

饵料中添加鱼油型 HUFA 强化剂对褶皱臂尾轮虫生产及营养价值的影响

黄旭雄¹, 施兆鸿², 周洪琪¹, 袁灿东¹, 孙玉鑫¹

(1. 上海水产大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 200090; 2. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090)

摘要: 分别以酵母、80% 酵母与 20% 光合细菌混合物为基本饵料, 研究褶皱臂尾轮虫 (*Brachionus plicatilis*) 半连续培养过程中持续添加 5 mg/(L·d) 的鱼油型 HUFA 强化剂对轮虫生产及其营养的影响。结果表明, 投喂 80% 酵母与 20% 光合细菌混合物的轮虫组, 其最高密度、平均抱卵率、种群维持高密度的时间、总产量等指标在 4 个处理中最低; 而持续添加 5 mg/(L·d) 的鱼油型 HUFA 强化剂的轮虫组, 其平均抱卵率、总产量与酵母组无显著差异, 但高密度情况下种群的稳定性显著增加。饵料对所培养的轮虫的营养价值也有影响。日饵中添加 HUFA 强化剂, 增加了轮虫的总脂含量, 降低了轮虫的粗蛋白及氨基酸含量。添加 HUFA 强化剂培养的轮虫的脂肪酸组成也发生了变化。[中国水产科学, 2007, 14 (7): 59-65]

关键词: 褶皱臂尾轮虫; HUFA 强化剂; 营养价值; 生产

中图分类号: S963.21+4

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2007)07-059-07

褶皱臂尾轮虫 (*Brachionus plicatilis*) 是一种小型的多细胞浮游动物, 在咸淡水及海水中生存, 其繁殖快、大小合适、在水中运动缓慢、营养可按需调控等特点使得其成为各种海产鱼、虾、蟹类早期幼体的最佳饵料之一。保持轮虫培养的高产量和高稳定性是生产性褶皱臂尾轮虫培养的难点之一。能否确保充足、稳定地供应高营养价值的饵料轮虫, 直接影响水产动物种苗培育的成败。因此, 开展褶皱臂尾轮虫高密度、高稳定性的培养模式的研究及轮虫营养强化研究在轮虫实际生产应用中具有重要意义。

有关褶皱臂尾轮虫的高密度、高稳定性培养, 国外采用特殊的培养装置, 投喂浓缩小球藻 (*Chlorella*), 充纯氧及辅以完善的水处理设施, 能够取得很好的培养效果^[1-3]。但这种培养模式因其高昂的生产成本在国内的育苗生产中很少被采用。利用室内水泥池, 以酵母为基本饵料, 开展半连续培养是目前中国褶皱臂尾轮虫生产性培养的主要模式之一。但以酵母为饵料培养的轮虫在高不饱和脂肪酸的组成上存在缺陷, 尤其是缺乏 DHA 和 EPA, 不能满足海水鱼类幼体生长发育所需^[4-5]。由于褶皱臂尾轮虫的非选择性滤食特性, 较多的营养强化研究侧

重于采用强化剂短时间的强化以改变轮虫的脂肪酸组成^[5-7], 有关强化剂的类型、浓度和强化时间对轮虫脂肪酸组成的影响, 已有较多的报道^[6, 8-11]。在生产上, 通常将酵母培养的轮虫收集后进行高浓度的强化剂短时间强化处理。在这种强化模式下, 轮虫主要作为生物包囊将强化剂贮存在其消化道中, 一旦强化轮虫进入育苗水体而未被幼体及时摄食, 则轮虫强化的效果有可能下降。本研究采用生产性轮虫培养中常用的半连续培养模式, 探讨日常投饵中持续添加低剂量的 HUFA 强化剂对轮虫生产性能及营养的影响, 从而进一步寻求能够达到营养强化目的而简化强化的方式。

1 材料与方 法

1.1 材 料

褶皱臂尾轮虫 (*Brachionus plicatilis*) 由上海水产大学生物饵料保种室提供。饵料酵母为市售的安琪牌鲜面包酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*); 光合细菌系东海水产研究所生产的浓缩型糊状物; HUFA 营养强化剂由上海水产大学营养教研室提供, 主要成分为精制鱼油、胆固醇、卵磷脂和乳化剂等, 其脂

收稿日期: 2007-03-28; 修订日期: 2007-05-28.

