

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.17019

单胞藻饵料强化对太平洋纺锤水蚤营养成分的影响

景斐¹, 朱爱意¹, 李彬¹, 夏灵敏², 张建设¹

1. 浙江海洋大学 海洋科学学院, 国家海洋设施养殖工程技术研究中心, 浙江 舟山 316022;

2. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316000

摘要: 采用生化手段对舟山附近海域中浮游桡足类夏季优势种—太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*)进行营养成分测定, 比较分析两种单胞藻饵料小球藻(*Chlorella* sp.)和三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)对其营养价值的影响。结果表明, 太平洋纺锤水蚤在投喂三角褐指藻和投喂小球藻后, 其体内粗蛋白湿重含量分别为(6.51±0.46)%和(5.21±0.98)%, 比对照组(2.44±0.63)%显著上升($P<0.05$); 投喂三角褐指藻后太平洋纺锤水蚤粗脂肪湿重含量(0.25±0.03)%显著上升($P<0.05$), 投喂小球藻后粗脂肪湿重含量(0.15±0.03)%显著下降($P<0.05$); 但总糖和灰分湿重含量变化不明显($P>0.05$)。本研究检测出太平洋纺锤水蚤体内共含 17 种氨基酸, 其中鱼类必需氨基酸(EAA)9 种, 非必需氨基酸(NEAA) 8 种, 对照组与投喂两种饵料后太平洋纺锤水蚤中 EAA 含量均较高, 干重含量为(47.56±0.04)%~(49.84±0.07)%; 检测出太平洋纺锤水蚤共含 21 种脂肪酸, 投喂三角褐指藻后太平洋纺锤水蚤的 DHA 和 EPA 干重含量之和最高(28.00%), 其次为投喂小球藻(21.51%), 均高于对照组(9.77%), 而对照组干重(9.77%)也仍高于强化后轮虫 DHA 和 EPA 干重含量(0.8%)和强化后卤虫 DHA 和 EPA 干重含量(8.40%)。通过本实验发现, 自然状态下的太平洋纺锤水蚤 DHA 和 EPA 含量较高, 营养价值高, 而投喂后三角褐指藻后太平洋纺锤水蚤营养价值明显增加, 表明人工培养条件下太平洋纺锤水蚤具有作为水产经济动物活体开口饵料的潜在开发价值。

关键词: 太平洋纺锤水蚤; 必需氨基酸; 脂肪酸; 营养价值

中图分类号: S92

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)06-1354-09

太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*)隶属于桡足纲(Copepoda), 哲水蚤目(Calanoida), 纺锤水蚤科(Acartiidae), 纺锤水蚤属, 体形瘦长, 体长约 1 mm, 广泛分布于中国沿海、日本沿海、太平洋和印度洋^[1], 是舟山渔场及邻近海域夏季浮游动物的优势种之一^[2]。目前国内外学者已研究了不同单胞藻饵料对太平洋纺锤水蚤存活^[3]、繁殖及生化指标^[4]的影响, 以及太平洋纺锤水蚤的摄食率与温度、盐度、食物浓度、食物种类、饥饿、食性等因素的关系^[5]。此外, 国内外学者还分析了温度^[6]、杀虫剂^[7]、有机烃^[8]、重金属^[9]和紫外线^[10]对太平洋纺锤水蚤的影响, 但饵料种类对太平洋

纺锤水蚤营养成分的影响尚未见报道。

水生动物的开口摄食阶段, 即内源营养向外源营养转换的阶段是其早期生活史中的关键时期^[11], 开口饵料对其生长、存活和发育起到至关重要的作用。饵料的适口性、可得性和营养是水产动物幼体开口期培育中的关键因素^[12], 国内外大量研究表明, 天然活体饵料要优于人工配合饵料^[13-15], 能有效提高水产动物仔稚幼体的生长和成活率。轮虫和卤虫是海水经济动物苗种培育过程中应用最广泛的开口饵料, 但存在着固有的营养缺陷, 尤其高不饱和脂肪酸(HUFAs)含量较低^[16], 而桡足类富含不饱和脂肪酸和氨基酸, 被认为是在水

收稿日期: 2017-02-10; 修订日期: 2017-03-28.

