组的仔蟹具有相对高的 EPA, DHA 和 HUFA 的百分组成, 而豆油组培育的仔蟹由于大型溞中含有较高含量的 C18:2, 而致使仔蟹的 C18:2 具有最高含量。实验证实, 饵料中高 HUFA 的含量, 能显著促进仔蟹的生长和变态。PUFA, 特别是 C18:2 对仔蟹变态和成活也有一定的促进作用。

关键词: 中华绒螯蟹; 大型溞; 脂肪酸; 变态

中图分类号: Q 591.5; S 963

文献标识码: A

近些年来, 中华绒螯蟹养殖在我国得到了迅猛的发展, 但仍存在着不少问题, 其中蟹种培育的成活率多数在 5%~10%^[1], 少数可达 40% 左右^[2], 其关键的阶段就是由大眼幼体发育至仔蟹(仔蟹 V 期)的成活率差异很大。主要原因之一不注意在此阶段幼体的营养生理生态发生的重大变化, 特别是营养生理变化。本研究主要从营养生理方面, 特别是脂类营养方面进行研究, 因为在十足类, 成功的幼体发育和变态在很大程度上依赖于饵料的脂类水平, 尤其是长链多不饱和脂肪酸(HUFA)的水平 and 含量, 同时也依赖于幼体能否有效地利用这些能源物质^[3]。成永旭等^[4]利用精

制饵料研究饵料脂类对河蟹仔蟹阶段生长和蜕壳的影响, 发现磷脂对育成仔蟹的成活率有显著的促进作用, HUFA 对生长的促进作用不大。然而目前在鱼虾类幼体的很多的实验都证实, HUFA 在水产动物幼体发育过程中具有重要作用^[5-13], 在这些研究中, 主要通过对生物饵料的 HUFA 强化培养, 提高生物饵料的 HUFA 水平, 从而提高幼体成活率和生长, 不过在蟹类方面的研究目前几乎还没有报道。为此, 本实验将对在河蟹仔蟹培育过程中利用的枝角类, 通过不同脂肪源饲料营养强化和培养, 研究长链多不饱和脂肪酸(HUFA)对河蟹早期仔蟹培育的变态和生长的影响, 以期

收稿日期: 2007-01-29

资助项目: 国家自然科学基金(39900112); 江苏省水产三项工程(PJ2002-35); 上海市重点学科建设项目(Y1101)

作者简介: 夏爱军(1968-), 男, 江苏丹阳人, 高级工程师, 主要从事水产动物增殖研究

通讯作者: 成永旭, yxcheng@shfu.edu.cn

进一步深化脂类营养在虾蟹类苗种培育方面的理论,丰富虾蟹类营养繁殖学的内容,并可为其它经济蟹类仔蟹培养方面提供参考。

本实验中选用的枝角类为大型溞(*Daphnia magna*),它是枝角类中比较大型的溞类,其生长周期短,生殖量大,适应性强,易规模培养,营养丰富,是河蟹大眼幼体期以后理想的活饵料,特别是在育苗后期替代卤虫,更具有显著的优点,而且大型溞比较容易强化培养^[14],所以,研究结果便于直接指导生产实践。

1 材料与方法

1.1 大眼幼体(M)育成仔蟹 I 期(C₁)

2003 年 5 月 20 日从通州取温室育苗的 2 日龄大眼幼体(M),首先在海水中用卤虫无节幼体培育 4 d,并逐步淡化,至 5 月 24 日,将大眼幼体随机分 3 组,每组设 4 个重复,饲养于 12 个 100 L 同等规格玻璃水箱中,每个水箱放 770 只 M,各组分别投喂用纯酵母(酵母组)、酵母添加 10%豆油(豆油组)和酵母添加 10%鱼油(鱼油组)强化培养的大型溞。每天上下午投喂大型溞两次,保证每天各箱充足的大型溞饵料。实验期间每天换水一半,并将死亡的幼体及时虹吸出。至 6 月 1 日,大部分大眼幼体(>60%)已变为 C₁。各类大型溞的培养分别在 12 个 1.3 m×0.6 m×0.6 m 的水族箱进行。实验进行 9 d。

1.2 从 C₁ 培育成仔蟹 II 期(C₂)

6 月 1 日,将上述各期 C₁ 分别取 150 只,分组和投喂同上。各组剩余的 C₁ 作脂类和脂肪酸等生化测定。每天计数死亡和变态的情况。6 月 8 日大部分 C₁ 变态为 C₂,彻底检查各箱 C₁,C₂ 的存活的数量。实验进行 8 d。

1.3 从 C₂ 培育成仔蟹 III(C₃)、IV 期(C₄)

6 月 8 日,从各平行组的 C₂ 分别取 60 只,分组和投喂同 1.1 的方法。由于要保证实验仔蟹的样品量,C₂ 未做脂类和脂肪酸等生化测定(样品量不足)。每天计数死亡和变态的情况。6 月 22 日大部分 C₂ 变态为 C₃,并且都有 C₄ 的存在。此时彻底检查各箱 C₂,C₃ 和 C₄ 期的存活数。取仔蟹 III 期作进一步的生化等测定。实验进行 15 d。