基金项目: 中国水产科学研究院东海水产研究所重点实验室开放项目 (6670122613); 上海水产大学博士启动基金项目 (科 05216); 上海市自然科学基金项目 (06ZR14119); 上海市重点学科建设项目 (Y1101); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (东 2007Z02) 资助。

作者简介: 黄旭雄 (1971-), 男, 博士, 副教授, 从事水产养殖和水产动物营养饵料研究。Tel: 021-65710025. E-mail: xxhuang@shfu.edu.cn

肪酸组成见表1。3种饵料均保存于4℃冰箱中待用。轮虫培养用水由浓缩海水调配而成。

表1 HUFA 强化剂的脂肪酸组成
Tab.1 Composition of fatty acid in HUFA enrichment

脂肪酸 Fatty acid	百分比/% Percentage
14:0	0.39
16:1n7	1.80
16:0	7.17
17:1n7	0.84
18:3n3	-
18:2n6	5.56
18:1n9	17.46
18:1n7	2.50
18:0	1.05
EPA (20:5n3)	23.92
AA (20:4n6)	2.05
DHA (22:6n3)	29.80
DHA/EPA	1.25
AA/EPA	0.09

1.2 培养方法

实验采用5L锥形瓶进行轮虫半连续性培养。控温(27±0.5)℃,海水盐度20,24h连续充气,持续光照,光强为3000lx。根据预实验的结果,设4个饵料组合:A组投喂酵母;B组投喂酵母及光合细菌(日投喂量中鲜酵母与光合细菌的重量比为4:1);C组在A组饵料基础上,每天在换水后添加5mg/L HUFA 营养强化剂;D组在B组饵料基础上,每天在换水后添加5mg/L HUFA 营养强化剂。每组饵料设3个平行。日投喂量参照文献[12]的公式计算:

$$\text{鲜酵母的日投喂量 (mg)} = \text{轮虫培养水体的体积 (mL)} \times \text{轮虫密度 (mL}^{-1}) \times \text{单个轮虫的湿质量 (2 } \mu\text{g/个)} \times \text{投喂系数 } R \times 10^{-3}$$

本实验中,投喂系数R取值为2,日投喂3次。各处理组轮虫初始接种密度约93个/mL,当轮虫培养密度接近300个/mL时开始换水,每日上午换水一次,换水量固定为20%。换水排出的轮虫用200目筛网收集后用蒸馏水冲洗,沥干后55℃烘干备用。

1.3 轮虫生长测定

每天换水前在培养水体上、中、下3个位置各取样,经碘液固定后,用浮游动物计数框计数轮虫及其抱卵量,求算培养密度、抱卵率(抱卵率% = 抱卵轮虫数量/轮虫总量 × 100)。培养结束时统计各组采

收总产量和平均抱卵率。

1.4 轮虫营养测定

将每日换水收集的同组轮虫样品混合,磨碎后用于营养分析。粗蛋白用KDN-04定氮仪测定,总脂肪参照Blight & Dyer 1959的方法测定^[13]。样品经盐酸水解后用岛津液相色谱仪测定氨基酸含量,脂肪酸经苯-石油醚甲酯化后在HP6890A型气相色谱仪上分析,并用归一化法计算脂肪酸的百分含量。除氨基酸外,其余指标测定设3个重复。

1.5 数据处理

测定结果以平均值±标准差($\bar{X} \pm SD$)表示。并用SPSS11.0软件进行方差分析及Duncan's多重比较, $P < 0.01$ 表示差异极显著, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 半连续培养模式下不同饵料对轮虫生产性能的影响

图1为半连续培养模式下(日采收率为20%)投喂不同饵料的褶皱臂尾轮虫在每日换水前的密度变化曲线。A组在第5天达到其最高密度651.7/mL,之后在400~650/mL之间变动;B组在第9天时达到最高密度521.1/mL,而后维持在300~400/mL之间;C组在第14天达到最高峰800.5/mL;D组则直到第19天时才出现最高密度768.9/mL。

从不同饵料培养的轮虫生产性能(表2)可知,与A、C、D组相比,B组饵料的褶皱臂尾轮虫平均抱卵率、总产量及种群维持高密度的天数等各项指标均为最低;而投喂A、C、D组饵料的褶皱臂尾轮虫平均抱卵率、总产量、种群维持高密度的天数较接近;从各组指标的标准差可知,投喂C、D两组饵料的轮虫在高密度情况下种群的稳定性明显较投喂A组饵料的好。

2.2 养殖轮虫的营养分析

2.2.1 投喂不同饵料的轮虫粗蛋白及总脂肪含量

投喂不同饵料的轮虫体内粗蛋白及总脂肪含量存在显著差异(表3),单独添加HUFA强化剂组(C组)轮虫的粗蛋白含量极显著低于添加光合细菌组(B、D组),以光合细菌替代部分酵母对轮虫的粗蛋白含量无显著影响。与酵母组轮虫(A组)相比,饵料中添加了HUFA强化剂的轮虫组(C、D组)的总脂肪含量有极显著提高;以光合细菌替代部分酵母投喂的组(B组)轮虫总脂肪没有显著提高。