基金项目: 国家海洋局公益性行业科研专项(201505025); 海洋科学浙江省重中之重学科开放课题(20140104); 浙江海洋学院重大项目(X12D01).

作者简介: 景斐(1992-), 女, 硕士研究生, 专业方向为海洋生态学. E-mail: jingfei0201@163.com

通信作者: 张建设, 副教授, 硕士生导师. E-mail: zhangjianshe@zjou.edu.cn

产养殖中替代轮虫和卤虫的具有巨大潜力的活体饵料^[17]。海洋桡足类种类多、数量大、分布广,在海洋中是绝大多数幼鱼和许多中上层经济鱼类及鲸类的主要天然饵料^[18]。自20世纪70年代,日本学者成功规模培养了日本虎斑猛水蚤(*Tigriopus japonicus*)后,相继有太平洋真宽水蚤(*Eurytemora pacifica*)、刺尾纺锤水蚤(*A. spinicauda*)克氏纺锤水蚤(*A. clausi*)、细巧华哲水蚤(*Sinocalanus tenellus*)、安氏伪镖水蚤(*Pseudodiaptomus annandalei*)等种类被规模化培养并应用到海水动物的育苗生产中^[19]。

蛋白质、脂肪和糖类是动物饵料中最主要的营养素,但由于水产动物对蛋白和脂肪的利用率远高于糖类,因此,蛋白质和脂肪在饵料中的构成尤为重要^[20]。桡足类体内的蛋白质和脂肪酸的含量和组成受种类和饲喂饵料藻类的变化而变化。鉴于此,本研究通过采用新型的人工养殖模式,比较和分析人工培养条件下两种饵料对太平洋纺锤水蚤营养成分的影响,旨在为太平洋纺锤水蚤的营养价值评价、规模化培育技术提供学术依据,同时也为水产经济动物活体开口饵料的开发提供基础数据和理论指导。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 微藻的培养 本实验选用的单胞藻为小球藻(*Chlorella* sp.)和三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*),用f/2培养基进行培养。取处于指数生长期的藻类和小球藻和三角褐指藻接种,培养温度为23℃,盐度为25,光照强度为2000 lx,时间:12 h光照、12 h黑暗一个循环。每日检测藻类的密度并用新鲜的f/2培养基更新培养液,当藻类处于指数生长期时收集备用^[21]。

1.1.2 微藻的收集 微藻在指数生长末期收获,于4000 r/min离心10 min,再用灭菌的蒸馏水清洗3次,经冷冻干燥,放在-40℃冰箱中冻存备用脂肪酸测定。

1.1.3 实验动物获取 2016年5月,采用持杆式、网目为300 μm浮游生物网在舟山本岛近海表层进行水平拖网作业,采集到的浮游动物置于显

微镜下分离、挑选出太平洋纺锤水蚤,其中一部分进行冷冻干燥处理,干样备用进行营养测定,为对照组;另一部分置于装有30 L过滤海水的白色大桶中暂养24 h,24℃,盐度25,光周期为12 h:12 h,冷冻干燥后用于分析投喂不同饵料对太平洋纺锤水蚤营养成分的影响。

1.1.4 实验样品处理 将前期暂养的太平洋纺锤水蚤置入两个白色大缸,每天投喂单胞藻饵料,分别保持缸内小球藻浓度为 2.0×10^5 cell/mL,三角褐指藻浓度为 1.5×10^5 cell/mL。7 d后收集活体样品,进行冷冻干燥处理,干样备用。

1.2 两种饵料对太平洋纺锤水蚤营养成分的影响

1.2.1 一般营养成分检测 依据GB/T 5009.3-2010-25-29^[22],直接干燥法测定水分质量分数;依据GB/T 5009.5-2010-37-41^[23],采用KJELTEC2300自动定氮仪测定粗蛋白质量分数;依据GB/T 5009.6-2010-45-46^[24],利用索氏提取法测定粗脂肪质量分数;依据GB/T 5009.4-2010-1-2^[25],马弗炉550℃高温灼烧法测定灰分质量分数;依据GB/T 5009.8-2008-1-5^[26],直接滴定法测定总糖质量分数。