以上实验,实验期间保证 24 h 充氧,饵料(大型溞)供应充分,实验期间室内水温在 20~24 ℃ 左右。

1.4 脂类和脂肪酸组成分析

分别测定各饵料组的脂肪酸组成,不同饵料组投喂的大型溞的脂类和脂肪酸组成,大眼幼体和各期仔蟹的脂类和脂肪酸组成。分析方法参照黄显清等^[14]的方法。

1.5 数据分析

实验数据均以“mean±SD”表示,数据采用单因素方差分析后和多重比较分析(Tukey test $P < 0.05$),所有百分比数据在方差分析之前都要先经过反正弦变换。

由于在仔蟹发育阶段不同组处理仔蟹的死亡可能变化比较大,在某一时间的死亡率可能不能很好反映某一阶段成活死亡的情况,我们引入累计死亡率的概念:

实验第 n 天的累计死亡率(cumulative mortality index, CMI):统计在试验阶段每天死亡率 $CMI = D_1 + D_2 + D_3 + \cdots + D_n$ 分别代表第 1 天,第 2 天,第 3 天...,第 n 天时的死亡率,CMI 的值越低,表明死亡率越低。

2 结果

2.1 不同脂肪源饲料和其强化培育大型溞的脂类和脂肪酸组成

从表 1 中可以看出,三种不同脂肪源饲料的脂肪酸组成有明显不同,其特点是,鱼油脂肪源饲料的特点是 HUFA(长链高度不饱和脂肪酸)显著高于其他两组(其它两组几乎为 0),豆油饲料的特点 C18:2 极显著高于其他组。酵母饲料的特点是 MFA(一烯酸)显著高于其他两组。由于不同脂肪源的饲料脂肪酸组成的这些显著差异,所以同时造成这些不同脂肪源饲料培育的大型溞的脂肪酸组成相应差异,其中鱼油组的大型溞 EPA 和 DHA 以及的 HUFA 最高,酵母组次之(但酵母组大型溞 HUFA 绝对含量应低于豆油组,因为豆油组培育的大型溞脂肪含量高,表 2),但豆油组 C18:2 的百分组成要极显著高于其他组。酵母组大型溞的 MFA 极显著高于其他组。

表 1 不同脂肪源饲料和其强化培育后的大型溞的脂肪酸组成 ($n = 4$)Tab.1 The fatty acid compositions of the different diets with various lipid sources and their reared *D. magna*

不同脂肪源饲料脂肪酸组成 the fatty acid composition of the different diets enriched with various lipid sources				不同脂肪源饲料培育的大型溞的脂肪酸组成 the fatty acid composition of <i>D. magna</i> reared by different diets with various lipid sources		
脂肪酸 fatty acid	鱼油 (%) fish oil	豆油 (%) soybean oil	酵母 (%) yeast lipid	鱼油组 (%) fish oil group	豆油组 (%) soybean group	酵母组 (%) yeast group
C14:0	5.53 ± 0.55	0.58 ± 0.06	0.52 ± 0.05	7.06 ± 2.24 ^b	7.52 ± 2.08 ^b	2.07 ± 0.34 ^a
C15:0	1.09 ± 0.24	11.88 ± 1.73		3.19 ± 0.23 ^b	3.97 ± 1.30 ^b	6.20 ± 0.35 ^a
C16:1	8.55 ± 1.65	0	13.15 ± 2.56	18.81 ± 0.47 ^c	13.21 ± 0.53 ^b	26.69 ± 0.88 ^a
C16:0	18.74 ± 3.27	0	32.02 ± 1.67	11.23 ± 1.86 ^b	7.64 ± 0.54 ^a	7.06 ± 0.31 ^a
C17:1	0	0	7.79 ± 0.89	1.83 ± 0.43	2.69 ± 0.38	1.84 ± 0.81
C17:0	0.51 ± 0.72	0	0	0.70 ± 0.41	0.39 ± 0.35	0.87 ± 0.04
C18:3	0	0	0	3.05 ± 0.06 ^a	0 ^b	1.75 ± 0.38 ^a
C18:2	5.81 ± 2.23	61.78 ± 2.29	0	7.41 ± 0.86 ^a	32.60 ± 5.05 ^b	8.71 ± 0.90 ^a
C18:1	17.70 ± 2.81	21.81 ± 0.76	27.67 ± 5.13	22.47 ± 0.68 ^a	18.69 ± 1.56 ^b	27.18 ± 1.25 ^a
C18:0	4.88 ± 0.87	3.95 ± 0.14	7.23 ± 3.44	4.06 ± 0.24 ^b	3.20 ± 0.14 ^a	3.36 ± 0.22 ^a
C20:5(EPA)	11.65 ± 1.17	0	12.08 ± 1.67 ^c	2.42 ± 0.37 ^b	4.32 ± 0.66 ^a	
C20:4	1.14 ± 0.12	0	0.21 ± 0.37	0.18 ± 0.31	0.30 ± 0.30	
C20:3	3.01 ± 0.49	0	1.39 ± 0.18	0.45 ± 0.43	0.22 ± 0.21	
C22:6(DHA)	19.29 ± 1.10	0	2.82 ± 0.21 ^b	0.35 ± 0.34 ^a	0.40 ± 0.37 ^a	
C22:5	1.09 ± 0.30	0	0	0.27 ± 0.24	0.29 ± 0.26	
SFA	31.73 ± 0.48	12.54 ± 0.89	40.29 ± 2.77	26.23 ± 0.75 ^b	22.71 ± 2.47 ^a	22.21 ± 1.44 ^a
MFA	25.79 ± 1.37	21.81 ± 0.76	48.13 ± 3.15	46.35 ± 0.17 ^c	37.07 ± 1.65 ^b	57.71 ± 1.85 ^a
PUFA	41.26 ± 1.21	61.78 ± 2.29	0	26.85 ± 1.87 ^c	39.51 ± 4.37 ^b	19.67 ± 1.02 ^a
HUFA	36.09 ± 0.88	0	0	15.50 ± 1.18 ^c	3.48 ± 1.36 ^b	5.33 ± 0.95 ^a