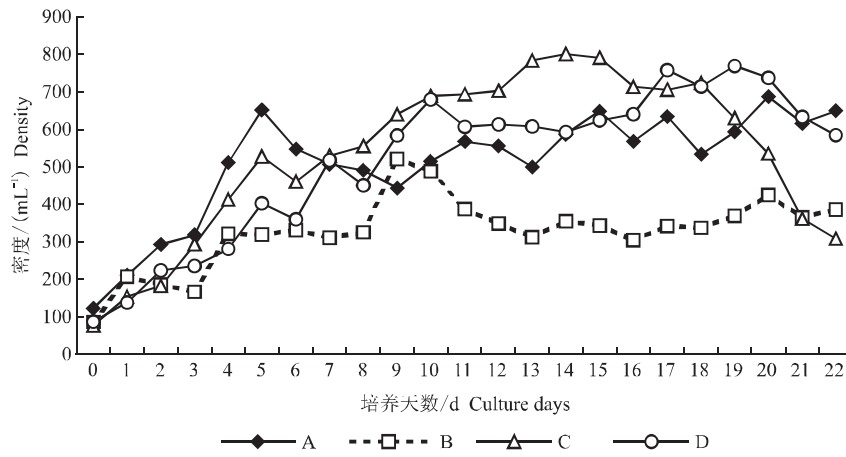


图1 投喂不同饵料组合的轮虫日平均密度变化曲线

注:A, 投喂酵母; B, 投喂 80% 酵母及 20% 光合细菌; C, 在 A 组基础上添加 5 mg/(L·d) HUFA 强化剂; D, 在 B 组基础上添加 5 mg/(L·d) HUFA 强化剂。

Fig.1 Curves of average density of rotifer fed with different diets

Note: A, fed with yeast; B, fed with 80% yeast and 20% PSB; C, yeast supplemented 5 mg/(L·d) HUFA enrichment; D, 80% yeast and 20% PSB supplemented 5 mg/(L·d) HUFA enrichment.

表2 投喂不同饵料的轮虫生产性能

Tab.2 The production on rotifer fed with different diets

项目 Item	饵料 Diets			
	A	B	C	D
平均抱卵率 (%) Average brooding rates	29.8 ± 4.3	25.2 ± 3.0	28.9 ± 0.9	28.2 ± 2.0
实验期间总采收量 (×10 ³ ind) Total yield	13697.8 ± 5302.4	8551.4 ± 1622.8	12979.3 ± 2894.4	13479.1 ± 1724.6
密度大于 400 个/mL 的天数 The number of day with density more than 400 ind/mL	13.7 ± 9.2	9.3 ± 4.6	15.3 ± 2.9	17.0 ± 1.0
密度大于 600 个/mL 的天数 The number of day with density more than 600 ind/mL	10.7 ± 9.5 ^{ab}	9.3 ± 0.6 ^b	8.7 ± 4.1 ^a	7.7 ± 5.5 ^a

注: 表中同一行数字上标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); A, 投喂酵母; B, 投喂 80% 酵母及 20% 光合细菌; C, 在 A 组基础上添加 5 mg/(L·d) HUFA 强化剂; D, 在 B 组基础上添加 5 mg/(L·d) HUFA 强化剂。

Note: Figures in the same line with different small superscript letters are significantly different ($P < 0.05$); A, fed with yeast; B, fed with 80% yeast and 20% PSB; C, yeast supplemented 5 mg/(L·d) HUFA enrichment; D, 80% yeast and 20% PSB supplemented 5 mg/(L·d) HUFA enrichment.

表3 投喂不同饵料轮虫的粗蛋白及总脂含量

Tab.3 The crude protein and total lipid contents of rotifers fed with different diets g/(100 g) dw

项目 Item	饵料 Diets			
	A	B	C	D
粗蛋白含量 Crude protein contents	65.32 ± 4.30 ^{AaBb}	64.07 ± 0.51 ^{Aa}	59.98 ± 0.38 ^{Bb}	63.21 ± 0.22 ^{Aa}
总脂肪含量 Total lipid contents	7.18 ± 0.38 ^{Bb}	9.18 ± 0.96 ^{AaBb}	11.77 ± 0.83 ^{Aa}	10.87 ± 0.24 ^{Aa}

注: 表中同一行数字上标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$); A, 投喂酵母; B, 投喂 80% 酵母及 20% 光合细菌; C, 在 A 组基础上添加 5 mg/(L·d) HUFA 强化剂; D, 在 B 组基础上添加 5 mg/(L·d) HUFA 强化剂。

Note: Figures in the same line with different small superscript letters are significantly different ($P < 0.05$), While different capital letters means very significant difference ($P < 0.01$); A, fed with yeast; B, fed with 80% yeast and 20% PSB; C, yeast supplemented 5 mg/(L·d) HUFA enrichment; D, 80% yeast and 20% PSB supplemented 5 mg/(L·d) HUFA enrichment.