1.2.2 氨基酸组成分析 依据GB/T 5009.124-2003-115-119^[27],样品经酸水解后,采用日立L-8900氨基酸自动分析仪测定氨基酸组成及含量。

1.2.3 脂肪酸成分分析 脂肪酸测定采用气相色谱分析仪(安捷伦1260液相色谱仪)。样品的预处理,样品测定方法、步骤以及脂肪酸定性和定量采用郑爱榕等^[28]方法。

1.3 数据分析

采用SPSS20.0软件进行数据分析,测定结果以均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示,实验数据采用ANOVA进行Tukey差异分析,以 $P < 0.05$ 为显著性差异。

2 结果与分析

2.1 两种饵料对太平洋纺锤水蚤一般营养成分的影响

投喂两种饵料7 d后进行实验测定,太平洋纺锤水蚤的一般营养成分见表1。投喂三角褐指藻后的太平洋纺锤水蚤水分含量(88.76 ± 0.32)%明

表 1 投喂两种饵料 7 d 后太平洋纺锤水蚤的一般营养成分
Tab. 1 Basic nutritional components of *Acartia pacifica* after feeding for 7 days

饵料组 diet group	%；湿重 wet weight				
	水分 water	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 ether extract	总糖 total sugar	灰分 ash
对照组 control group	92.33±0.75 ^a	2.44±0.63 ^a	0.19±0.02 ^b	1.06±0.12	2.57±0.23
小球藻 <i>Chlorella</i> sp.	90.69±0.56 ^a	5.21±0.98 ^b	0.15±0.03 ^a	1.04±0.11	2.65±0.13
三角褐指藻 <i>Phaeodactylum tricornutum</i>	88.76±0.32 ^b	6.51±0.46 ^b	0.25±0.03 ^c	1.10±0.21	2.90±0.15

注：不同的上标字母代表不同饲料组间差异显著(P<0.05).
Note: Different superscript letters represent significant differences (P<0.05).

显低于投喂小球藻(90.69±0.56)%和对照组(92.33±0.75)% (P<0.05); 投喂三角褐指藻(6.51±0.46)%和小球藻(5.21±0.98)%后, 太平洋纺锤水蚤体内粗蛋白含量比对照组(2.44±0.63)%显著上升(P<0.05); 投喂三角褐指藻后粗脂肪含量(0.25±0.03)%显著上升(P<0.05), 投喂小球藻后粗脂肪含量(0.15±0.03)%显著下降(P<0.05); 总糖和灰分含量变化不明显(P>0.05)。

2.2 两种饵料对太平洋纺锤水蚤氨基酸的影响

除色氨酸(Trp)外, 本实验检测出太平洋纺锤水蚤共有 17 种氨基酸, 其中鱼类必需氨基酸(EAA)9 种, 非必需氨基酸(NEAA)8 种。其中 EAA 含量为 (47.56±0.04)%~(49.84±0.07)%, 对照组 (49.84±0.07)%与投喂三角褐指藻后(48.12±0.06)%太平洋纺锤水蚤 EAA 含量相近, 对照组 EAA 占 TAA 的(49.84±0.07)%, EAA/NEAA 约为 5 : 5, 投喂小球藻后太平洋纺锤水蚤体内 EAA 占 TAA 的 (47.56±0.04)%, 投喂三角褐指藻后 EAA 占 TAA 的 (48.12±0.06)%, 其两者 EAA/NEAA 均约为 4.8 : 5.2, 三者 EAA/NEAA 在 5 : 5 上下; EAA 中精氨酸(Arg)和赖氨酸(Lys)两种必需氨基酸的含量较高, Arg 含量为(4.11±0.03)%~(7.32±0.18)%, 投喂三角褐指藻最高, 其次为投喂小球藻, 对照组最低, Lys 含量为(4.67±0.05)%~(7.01±0.22)%, 含量高低依次为: 投喂三角褐指藻>投喂小球藻>对照组。EAA 中缬氨酸(Val)和蛋氨酸(Met)含量下降, Val 从(6.17±0.17)%下降到(5.12±0.12)%, Met 从(12.44±0.35)%下降到(6.19±0.10)%。