注:方差分析,在同一行中,字母不同,表示各组间有显著差别 ($P < 0.05$)Notes: ANOVA. In one row, values with different superscript letters mean that there are significant differences ($P < 0.05$).表 2 不同脂肪源饲料培育的大型溞的水分和脂肪含量 ($n = 4$)Tab.2 The lipid content of *D. magna* reared by different diets enriched with various lipid sources

大型溞 <i>D. magna</i>	水分 (%) moisture	脂肪干重 (%) lipid content/dry body weight	脂肪湿重 (%) lipid content/wet body weight
鱼油组 fish oil group	89.5 ± 0.7 ^a	17.1 ± 1.3 ^a	1.8 ± 0.2 ^a
豆油组 soybean oil group	91.3 ± 0.6 ^a	17.8 ± 3.2 ^a	1.6 ± 0.1 ^a
酵母组 yeast group	91.3 ± 0.4 ^b	12.7 ± 2.3 ^b	1.1 ± 0.2 ^b

注:方差分析,在同一行中,字母不同,表示各组间有显著差别 ($P < 0.05$)Notes: ANOVA. In one column, values with different superscript letters mean that there are significant differences ($P < 0.05$)

2.2 不同脂肪源饲料培育的大型溞对河蟹 M 育成 C₃ 的生长的影响

不同脂肪源饲料培育的大型溞对河蟹 M 育成 C₁ 或由 C₁ 育成 C₂ 的生长的影响 经过 9 d 用不同脂肪源饲料培养的大型溞饲喂,对河蟹大眼幼体变为 C₁ 的成活率和变态率没有显著影响。但将 C₁ 继续饲养 8 d, 虽然添加不同脂肪源饲料培养的大型溞对河蟹 C₁ 变态为 C₂ 的成活率没有显著影响,但对其变态率有显著的影响

($P < 0.05$)。经过 8 d 实验,鱼油组的河蟹 C₁ 变态为 C₂ 的变态率平均达 79.6%,是同时期酵母组变态率的 2 倍以上,这说明鱼油组能显著加速仔蟹的变态,豆油组次之,酵母组最差。对变态率的影响主要是由于添加鱼油和豆油组与纯酵母组相比,加速了其生长,其蜕壳间期大大缩短,变态的速度快。所以在相同的生长发育期内,其变态率高(表 3)。

表 3 不同脂肪源饲料培育的大型溞下对
大眼幼体变为 C₁(培育第 9 天)以及 C₁ 变态为 C₂(培育第 8 天)的成活率和变态率的影响 (n = 4)

Tab.3 The survival and metamorphosis of the Chinese mitten crab fed on *D. magna* by different diets with various lipid sources from megalopa to the first stage of juvenile(C₁) on the 9th day and from C₁ to C₂ on the 8th day

	M 变态为 C ₁ (第 9 天) metamorphosis from M to C ₁ (on the 9th day)		C ₁ 变态 C ₂ (第 8 天) metamorphosis from C ₁ to C ₂ (on the 8th day)	
	变态率(%) metamorphosis	成活率(%) survival rate	变态率(%) metamorphosis	成活率(%) survival rate
鱼油组 fish oil group	31.4 ± 5.1	50.7 ± 4.4	79.6 ± 7.6 ^a	92.7 ± 3.2
豆油组 soybean oil group	29.6 ± 1.4	51.2 ± 5.4	55.1 ± 11.0 ^b	91.2 ± 2.4
酵母组 yeast group	34.9 ± 6.3	54.0 ± 5.6	35.1 ± 9.2 ^c	91.6 ± 4.4
P 值 P value	0.579	0.805	0.003	0.855

注:方差分析,在同一列中,字母不同,表示各组间有显著差别(P < 0.05)

Notes:ANOVA, In one column, values with different superscript letters means that there is significant difference(P < 0.05)