2.2.2 投喂不同饵料的轮虫的脂肪酸组成 轮虫的脂肪酸组成中含量较高的脂肪酸为 18:1n9、16:1n7 和 18:2n6, 饵料对轮虫体内脂肪酸组成有显著影响 (表 4)。对几种重要的多不饱和脂肪酸的分析表明, 单独投喂酵母饵料的轮虫体内不含 DHA, 以部分光合细菌

替代酵母可极显著地提高轮虫体内的亚油酸和 DHA 含量, 但对轮虫体内花生四烯酸的百分含量无显著影响。轮虫饵料中添加 HUFA 强化剂可极显著提高养殖轮虫的亚油酸、EPA 和 DHA 的百分含量, 若同时以光合细菌部分替代酵母则对 EPA 的提高效果更明显。

2.2.3 投喂不同饵料的轮虫的氨基酸组成与含量

轮虫体内含量较高的必需氨基酸为 Phe、Leu、Arg 和 Lys。投喂不同饵料的轮虫,其氨基酸含量有变化(表5)。饵料中添加 HUFA 强化剂组(C、D组)轮虫的总氨基酸含量和必需氨基酸含量都较未添加

组(A、B组)低,而以光合细菌替代部分酵母则对轮虫的总氨基酸和必需氨基酸含量无明显改变。但从氨基酸组成角度看,不同饵料投喂的轮虫体内的氨基酸百分组成则相对稳定,必需氨基酸约占轮虫总氨基酸的一半。

表4 投喂不同饵料培养的轮虫脂肪酸组成

Tab.4 Composition of fatty acid in rotifer fed with different diets

脂肪酸 Fatty acid	A	B	C	D
14:0	0.819±0.013	1.178±0.013	1.111±0.056	1.367±0.127
16:1n7	27.548±0.312	21.051±0.631	19.251±0.689	20.598±0.783
16:0	6.081±0.288	8.869±0.389	8.155±0.215	8.896±0.571
17:1n7	0.461±0.035	0.270±0.382	0.665±0.016	0.541±0.120
17:0	0.475±0.047	0.308±0.436	0.689±0.023	0.908±0.125
18:2n6	9.671±0.335 ^B	12.079±0.224 ^{Aa}	13.227±0.853 ^{Aa}	11.114±0.195 ^{Ab}
18:1n9	37.187±0.534	29.664±0.399	33.901±0.180	28.826±0.729
18:1n7	4.192±0.101	6.930±0.094	4.348±0.0949	6.972±0.722
18:0	5.616±0.243	7.692±0.407	6.604±0.221	7.102±0.505
EPA (20:5n3)	0.891±0.285 ^{Bc}	1.618±0.578 ^{Bc}	2.724±0.144 ^{Ab}	3.761±0.287 ^{Aa}
AA (20:4n6)	6.645±0.015 ^a	7.374±0.825 ^a	7.133±0.370 ^a	6.788±0.478 ^a
DHA (22:6n3)	0.00 ^B	1.788±0.275 ^{Aa}	1.318±0.118 ^{Aa}	1.728±0.244 ^{Aa}
DHA/EPA	0.00 ^C	0.884±0.120 ^A	0.483±0.035 ^B	0.467±0.124 ^B
AA/EPA	6.201±0.914 ^A	3.792±0.678 ^{Bb}	2.619±0.056 ^{BCc}	1.825±0.330 ^{Cc}

注:表中同一行数字上标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$);A,投喂酵母;B,投喂80%酵母及20%光合细菌;C,在A组基础上添加5 mg/(L·d)HUFA强化剂;D,在B组基础上添加5 mg/(L·d)HUFA强化剂。

Note: the figures in the same line with the different superscript small letters are significantly different ($P < 0.05$), while different capital letters means very significant differences ($P < 0.01$); A: fed with yeast; B: fed with 80% yeast and 20% PSB; C: yeast supplemented 5 mg/(L·d) HUFA enrichment; D: 80% yeast and 20% PSB supplemented 5 mg/(L·d) HUFA enrichment.