2.3 两种饵料对太平洋纺锤水蚤脂肪酸的影响

实验共检测出了 21 种脂肪酸, 包括 9 种饱和脂肪酸(SFA), 3 种单不饱和脂肪酸(MUFA)和 9 种

表 2 不同饵料条件下太平洋纺锤水蚤氨基酸含量的测定
Tab. 2 Determination of amino acids of *Acartia pacifica* under different feeding conditions
%; 干重含量百分比 content percentage of dry weight

氨基酸种类 amino acids	对照组 control group	投喂小球藻后 feeding <i>Chlorella</i> sp.	投喂三角褐指藻后 feeding <i>Phaeodactylum tricornutum</i>
天冬氨酸 Asp	7.86±0.01	9.42±0.08	9.20±0.31
苏氨酸 Thr*	4.98±0.09	4.89±0.01	4.61±0.15
丝氨酸 Ser	3.88±0.06	4.45±0.09	4.18±0.08
谷氨酸 Glu	11.51±0.06	13.64±0.03	13.57±0.28
脯氨酸 Pro	5.68±0.10	5.17±0.07	4.75±0.10
甘氨酸 Gly	5.22±0.22	6.60±0.18	7.03±0.24
丙氨酸 Ala	9.38±0.28	8.10±0.02	7.84±0.27
半胱氨酸 Cys	0.93±0.11	0.92±0.17	0.97±0.08
缬氨酸 Val*	6.17±0.17	5.41±0.09	5.12±0.12
蛋氨酸 Met*	12.44±0.35	6.98±0.04	6.19±0.10
异亮氨酸 Ile*	3.58±0.13	3.89±0.10	3.88±0.09
亮氨酸 Leu*	6.64±0.19	7.25±0.25	7.46±0.22
酪氨酸 Tyr	5.70±0.10	4.14±0.12	4.34±0.06
苯丙氨酸 Phe*	4.29±0.03	4.28±0.15	4.25±0.10
赖氨酸 Lys*	4.67±0.05	6.67±0.23	7.01±0.22
组氨酸 His*	2.96±0.02	2.28±0.07	2.28±0.04
精氨酸 Arg*	4.11±0.03	5.91±0.08	7.32±0.18
必需氨基酸 EAA	49.84±0.07	47.56±0.04	48.12±0.06
非必需氨基酸 NEAA	50.16±0.02	52.44±0.02	51.88±0.04

注: “*”表示鱼类必需氨基酸。
Note: “*” denotes the essential amino acids (EAA) of fish.

多不饱和脂肪酸(PUFA)。实验组、对照组以及两种微藻本身的不同脂肪酸相对百分含量均存在差异。其中 SFA 含量为(37.66±0.29)%~(58.14±0.36)%, 对照组(58.14±0.36)%均高于投喂小球藻(48.38±

0.25)%和投喂三角褐指藻(38.23±0.45)%, 三角褐指藻(37.66±0.29)%低于小球藻(51.43±0.19)%; MUFA 含量为(24.73±0.29)%~(48.57±0.01)%, 对照组(30.23±0.23)%仍高于投喂三角褐指藻(29.33±0.98)%和投喂小球藻(24.73±0.29)%, 小球藻(48.57±0.01)%高于三角褐指藻(35.47±0.04)%; PUFA 含量为(1.57±0.04)%~(32.44±0.09)%, 投喂三角褐指藻(32.44±0.09)%高于投喂小球藻(26.86±0.23)%和对照组(11.63±0.26)%; EPA 和 DHA 是多不饱和脂肪