不同脂肪源饲料培育的大型溞对河蟹 C₂ 育成 C₄ 期的成活和变态率的影响 鱼油组在第 7 天已有 80% 的 C₂ 变态为 C₃,豆油组 C₂ 变态为 C₃ 达到 80% 变态率为第 12 天,而酵母组在实验第 14 天 C₂ 到 C₃ 变态率也只能达到 60% 左右。而且鱼油组在第 10 天开始出现 C₄,豆油组和酵母组依次延迟 1 d 开始少量出现。至饲喂的第 14 天,鱼油组 C₂ 到 C₄ 的变态率近 50%,而豆油组

不到 20%,酵母组低于 10%。这充分说明鱼油组的发育变态快,豆油组次之,酵母组最低(图 1)。

实验期间各饵料组的仔蟹的死亡率逐步增加,但鱼油组的死亡率始终最低,酵母组的死亡率最高(图 2)。至第 14 天鱼油组死亡率为 12.9% ± 2.6%,豆油组为 18.3% ± 1.9%,酵母组死亡率达 22.1% ± 2.6%,其累计死亡率存在显著差异(表 4)。

表 4 不同脂肪源饲料培育的大型溞下对河蟹 C₂ 变态率 C₄的累积死亡率的影响 (n = 4)

Tab.4 The accumulation mortality of the crab *E. sinensis* during the development period of C₂ to C₄ when fed different dietary *D. magna* by different diets with various lipid sources during the 9 d experiment time

	累积死亡率(%) accumulation mortality rate
鱼油组 fish oil group	172.1 ± 28.2 ^a
豆油组 soybean oil group	131.3 ± 22.0 ^b
酵母组 yeast group	83.3 ± 26.5 ^c

注:在同一列中,字母不同,表示各组间有显著差别(P < 0.05)

Notes:In one column, values with different superscript letters means that there are significant difference

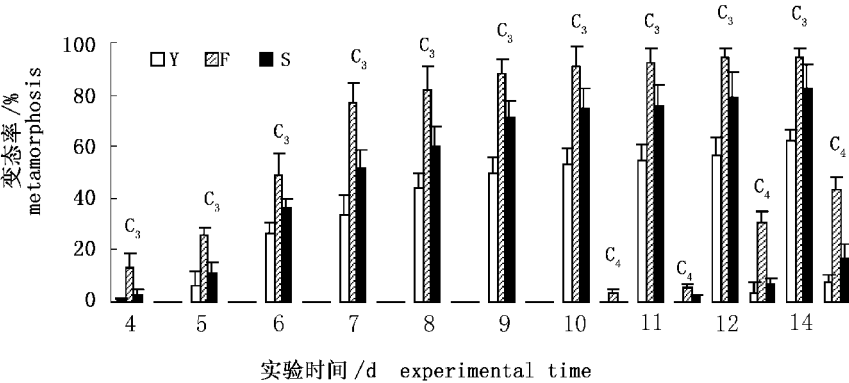
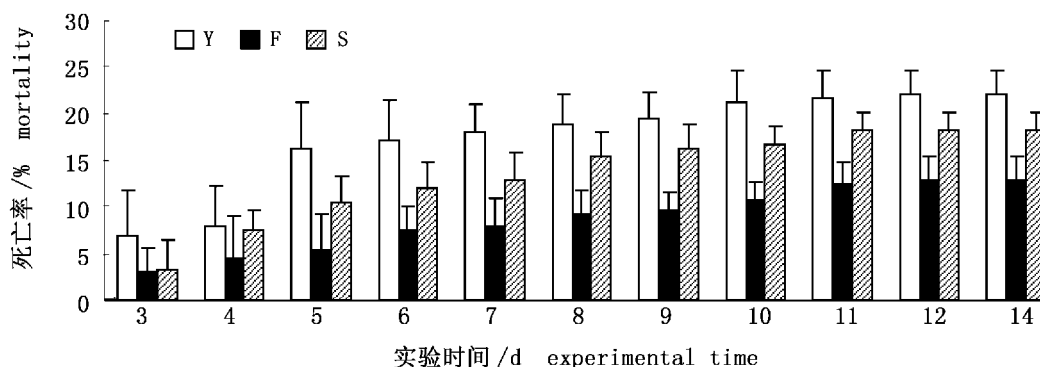


图 1 不同脂肪源强化培育的大型溞对河蟹 C₂ 变态为 C₃ 和 C₄ 的变态率影响

Fig.1 The metamorphosis of *E. sinensis* during the development of C₂ to C₃ and C₄ when fed different dietary *D. magna*

图2 不同脂肪源强化的大型溞对C₂到C₄的死亡率的影响Fig.2 The mortality of the crab *E. sinensis* during the development of C₂ to C₄ when fed different dietary *D. magna*

从表5可以看出,河蟹在投喂不同脂肪源饲料培育的大型溞下,从C₂开始,规格开始有所变化,一般鱼油组的规格大于豆油组和酵母组,特别在c3期,已具有统计学的显著差异($P < 0.05$)。这说明长链不饱和脂肪酸不仅能加速中华绒螯蟹发育变态,还促使其生长。