表5 投喂不同饵料的轮虫的氨基酸含量与组成

Tab.5 Amino acid compositions and contents in rotifer fed with different diets

氨基酸 Amino acid	A		B		C		D	
	含量 /(mg·g ⁻¹) Content	百分 组成/% Composition	含量 /(mg·g ⁻¹) Content	百分 组成/% Composition	含量 /(mg·g ⁻¹) Content	百分 组成/% Composition	含量 /(mg·g ⁻¹) Content	百分 组成/% Composition
Asp *	69.64	10.9	68.91	10.9	52.90	10.6	53.20	10.7
Glu **	97.05	15.2	96.79	15.3	73.12	14.7	75.11	15.2
Ser	34.53	5.4	35.23	5.6	28.36	5.7	28.27	5.7
Gly	30.92	4.8	30.93	4.9	22.40	4.5	24.63	5.0
Thr	27.90	4.4	29.05	4.6	21.86	4.4	22.87	4.6
Cys	18.02	2.8	19.29	3.0	12.92	2.6	15.30	3.1
Arg	40.87	6.4	45.25	7.2	39.03	7.8	35.27	7.1
Ala	38.21	6.0	36.20	5.7	26.86	5.4	28.34	5.7
Tyr	25.55	4.0	28.20	4.5	22.60	4.5	22.12	4.5
His	14.36	2.2	9.25	1.5	12.17	2.4	6.84	1.4
Val	40.56	6.3	37.24	5.9	28.81	5.8	28.16	5.7
Met	15.27	2.4	13.84	2.2	12.11	2.4	10.28	2.1
Phe	56.45	8.8	63.23	10.0	50.96	10.2	51.45	10.4
Ile	27.41	4.3	25.72	4.1	20.69	4.2	20.79	4.2
Leu	55.22	8.6	53.70	8.5	40.23	8.1	39.65	8.0
Lys	46.95	7.3	39.86	6.3	32.66	6.6	32.88	6.6
ΣEAA ***	324.99	50.9	317.13	50.1	258.51	51.9	248.19	50.1
TAA	638.91	100	632.68	100	497.67	100	495.16	100

注: *表中 Asp 实际为 Asp 和 Asn 之和; ** Glu 实际为 Glu 和 Gln 之和; *** ΣEAA 为9种 EAA (Arg、His、Ile、Leu、Lys、Met、Phe、Thr、Val)之和, Try 在水解过程中被破坏; A,投喂酵母; B,投喂80%酵母及20%光合细菌; C,在A组基础上添加5 mg/(L·d)HUFA强化剂; D,在B组基础上添加5 mg/(L·d)HUFA强化剂。

Note: * containing Asp and Asn; ** containing Glu and Gln; *** ΣEAA is the sum of the 9 essential amino acid (Arg、His、Ile、Leu、Lys、Met、Phe、Thr、Val); A: fed with yeast; B: fed with 80% yeast and 20% PSB; C: yeast supplemented 5 mg/(L·d) HUFA enrichment; D: 80% yeast and 20% PSB supplemented 5 mg/(L·d) HUFA enrichment.