酸中主要的脂肪酸, EPA 中, 投喂三角褐指藻最高(8.44±0.26)%, 高于投喂小球藻(6.99±0.02)%和对照组(4.65±0.12)%, 小球藻未检测出 EPA, 三角褐指藻为(16.09±0.32)%; DHA 中, 投喂三角褐指藻含量最高(19.56±0.01)%, 高于投喂小球藻(14.52±0.36)%和对照组(5.12±0.15)%, 三角褐指藻(0.78±0.02)%低于小球藻(1.57±0.04)%; (n-3)PUFA 含量以投喂三角褐指藻最高(28.00±0.03)%, 均高于投喂小球藻(21.51±0.06)%和对照组(9.77±0.01)%,

表 3 不同饵料对太平洋纺锤水蚤脂肪酸的影响
Tab. 3 Effect of different foods on fatty acids of *Acartia pacifica*
%(占总脂的百分比 percentage of total fat); 干重 dry weight

脂肪酸 fatty acids	脂肪酸种类 fatty acids variety	对照组 control group	投喂小球藻 feeding <i>Chlorella</i> sp.	投喂三角褐指藻 feeding <i>Phaeodactylum tricornutum</i>	三角褐指藻 <i>Phaeodactylum tricornutum</i>	小球藻 <i>Chlorella</i> sp.
SFA	C _{12:0}	ND	ND	ND	1.88±0.03	ND
	C _{14:0}	9.77±0.04	5.91±0.07	4.00±0.02	7.50±0.10	0.99±0.05
	C _{15:0}	ND	ND	ND	1.09±0.04	ND
	C _{16:0}	33.95±0.28	19.89±0.54	15.56±0.27	23.28±0.16	44.75±0.48
	C _{17:0}	ND	ND	ND	ND	ND
	C _{18:0}	9.30±0.12	6.99±0.22	5.78±0.27	0.63±0.02	5.69±0.02
	C _{20:0}	ND	ND	ND	1.09±0.04	ND
	C _{22:0}	ND	7.53±0.22	ND	2.19±0.50	ND
	C _{24:0}	5.12±0.37	8.06±0.24	12.89±0.48	ND	ND
MUFA	C _{16:1n-7}	17.67±0.09	8.06±0.06	8.44±0.23	29.22±0.26	36.59±0.09
	C _{18:1n-7}	ND	ND	ND	0.94±0.02	ND
	C _{18:1n9c}	12.56±0.38	16.67±2.03	20.89±0.26	5.31±0.08	11.98±0.56
PUFA	C _{18:2n6c}	1.86±0.34	5.38±0.24	4.44±0.87	2.97±0.01	ND
	C _{16:2(n-4)}	ND	ND	ND	1.09±0.10	ND
	C _{16:3(n-4)}	ND	ND	ND	0.78±0.09	ND
	C _{16:4(n-1)}	ND	ND	ND	2.03±0.20	ND
	C _{18:3(n-3)}	ND	ND	ND	0.31±0.05	ND
	C _{20:4(n-6)}	ND	ND	ND	0.31±0.03	ND
	C _{22:5(n-3)}	ND	ND	ND	2.50±0.17	ND
	C _{20:5(n-3)}	4.65±0.12	6.99±0.02	8.44±0.26	16.09±0.32	ND
	C _{22:6(n-3)}	5.12±0.15	14.52±0.36	19.56±0.01	0.78±0.02	1.57±0.04
总量 total	SFA	58.14±0.36	48.38±0.25	38.23±0.45	37.66±0.29	51.43±0.19
	MUFA	30.23±0.23	24.73±0.29	29.33±0.98	35.47±0.04	48.57±0.01
	PUFA	11.63±0.26	26.89±0.22	32.44±0.09	26.86±0.23	1.57±0.04
	(n-3)PUFA	9.77±0.01	21.51±0.06	28.00±0.03	19.68±0.07	1.57±0.04

注: MUFA—单不饱和脂肪酸; PUFA—多不饱和脂肪酸; SFA—饱和脂肪酸. ND—未检出.
Note: MUFA—monounsaturated fatty acid; PUFA—polyunsaturated fatty acid; SFA—saturated fatty acid. ND—not detected.