2.3 不同脂肪源饲料培育的大型溞对河蟹M育成C₃的脂类和脂肪酸组成的影响

不同脂肪源饲料培育的大型溞对河蟹M育成C₃的脂肪含量的影响 从表6中可以看出,酵母组培育的大型溞脂肪含量均显著低于鱼油和豆油组($P < 0.05$)。这说明培育大型溞脂肪

含量受饲料脂肪含量的影响。

不同脂肪源饲料培育的大型溞对河蟹M育成C₃的脂肪酸组成的影响 表7表明不同脂肪源饲料培育的大型溞对C₁的影响主要是C18:2的影响,对EPA和DHA以及HUFA的影响还没有达显著水平,但依然可以看出鱼油组相应主要HUFA含量比其他组都高。

不同脂肪源饲料培育的大型溞对C₃的影响除了主要是C18:2外,对EPA和DHA以及HUFA的影响在C₃都已达显著水平,鱼油组相应HUFA百分组成都显著高于其他两组。

表5 河蟹在投喂不同脂肪源饲料培育的大型溞下,C₁,C₂,C₃空壳的规格($n = 40$)Tab.5 The size of the crab empty carapace of C₁ to C₃ by rearing *D. magna* fed by different diets with various lipid sources

		different diets with various lipid sources			mm
		鱼油组 fish oil group	豆油组 soybean oil group	酵母组 yeast group	P 值 P value
C ₁	长 length	2.42 ± 0.16	2.40 ± 0.11	2.41 ± 0.13	0.776
	宽 width	2.23 ± 0.09	2.25 ± 0.10	2.26 ± 0.06	0.725
C ₂	长 length	2.85 ± 0.14	2.79 ± 0.09	2.76 ± 0.11	0.228
	宽 width	2.94 ± 0.11	2.87 ± 0.11	2.90 ± 0.07	0.259
C ₃	长 length	3.73 ± 0.15 ^a	3.60 ± 0.25 ^{ab}	3.53 ± 0.19 ^b	0.008
	宽 width	4.03 ± 0.17 ^a	4.03 ± 0.10 ^a	3.82 ± 0.21 ^b	0.009

注:在同一行中,字母不同,表示各组间有显著差别($P < 0.05$)。空壳:指各期蜕壳变态以后蜕下的空壳

Notes: In one row, values with different superscript letters mean that there are significant difference. Empty carapace: the carapace left after molt

表 6 不同脂肪源饲料培育的大型溞下对河蟹 M 育成 C₃ 的各阶段水分和脂类含量的影响 (n = 4)Tab.6 The lipid content of the crab from megalopa to C₃ when fed different dietary *D. magna* by different diets with various lipid sources during experiment time

		水分 (%) moisture	脂肪干重 (%) lipid content/ dry body weight	脂肪湿重 (%) lipid content/ wet body weight
M	鱼油组 fish oil group	74.6 ± 1.3	8.9 ± 0.3	2.4 ± 0.3
	豆油组 soybean oil group	74.8 ± 1.8	9.0 ± 0.4	2.4 ± 0.1
	酵母组 yeast group	75.2 ± 0.6	8.1 ± 1.0	2.3 ± 0.1
	P 值 P value	0.90	0.41	0.79
C ₁	鱼油组 fish oil group	73.3 ± 0.9	9.0 ± 0.4	2.5 ± 0.6
	豆油组 soybean oil group	73.7 ± 3.01	0.1 ± 1.9	2.6 ± 0.2
	酵母组 yeast group	67.7 ± 1.4	9.8 ± 0.1	2.5 ± 0.4
	P 值 P value	0.09	0.65	0.94
C ₂	鱼油组 fish oil group	72.5 ± 0.9	9.3 ± 0.6	2.5 ± 0.1
	豆油组 soybean oil group	73.9 ± 2.19	.2 ± 0.8	2.4 ± 0.3
	酵母组 yeast group	72.3 ± 1.3	8.9 ± 1.0	2.4 ± 0.1
	P 值 P value	0.81	0.62	0.71
C ₃	鱼油组 fish oil group	68.9 ± 2.1	8.4 ± 0.7	2.7 ± 0.2
	豆油组 soybean oil group	67.9 ± 0.8	8.8 ± 1.1	2.8 ± 0.3
	酵母组 yeast group	67.6 ± 2.6	8.6 ± 1.7	2.6 ± 0.4
	P 值 P value	0.62	0.90	0.55

表 7 不同脂肪源饲料培育大型溞对河蟹从 M 育成 C₁ 和 C₃ 主要脂肪酸组成的影响 (n = 4)Tab.7 The fatty acid composition of the C₁ and C₃ fed on *D. magna* by different diets with various lipid sources