3 讨论

3.1 不同饵料组合对轮虫生产性能的影响

轮虫的繁殖速率与培养的环境条件,尤其是饵料条件密切相关。饵料颗粒的大小及藻的种类决定褶皱臂尾轮虫的繁殖速率^[14]。

酵母是目前轮虫大量培养中最常用的廉价饵料,以酵母替代单胞藻作为轮虫的饵料是1970年代轮虫生产性培养的重大突破。但是用面包酵母培养轮虫也存在生产不稳定,营养有缺陷等问题^[4-5,15]。Hirayama等^[16]认为面包酵母本身的营养不足以满足轮虫的生长需求,在无菌条件下酵母对轮虫几乎无营养价值,只有在细菌存在并为轮虫提供诸如V_{B12}等营养物时,酵母对轮虫的饵料价值才得以体现。本实验中,HUFA强化剂是一种高营养物质,在培养水体中,除了作为轮虫的饵料被摄食外,还极易成为细菌的培养基,增加培养水体中的微生物数量。在20%的日换水率条件下,培养水体中添加5 mg/(L·d)的HUFA营养强化剂对褶皱臂尾轮虫抱卵率和总产量没有显著的影响,但却能增加轮虫种群在高密度条件下的稳定性。在轮虫培养过程中添加一定量的光合细菌,有利于轮虫的生长繁殖^[17-19]。许兵等^[17]用光合细菌(*Rhodospseudomonas spheroides*, 5×10^6 /mL)混以青岛大扁藻(*Platymonas tsingdaoensis*)喂养褶皱轮虫,轮虫的增殖率明显高于单独使用光合细菌、扁藻和海洋酵母,也高于光合细菌与海洋酵母的混合组。田景波等^[18]报道用光合细菌和鲜酵母(光合细菌的投喂量为 6×10^6 /mL)混合培养褶皱臂尾轮虫,轮虫的生长繁殖优于酵母培养组和光合细菌培养组。王金秋等^[19]报道酵母培养轮虫时添加1%光合细菌母菌液(浓度 $10 \times 10^8 \sim 13 \times 10^8$ mL⁻¹)可以明显地提高酵母培养轮虫的效果,之后随着添加量的加大,其增长并没有继续提高。本实验中单独以光合细菌替代20%的饵料酵母,轮虫的生产性能反而下降,整个培养期间的平均抱卵率降低,总产量降低,维持高密度的天数也最少(表2、图1)。光合细菌对轮虫培养的促进作用在本实验中并未能体现。这可能与本实验中光合细菌的添加量过多有关。光合细菌能有效迅速分解水体中的残饵和粪便等有机物,降低水体化学耗氧量(COD),净化水体^[20]。而褶皱臂尾轮虫适宜在有机物含量较高的水体中生长,张道南等^[12]研

究表明,褶皱臂尾轮虫培养过程中水体中COD的水平维持在100 mg/L以内是合适的。培养水体中过多的光合细菌还可能抑制轮虫培养水体中其他微生物的生长,破坏培养系统中的微生态平衡,而轮虫培养系统中由各种细菌组成的微生态对维持轮虫种群的稳定性具有十分重要的作用^[16]。投喂D组(80%酵母+20%光合细菌+5 mg/(L·d)HUFA强化剂)饵料的轮虫,其种群的生产性能又有所提高,推测与HUFA强化剂的高营养性能及添加了HUFA强化剂后水体中光合细菌与其他细菌之间达到了新的有利轮虫种群生长的平衡有关。

3.2 不同饵料组合对轮虫营养组成的影响

不同饵料培养的轮虫,其营养组成上有所差异。翁幼竹等^[7]用乳化鱼油、乳化豆油和小球藻(*Chlorella sp.*)强化酵母轮虫12 h,发现轮虫的总脂含量发生变化,但粗蛋白含量并没有显著变化。Gunvor等^[21]的研究表明,轮虫的蛋白质含量会有较大的变化,摄食和生长条件是影响轮虫蛋白质含量的主要因素。当用富含脂肪的饵料强化轮虫后,轮虫的单位干重的脂肪含量增加,而单位干重的蛋白质含量会降低。本实验的结果也表明,单独以光合细菌替代20%的酵母,轮虫的粗蛋白、总脂和氨基酸含量均未见有显著差异。但在饵料组合中添加5 mg/(L·d)的HUFA强化剂,轮虫的粗蛋白含量有下降趋势,氨基酸含量明显下降,尽管轮虫的氨基酸组成保持相对稳定,同时总脂含量极显著增加。表明饵料品质在一定程度上会影响所培养轮虫体内的氨基酸含量。类似的影响在卤虫中也曾被发现^[22]。

已有的文献表明,饵料的脂肪含量和脂肪酸组成会显著影响轮虫的脂肪含量及脂肪酸组成^[6-7,21,23-25]。一般而言,轮虫的脂肪酸组成与其饵料中的脂肪酸组成相似。但也有的研究表明,轮虫在对饵料进行同化及生长代谢过程中,某些脂肪酸的含量会发生改变^[24]。Navarro等^[26]也发现,以含有高EPA但不含DHA的微绿球藻(*Nannochloropsis oculata*)为饵料,所培养的褶皱臂尾轮虫体内也能检测出一定的DHA,表明褶皱臂尾轮虫具备一定的将体内的EPA转化为DHA的能力。本实验中,酵母轮虫中检测到低的EPA,检测不到DHA。而其他3组饵料喂养的轮虫均检测到一定含量的EPA和DHA。但所培养轮虫体内的EPA和DHA的含量远低于强化剂中两者的含量,所培养轮虫的DHA/EPA及AA/EPA的比值与HUFA

强化剂中也有明显的差异。推测与 HUFA 强化剂的添加剂量偏少及培养水体中高不饱和脂肪酸易氧化有关。McEvoy 等^[27]也指出,过长的营养强化时间会导致强化水体中 HUFA 发生自动氧化,使 DHA、EPA 等 HUFA 明显减少,而饱和脂肪酸的量相对增加,进一步导致卤虫体内的 DHA 含量及 DHA/EPA 的比例下降。