三角褐指藻(n=3)PUFA 含量(19.68 ± 0.07)%远高于小球藻(1.57 ± 0.04)%。

3 讨论

3.1 两种饵料对太平洋纺锤水蚤一般营养成分的影响

蛋白质是水产经济动物生长和发育的主要营养来源,也是衡量饵料营养价值的主要指标^[29]。本研究结果表明,投喂饵料之后,太平洋纺锤水蚤体内粗蛋白含量较对照组显著上升,这可能是由于对照组生长环境条件较差,食物来源较少,自然条件下能量消耗也较大,导致其营养物质缺乏,粗蛋白含量较低;此外彭瑞冰等^[30]报道中经小球藻和三角褐指藻共同强化后的卤虫幼体粗蛋白含量为(4.25 ± 0.11)%,低于本实验中小球藻强化后太平洋纺锤水蚤粗蛋白含量(5.21 ± 0.98)%和三角褐指藻强化后含量(6.51 ± 0.46)%,投喂三角褐指藻(6.51 ± 0.46)%后,粗蛋白含量与彭瑞冰等^[30]报道的中华哲水蚤(7.02 ± 0.76)%相近,表明饵料强化对太平洋纺锤水蚤粗蛋白含量较卤虫等传统饵料^[17]影响明显。

水产动物生长所必需的脂肪酸能够通过饲料中的脂类来提供,在水产动物的生长、发育和代谢中起着重大作用^[31]。本实验测得太平洋纺锤水蚤粗脂肪含量结果为:投喂三角褐指藻>对照组>投喂小球藻,由于实验所测得三角褐指藻富含丰富的脂肪酸,经其投喂后,太平洋纺锤水蚤脂肪含量较对照组有明显上升。此外本实验测得小球藻中脂肪酸成分较简单,含量也较低,因此小球藻投喂太平洋纺锤水蚤后,太平洋纺锤水蚤体内粗蛋白和脂肪含量都较低,可能由于太平洋纺锤水蚤因饵料中脂类不足而通过消耗体内蛋白质来补充生长所需能量造成的影响。与李爱杰^[32]文中所提及饵料中脂肪含量过低,会引起水生动物必需脂肪酸的缺乏,导致发育缓慢,抵抗力下降,进而过度消耗蛋白作为生长所需的能量一致。

3.2 两种饵料对太平洋纺锤水蚤氨基酸的影响

鱼类 EAA 包括以下 10 种: Lys、Met、Arg、His、Leu、Ile、Phe、Thr、Val 和 Trp^[33-34]。桡足

类是鱼虾幼体的优质开口活体饵料,活体饵料中 EAA 含量是评价饵料蛋白质质量优劣的主要指标,本研究测得太平洋纺锤水蚤 9 种 EAA,太平洋纺锤水蚤 EAA/TAA 含量与瘦尾刺胸水蚤(*Centropage stenuiremis*)、刺尾纺锤水蚤(*A. spinicauda*) EAA/TAA($47.70\% \sim 52.60\%$)^[35]相近,且高于轮虫(*Brachionus calysiflorus*)的 EAA/TAA(46.1%)^[36]。刘镜恪^[37]研究表明,海水幼鱼生长过程中, EAA/NEAA 基本维持在 4:6(质量比)左右时,水产动物饲料中氨基酸比例合理。本研究中,对照组、投喂小球藻后和投喂三角褐指藻后,太平洋纺锤水蚤 EAA/NEAA 在 5:5 上下,高于墨氏胸刺水蚤 EAA/NEAA(4:6,质量比)^[38],可见在充足的饵料条件下,太平洋纺锤水蚤 EAA/NEAA 比例稍高, EAA 含量更加丰富,可能会更有利于鱼类的生长发育。