	脂肪酸 fatty acid	原大眼幼体 (%) megalopa	鱼油组 (%) fish oil group	豆油组 (%) soybean oil group	酵母组 (%) yeast group
C ₁	C18:2	6.17 ± 0.44	5.59 ± 0.47 ^a	18.70 ± 1.78 ^b	5.77 ± 1.65 ^a
	C18:1	32.71 ± 0.88	29.47 ± 2.82 ^{ab}	27.25 ± 2.08 ^b	34.66 ± 1.91 ^a
	C18:0	4.34 ± 0.16	5.40 ± 0.69 ^a	4.75 ± 0.52 ^a	7.30 ± 0.98 ^b
	C20:5	17.09 ± 0.40	17.29 ± 2.63	14.54 ± 3.33	17.78 ± 3.83
	C20:4	0.63 ± 0.2	31.95 ± 1.51	0.97 ± 1.37	0.59 ± 0.13
	C22:6	2.50 ± 0.20	2.29 ± 0.55 ^a	1.94 ± 0.36 ^a	0.60 ± 0.25 ^b
	SFA	19.43 ± 1.36	24.84 ± 2.85	22.21 ± 4.79	28.33 ± 2.89
	MFA	47.85 ± 1.88	42.49 ± 1.90	38.10 ± 3.51	46.20 ± 0.16
	PUFA	30.20 ± 1.69	31.42 ± 2.96 ^b	41.28 ± 3.53 ^c	24.48 ± 1.29 ^a
	HUFA	22.23 ± 1.14	21.81 ± 3.92	18.94 ± 5.74	18.70 ± 2.60
C ₃	C18:2		2.63 ± 1.39 ^a	28.35 ± 2.42 ^b	10.69 ± 0.48 ^c
	C18:1		34.75 ± 3.62 ^a	26.11 ± 3.52 ^b	33.59 ± 1.74 ^a
	C18:0		5.79 ± 0.23 ^a	5.11 ± 0.25 ^b	4.80 ± 0.22 ^b
	C20:5		16.61 ± 0.59 ^a	9.68 ± 0.30 ^b	10.24 ± 0.10 ^b
	C20:4		1.38 ± 0.42 ^a	1.88 ± 0.03 ^b	1.27 ± 0.37 ^a
	C22:6		2.75 ± 0.38 ^a	1.47 ± 0.33 ^{ab}	1.16 ± 0.11 ^b
	SFA		23.10 ± 1.00 ^a	19.59 ± 0.86 ^b	20.62 ± 0.79 ^{ab}
	MFA		48.31 ± 4.87 ^a	36.47 ± 3.61 ^b	51.99 ± 0.27 ^a
	PUFA		27.06 ± 2.97 ^a	43.32 ± 4.04 ^b	26.94 ± 0.15 ^a
	HUFA		22.73 ± 0.87 ^a	13.69 ± 1.43 ^b	13.52 ± 0.53 ^b

注:在同一行中,字母不同,表示各组间有显著差别 (P < 0.05)

Notes: In the row, values with different superscript letters mean that there are significant differences (P < 0.05)

3 讨论

3.1 饵料中不同脂肪酸组成对仔蟹体内脂肪酸组成的影响

不同脂肪源饲料培养的大型溞的脂肪酸组成显著不同,鱼油组大型溞的 HUFA 含量显著高于其它两组,特别是 EPA。大型溞对饵料 DHA 的利用率很低,因为鱼油中 DHA 的含量高达 19%,但培育的大型溞中 DHA 的含量仅有 1.85%(表 1)。此外,鱼油在酵母中的添加量也影响大型溞对 DHA 的获得,当鱼油在酵母中添加量为 25% 时,大型溞脂肪酸 DHA 可达 7%^[14]。本试验添加鱼油量为 10%,因为鱼油添加量过高,会破坏培育大型溞的水质(水面容易漂浮一层油膜)。而不同脂肪源饲料培育的大型溞的脂肪酸组成的不同,对培育相应的仔蟹的脂肪酸组成也有显著影响,特别是到 C₃,仔蟹脂肪酸组成的不同在一定程度上反映了饵料脂肪酸的组成,比如鱼油组的仔蟹具有相对高的 EPA, DHA 和 HUFA,而豆油组培育的仔蟹由于大型溞中含有较高含量的 C18:2,致使仔蟹的 C18:2 具有最高含量(表 7)。这种情况在鱼类幼体培育阶段是普遍现象^[4-13]。

3.2 饵料中脂类含量和 HUFA 对大眼幼体育成仔蟹的变态率,生长和成活的影响

成永旭等^[4]在早期实验证实,磷脂对提高河蟹 M 育成 C₃ 的作用比 HUFA 作用显著,饵料中 HUFA 水平对此阶段的生长和变态促进作用不明显。而本实验结果显示, HUFA 对提高河蟹 M 育成 C₃ 的作用非常显著,之所以有如此结果,一方面可能是早期实验的精制饵料中脂肪含量过低(6%^[4]),而本实验中大型溞的脂肪含量占干重 17% 以上。由于脂肪的含量低,吸收的脂肪(包括 HUFA)可能主要作为能量被储存利用,为将来蜕壳积聚能量。而脂肪含量高,机体就可选择性的将 HUFA 用于生长,故此时能促进生长和蜕壳。其实这一点在成永旭等^[4]用精制饵料的试验中也可以看出,如 B1 和 B2 的饵料,脂肪源都为马面鱼肝油,但前者含量 3%,后者 6%,其成活率后者都显著高于前者。实验证实仔蟹的饵料脂肪含量 > 10% 时,对其蜕壳生长具有非常好的促进作用^[15-16]。