有关海水鱼类幼体对饵料中 DHA/EPA/AA 的比例的需求,国内外有较多的报道。Sargent 等(1999)报道大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)仔鱼早期发育中 DHA:EPA:AA 的最佳比例为 1.8:1.0:0.12^[28]。鲈(*Dicentrarchus labrax*)仔稚鱼的饲料中 DHA:EPA 的最佳比例大约为 2:1,并且 EPA:AA 的最佳配比大约为 1:1^[29]。Castell 等^[30]报道黑线鳕(*Melanogrammus aeglefinus*)幼体的最佳 DHA:EPA:AA 的比例的比例为 10:1:1。刘镜恪等^[31]报道牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)仔稚鱼实验微粒饲料中 EPA 与 AA 的最佳比例为 2:1。本实验中,所采用的强化剂的 DHA:EPA:AA 的比值为 1.25:1:0.09,与文献报道有一定的差异。研究表明,不同海水鱼类幼体对饵料中 DHA:EPA:AA 的比例的需求存在差异,针对不同的养殖鱼类,选择脂肪酸组成合适的 HUFA 强化剂是必要的。

参考文献:

- [1] Rombaut G, Grommen R, Zizhong Q, et al. Improved performance of an intensive rotifer culture system by using a nitrifying inoculum (ABIL) [J]. *Aquac Res*, 2003, 34 (2): 165-174.
- [2] Suantika G, Dhert P, Nurhudah N, et al. High-density production of rotifer *Brachionus plicatilis* in recirculated system: consideration of water quality, zootechnical and nutrient aspects [J]. *Aquac Engin*, 2000, 21 (2): 201-214.
- [3] Suantika G, Dhert P, Rombaut G, et al. The use of ozone in a high density recirculation system for rotifers [J]. *Aquaculture*, 2001, 201 (1): 35-49.
- [4] Rainuzzo J R, Reitan K I, Olsen Y. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review [J]. *Aquaculture*, 1997, 155 (1-4): 103-115.
- [5] Rodríguez C, Pérez J A, Izquierdo M S, et al. Improvement of the nutritional value of rotifers by varying the type and concentration of oil and the enrichment period [J]. *Aquaculture*, 1996, 147 (1-2): 93-105.
- [6] 张利明, 常建波, 张秀珍, 等. N-3 多价不饱和脂肪酸营养强化轮虫技术的研究 [J]. *水产学报*, 1997, 21 (4): 415-421.
- [7] 翁幼竹, 李少菁, 王桂忠. 锯缘青蟹幼体饲料的营养强化 [J]. *水产学报*, 2001, 25 (3): 227-231.
- [8] 郑智驾, 苏跃中, 游览, 等. 轮虫的营养强化对大黄鱼生长及成活率影响的实验 [J]. *台湾海峡*, 1996, 15 (1): 6-10.
- [9] Watanabe T. Comparison between eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid in terms of essential fatty acid efficacy in larval red seabream [J]. *Bull Jpn Sci Fish*, 1989, 55 (1): 9-18.
- [10] Izquierdo M S, Watanabe T, Takeuchi T, et al. Requirement of larval red seabream for essential fatty acids [J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 1989, 55 (5): 859-867.
- [11] 邱小琼, 周洪琪, 曾庆华, 等. 营养强化的轮虫、卤虫对牙鲆仔鱼的成活、生长及体脂脂肪酸组成的影响 [J]. *水产科学*, 2004, 23 (2): 4-8.
- [12] 张道南, 白利平, 张毅, 等. 利用啤酒酵母活菌株培养褶皱臂尾轮虫的研究 [J]. *水产学报*, 1983, 7 (2): 113-123.
- [13] 黄旭雄, 周洪琪, 倪勤, 等. 不同生长阶段微绿球藻的营养价值 [J]. *水产学报*, 2004, 28 (4): 477-480.
- [14] Lubzens E. Raising rotifers for use in aquaculture [J]. *Hydrobiologia*, 1987, 147: 245-255.
- [15] Akinori H. Present culture systems of the rotifer (*Branchionus plicatilis*) and the function of micro-organisms [C]//C. S. Lee, M. S. Su and I. C. Liao. *Finfish Hatchery in Asia: Processing of finfish in Asia '91*. TML Conference Proceedings 1993, 3: 51-59.
- [16] Hirayama K, Funamoto H. Supplementary effect of several nutrients on nutritive deficiency of baker's yeast for population growth of the rotifer *Branchionus plicatilis* [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1983, 49: 505-510.
- [17] 许兵, 丁明宇, 毛景华, 等. 光合细菌对褶皱臂尾轮虫的饵料价值 [J]. *海洋湖沼通报*, 1992, (2): 17-22.
- [18] 田景波, 孙广德, 张庆文, 等. 不同饵料对褶皱臂尾轮虫种群生长繁殖的影响 [J]. *中国水产科学*, 1998, 5 (4): 37-41.
- [19] 王金秋, 李德尚, 董双林, 等. 面包酵母添加光合细菌和 Vc 后培养轮虫的效果 [J]. *水产科技情报*, 1999, 26 (1): 25-27.
- [20] 成永旭. *生物饵料培养学* [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 35-36.
- [21] Øie G, Olsen Y. Protein and lipid content of the rotifer *Brachionus plicatilis* during variable growth and feeding condition [J]. *Hydrobiologia*, 1997, 358 (2): 251-258.
- [22] 黄旭雄, 陈马康, 魏文志. 几种植物浆养殖卤虫的饵料效果 [J]. *水产学报*, 2000, 24 (3): 254-258.
- [23] 赵明日, 孙世春, 麦康森, 等. 7 株海洋微藻强化褶皱臂尾轮虫效果的研究 [J]. *青岛海洋大学学报*, 2002, 32 (1): 32-38.
- [24] Frolov A V, Pankov S L, Geradze K N, et al. Influence of the biochemical composition of food on the biochemical composition of the rotifer *Brachionus plicatilis* [J]. *Aquaculture*, 1991, 97 (2-3): 181-202.
- [25] Ben-Amotz A, Fisher R, Schneller A. Chemical composition of dietary species of marine unicellular algae and rotifer with emphasis on fatty acids [J]. *Mar Biol*, 1987, 95 (1): 31-36.
- [26] Navarro N, Yufera M, Garc'ya-Gallego M. Use of freeze-dried microalgae for rearing gilthead seabream, *Sparus aurata* L., larvae. II. Biochemical composition [J]. *Hydrobiologia*, 2001, 452