在鱼类饵料中,适当添加 Arg 可以显著提高饵料效率,并能明显提高水产的免疫力,增强鱼类对疾病的抵抗力^[36]。本实验中投喂三角褐指藻后太平洋纺锤水蚤的 Arg 含量(7.32 ± 0.18)%与黄旭雄等^[39]文中强化后的卤虫 Arg 含量(7.36%)相近,并显著高于林元烧文中轮虫 Arg 含量(3.66%)^[36]。水产经济动物对 Arg 营养需求含量为 3.3%~6.8%^[32, 40],投喂三角褐指藻后的太平洋纺锤水蚤 Arg 含量能满足水产动物对 Arg 的需求。Lys 在饵料中往往是限制性氨基酸^[41],可以加强鱼类肝脏的氨基酸代谢,增加蛋白沉积,提高蛋白含量^[34],本实验结果表明,投喂小球藻和三角褐指藻后 Lys 含量均高于对照组,其中投喂三角褐指藻后 Lys 含量(7.01 ± 0.22)%与黄旭雄等^[39]文中强化下的卤虫 Lys 含量(7.94%)相近,可以看出,本研究采用单胞藻营养强化后,太平洋纺锤水蚤 Lys 含量得到不同程度提升,营养价值也随之升高。

3.3 两种饵料对太平洋纺锤水蚤脂肪酸的影响

对于水产动物尤其是幼体,脂肪酸在其能量储存和个体发育中发挥着重大作用^[42]。水产动物体内 MUFA 和 SFA 能自身合成,但是 PUFA 只能从饲料中获得,如 DHA 和 EPA^[43]。因此在养殖水产经济动物幼体的过程中,需要通过投喂含 PUFA 比例较高的饵料来补充幼体生长发育所必

需的 PUFA, 饵料生物的营养价值与其所含脂肪酸的种类和数量有密切关系^[44]。投喂三角褐指藻后, 太平洋纺锤水蚤体内的 PUFA 含量高于投喂小球藻后和对照组的 PUFA 含量, 因三角褐指藻所含 PUFA 成分比较复杂, 含量也较高($26.86 \pm 0.23\%$), 其多种 PUFA 成分会在投喂太平洋纺锤水蚤后会转化、累积为水蚤体内较高的 PUFA 含量, 但小球藻 PUFA 含量较低($1.57 \pm 0.04\%$), 成分也比较简单, 所以投喂小球藻后太平洋纺锤水蚤的 PUFA 含量略低, 与张继红等^[45]所报道用小球藻强化后的轮虫 PUFA 含量(0.80%)相近。

本实验中, 投喂三角褐指藻和小球藻后, 太平洋纺锤水蚤中 DHA 含量上升, 与奚秀秀等^[38]报道的墨氏胸刺水蚤 DHA 含量相近。不同饵料的脂肪酸组成和含量不同, 造成投喂后其转化合成方式也各有差异, 三角褐指藻 EPA 含量较高, 在投喂三角褐指藻后, 太平洋纺锤水蚤摄取较好, EPA 含量远高于对照组; 小球藻本身虽未检测出 EPA, 但经小球藻投喂后的太平洋纺锤水蚤 EPA 含量也较高, 这可能与脂肪酸在太平洋纺锤水蚤体内相互合成和转化有关。

目前研究资料表明, DHA 比 EPA 具有更高营养价值, 在促进幼鱼发育方面也要优于 EPA^[46]。有研究表明, 比目鱼(*Pleuronectiformes*)和鲈(*Latolabrax japonicus*)幼鱼的饲料中 DHA 和 EPA 最佳比例为 2 : 1 (质量比), 如果饵料中 EPA 和 DHA 含量不协调, 特别是过低的 DHA 含量和过高的 EPA 含量会对幼鱼的生长发育产生消极作用, 并且导致幼鱼抵抗能力降低及死亡率上升^[47-49]。本研究结果表明, 投喂三角褐指藻后太平洋纺锤体内 DHA 和 EPA 比例大致为 2 : 1 (质量比)。张继红等^[45]研究表明强化后轮虫 DHA 和 EPA 含量均较低, 比例为 3 : 5 (质量比), 彭瑞冰等^[30]研究表明强化后的卤虫 DHA 与 EPA 比例约为 1 : 6 (质量比), 中华哲水蚤 DHA 和 EPA 比例约为 1 : 1.6 (质量比), 奚秀秀等^[38]研究表明墨氏胸刺水蚤 DHA 和 EPA 比例约为 1 : 1.4 (质量比), 因此推断, 经三角褐指藻投喂后的太平洋纺锤水蚤 DHA 和 EPA 比例相比于轮虫、卤虫等传统饵料更能满足幼鱼发育的需求, 具有作为开口饵料的开发价值。