另一方面,在脂肪含量较低情况下,磷脂和

HUFA 对甲壳动物的生长可能不存在协同交互作用。如对凡纳滨对虾,饵料脂类含量较低(<8%),磷脂含量为 3% 的情况下,添加 5% 油脂,无论油脂是否含有 HUFA,都能显著促进凡纳滨对虾对虾的生长(与不添加磷脂相比),而且不同油脂源组没有显著差异。这说明,磷脂含量为 3% 左右,其对凡纳滨对虾促生长作用能够显示,而 HUFA 的促生长作用与脂肪含量有密切关系。如同样种类,在脂肪含量 0 ~ 3.5% 情况下,当 HUFA > 0.5%,对生长反而有抑制作用,而添加 5% 鱼油组(HUFA 占饵料组分 > 0.75%,总脂肪含量 5% ~ 8%),与添加其他植物油相比,也能显著促进对虾生长^[17-18]。

以次类推,在较高饵料脂肪含量条件下,磷脂和 HUFA 的协同交互作用(相互促进作用,即脂类的营养平衡)可能存在。总之,饵料 HUFA 对仔蟹变态率,成活率以及生长的促进作用可能与其饵料的脂类含量有关。这方面还需要进一步研究。

对于大多数海水鱼幼体,饵料 HUFA 能显著促进其生长和变态的一个重要条件,是 DHA/EPA 的比例,均要求大于 1,而且往往饵料 DHA 的促生长作用比 EPA 大,同样条件下高 DHA 饵料培育仔鱼终末个体大,但对其成活率的提高作用不大^[5-6,9,11],本试验中三组不同脂肪源饲料培育大型溞中, DHA/EPA 比值远小于 1,但鱼油组的大型溞的高含量 HUFA 对河蟹仔蟹生长变态的促进有明显作用,这一点与其他虾类的研究结果一致^[7,12-13],可见 HUFA 对虾蟹类促生长和蜕壳的作用与海水鱼略有不同。

本试验同时也证实, PUFA 对成活率的提高非常明显,只是相对于 HUFA 的作用较低,如豆油组和酵母组相比,因为豆油组具有高含量的 C18:2,其 PUFA 非常高,所以豆油组的变态和成活率要显著高于酵母组。这一结果与 González-Félix 等^[19-20]证实 HUFA 对凡纳滨对虾仔虾的促生长和变态高于 PUFA(饵料脂肪含量 5%)一致,但与 Glencross 和 Smith^[21]的结果略有不同,其证实饵料中添加 C18:2 和 C18:3 对斑节对虾幼虾的生长作用可以和添加鱼油的饵料效果相比拟(脂肪含量为 7%)。

参考文献:

- [1] 周刚,朱清顺,张彤晴,等. 蟹种强化培育水化学因子周年测定分析[J]. 水产养殖, 2003,24(1):9-11.
- [2] 倪勇,瞿中孝. 蟹种培育[J]. 科学养鱼,2001,2:23.
- [3] 成永旭,王武,吴嘉敏,等. 虾蟹类幼体的脂类需求及脂类与发育的关系[J]. 中国水产科学,2001,7(4):104-107.
- [4] 成永旭,严生良,王武,等. 饵料中磷脂和多不饱和脂肪酸对中华绒螯蟹大眼幼体育成仔蟹的成活率和生长的影响[J]. 水产学报,1998,22:9-15.
- [5] Takeuchi T A. A review of geed development for early life stage of marine finfish in Japan[J]. Aquaculture, 2001, 200:203-222.
- [6] Copeman L A, Parrish C C, Brown J A, et al. Effects of docosahexaenoic, eicosapentaenoic, and arachidonic acids on the early growth, survival, lipid composition and pigmentation of yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*): a live food enrichment experiment [J]. Aquaculture, 2002,210: 285-304.
- [7] Cavalli R O, Berghe E V, Lavens P, et al. Ammonia toxicity as a criterion for the evaluation of larval quality in the prawn *Macrobrachium rosenbergii* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C, 2000, 125(3):333-343.
- [8] Olivotto I, Rollo A, Sulpizio R, et al. Breeding and rearing the sunrise dotyback *Pseudochromis flavivertex*: the importance of live prey enrichment during larval development[J]. Aquaculture, 2006,255:480-487.
- [9] Rajkumar M, Kumaraguru Vasagam K P. Suitability of the copepod, *Acartia clausi* as a live feed for Seabass larvae (*Lates calcarifer* Bloch): Compared to traditional live-food organisms with special emphasis on the nutritional value [J]. Aquaculture, 2006, 261: 649-658.
- [10] Park H G, Puvanendran V, Kellett A, et al. Effect of enriched rotifers on growth, survival, and composition of larval Atlantic cod (*Gadus morhua*) [J]. ICES Journal of Marine Science, 2006,63(2):285-295.
- [11] Bransden M P, Battaglene S C, Morehead D T, et al. Effect of dietary 22:6n-3 on growth, survival and tissue fatty acid profile of striped trumpeter (*Latris lineata*) larvae fed enriched *Artemia* [J]. Aquaculture, 2005, 243:331-344.
- [12] Kontara E K M, Coutteau P, Sorgeloos P. Effect of dietary phospholipid on requirements for and incorporation of n-3 highly unsaturated fatty acids in postlarval *Penaeus japonicus* Bate [J]. Aquaculture, 1997, 158(3-4): 305-320.
- [13] Martins T G, Cavalli R O, Martino R C, et al. Larviculture output and stress tolerance of *Farfantepenaeus paulensis* postlarvae fed *Artemia* containing different fatty acids[J]. Aquaculture, 2006, 252:525-533.
- [14] 黄显清,王武,成永旭.不同喂养条件和营养强化对大型溞总脂及脂肪酸组成的影响[J]. 上海水产大学学报,2001,10(1):49-54.
- [15] Sheen S, Wu S. The effects of dietary lipid levels on the growth response of juvenile mud crab *Scylla serrata* [J]. Aquaculture, 1999,175(1-2):143-153.
- [16] Pedrazzoli A, Molina C, Montoya N, et al. Recent advances on nutrition research of *Penaeus vannamei* in Ecuador[J]. Reviews in Fisheries Science, 1998, 6(1-2): 143-151.
- [17] González-Félix M L, Gatlin D M, Lawrence A L, et al. Effect of dietary phospholipid on essential fatty acid requirements and tissue lipid composition of *Litopenaeus vannamei* juveniles [J]. Aquaculture, 2002, 207(1-2): 151-167.
- [18] González-Félix M L, Lawrence A L, Gatlin D M, et al. Growth, survival and fatty acid composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* fed different oils in the presence and absence of phospholipids[J]. Aquaculture, 2002, 205(3-4): 325-343.
- [19] González-Félix M L, Gatlin III D M, Lawrence A L, et al. Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: II. Effect of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated and highly unsaturated fatty acids on juvenile shrimp growth, survival, and fatty acid composition [J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9(2):115-122.
- [20] González-Félix M L, Lawrence A L, Gatlin III D M. et al. Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: I. Effect of dietary linoleic and linolenic acids at different concentrations and ratios on juvenile shrimp growth, survival and fatty acid composition [J]. Aquaculture Nutrition, 2003,9(2):105-113.
- [21] Glencross B D, Smith D M. The dietary linoleic and linolenic fatty acids requirements of the prawn *Penaeus monodon*[J]. Aquaculture Nutrition, 1999,5(1):53-63.

**Effects of cultured *Daphnia magna* by different lipid sources on
development and metamorphosis of Chinese mitten crab
Eriocheir sinensis from megalopa to juvenile crab**

XIA Ai-jun^{1,2}, CHENG Yong-xu¹, HE Shi-shui¹,

WU Xu-gan¹, BIAN Wen-ji², YANG Xiao-zhen¹, LU Quan-ping², WANG Wu¹

(1. Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquaculture Ecosystem Certificated by the Ministry of Agriculture,

Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. Institute of Freshwater Aquaculture of Jiangsu, Nanjing 210017, China)

Abstract: The effects of reared *Daphnia magna* by different diets with various lipid sources as the live food on the metamorphosis, survival and growth of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* during the juvenile development stages from megalopa to juvenile crab four (C₄) were studied from May 20, 2003 to June 22, 2003. The mitten crabs with different development stages were divided into three experimental groups and fed on *Daphnia magna* reared by three different diets with various lipid sources, the first group fed on pure bread yeast (yeast group), the second one fed on pure bread yeast with 10% soybean oil (soybean group) enrichment, the third one fed on pure bread yeast with 10% fish oil enrichment (fish oil group), the water temperature during experiments is from 20 – 24 °C. The results show that the juvenile crab with different development stages rearing with fish oil group food obtained the earlier metamorphosis, better survival and faster growth than those of the other two groups. The width of empty carapace of C₃ (juvenile crab three) fed on fish oil group food and soybean oil group food is bigger than those of crab fed on yeast group food. The analysis of lipid content and fatty acid composition of different stages of juvenile crab with different foods group suggested that the crab fatty acid compositions reflected the corresponding dietary composition. The crab fed on fish oil group food tended to accumulate more lipid and higher composition of DHA, EPA, HUFA than those of other two group food, and crab fed on soybean oil group food tended to accumulate highest C18:2n6. The higher composition of DHA, EPA, HUFA) or C18:2n6 in the food (*D. magna*) results in good survival, growth and metamorphosis of the mitten crab. So the results demonstrated the importance of dietary EPA, DHA in Chinese mitten crab juvenile development stages, which shortened the critical period of metamorphosis timing and enhanced survival and growth. Dietary content of PUFA, probably high 18: 2n6 may also have a good result to enhance survival and metamorphosis timing and growth.

Key words: *Eriocheir sinensis*; *Daphnia magna*; fatty acid; metamorphosis