- (1): 69–77.
- [27] McEvoy L A, Navarro J C, Bell J G, et al. Autooxidation of oil emulsions during the *Artemia* enrichment process [J]. *Aquaculture*, 1995, 134 (1–2): 101–112.
- [28] Sargent J, McEvoy L, Estevez A, et al. Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions [J]. *Aquaculture*, 1999, 179 (1–4): 217–229.
- [29] Sargent J, Bell G, McEvoy L, et al. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish [J]. *Aquaculture*, 1999, 177 (1–4): 191–199.
- [30] Castell J, Blair T, Neil S, et al. The effect of different HUFA enrichment emulsions on the nutritional value of rotifers (*Branchionus plicatilis*) fed to larval haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) [J]. *Aquac Int*, 2003, 11: 109–117.
- [31] 刘镜格, 陈晓琳, 徐世宏. 实验微粒饲料中廿碳五烯酸 (EPA) 与廿碳四烯酸 (AA) 的比例对牙鲆仔稚鱼生长、存活的影响 [J]. *海洋科学*, 2005, 29 (10): 41–43, 53.

Effects of fish oil HUFA enrichment on production and nutrition of rotifer, *Branchionus plicatilis*

HUANG Xu-xiong¹, SHI Zhao-hong², ZHOU Hong-qi¹, YUAN Can-dong¹, SUN Yu-xin¹

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Fisheries University, Ministry of Education, Shanghai 200090, China; 2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: This paper investigated the the effects of supplementation of 5 mg/(L·d) fish oil HUFA enrichment in two diets (yeast, mixture of 80% yeast and 20% photosynthetic bacteria) on the production performances and nutritional value of rotifer *Branchionus plicatilis*, in semi-continuous culture model. The results indicated: The rotifer, fed mixture of 80% yeast and 20% photosynthetic bacteria, displayed inferior production performances with lowest density peak, lowest Average brooding rate, the shortest time of high density and the lowest yield. There was no significant difference on average brooding rate and yield among the yeast group and the groups treated with 5 mg/(L·d) fish oil HUFA enrichment. But the continuative supplementation of 5 mg/(L·d) fish oil HUFA enrichment significantly enhanced the stability of the rotifer population under high density. Diet had effect on nutritional values of the rotifer. An increased total lipid content, decreased crude protein content and decreased amino acid content of the rotifer were detected in the groups treated with HUFA enrichment. The composition of fatty acid on rotifer also changed with the effect of HUFA enrichment. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14 (7): 59–65]

Key words: *Branchionus plicatilis*; HUFA enrichment; nutrient value; production