参考文献:

- [1] Zheng Z, Zhang S Z, Li S, et al. Chinese Ocean Planktonic Copepoda (Vol 1)[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1992. [郑重, 张松踪, 李松, 等. 中国海洋浮游桡足类(上卷)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1992.]
- [2] Chen X Q, Chen B, Huang B, et al. Analysis on community structure of zooplankton in Zhoushan fishing ground and its adjacent area in summer[J]. Zoological Research, 2010, 31(1): 99-107. [陈小庆, 陈斌, 黄备, 等. 夏季舟山渔场及邻近海域浮游动物群落结构特征分析[J]. 动物学研究, 2010, 31(1): 99-107.]
- [3] Chen Z G, Wang G Z, Wu L S. A comparative study of the effects of three marine microalgae on survival development and reproduction of the copepod *Acartia pacifica*[J]. Journal of Xiamen University: Nature Sciences, 2016, 55(3): 343-348. [陈志刚, 王桂忠, 吴荔生, 等. 3 种海洋浮游微藻影响太平洋纺锤水蚤存活、发育和繁殖的比较研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2016, 55(3): 343-348.]
- [4] Zheng Y, Wang G Z, Ai C X. Impact of *Phaeodactylum tricornutum* and *Platymonas subcordiformis* on *Acartia pacifica* fecundity and biochemical parameters[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2012, 31(2): 210-217. [郑颖, 王桂忠, 艾春香. 三角褐指藻和亚心形扁藻对太平洋纺锤水蚤繁殖与生化指标的影响[J]. 台湾海峡, 2012, 31(2): 210-217.]
- [5] Gao Y H, Lin B. Effects of some factors on feeding rates of *Acartia pacifica*[J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 1999, 38(5): 751-757. [高亚辉, 林波. 几种因素对太平洋纺锤水蚤摄食率的影响[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1999, 38(5): 751-757.]
- [6] Jiang Z B, Zeng J N, Chen Q Z, et al. Tolerance of copepods to short-term thermal stress caused by coastal power stations[J]. J Ther Biol, 2008, 33(7): 419-423.
- [7] Jiang X D, Wang G Z, Li S J. Reduction of recruitment of *Acartia pacifica* nauplii from benthic resting eggs due to organochlorine pesticides[J]. J Environ Sci China, 2006, 18(3): 552-556.
- [8] Jiang X D, Wang G Z, Lin Q W. Reduction of hydrocarbon contamination on viability of *Acartia pacifica* benthic resting eggs[J]. Chin J Oceanol Limnol, 2008, 26(1): 91-96.
- [9] Jiang X D, Wang G Z, Li S J, et al. Heavy metal exposure reduces hatching success of *Acartia pacifica* resting eggs in the sediment[J]. J Environmental Sciences, 2007, 19(6): 733-737.
- [10] Ma Z, Li W, Gao K. Horizontal migration of *Acartia pacifica* Steuer (copepoda) in response to UV-radiation[J]. J

- Photochem Photobiol B, 2010, 101(3): 233–237.
- [11] Yin M C. Advanced and studies on early life history of fish[J]. Journal of Fisheries of China, 1991, 15(4): 348–358. [殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展[J]. 水产学报, 1991, 15(4): 348–358.]
- [12] Yúfera M, Darias M J. The onset of exogenous feeding in marine fish larvae[J]. Aquaculture, 2007, 268(1): 53–63.
- [13] Hamre K, Yúfera M, Rønnestad I, et al. Fish larval nutrition and feed formulation: knowledge gaps and bottlenecks for advances in larval rearing[J]. Rev Aqu, 2013, 5(s1): S26–S58.
- [14] Evjemo J O, Reitan K I, Olsen Y. Copepods as live food organisms in the larval rearing of halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L.) with special emphasis on the nutritional value[J]. Aquaculture, 2003, 227(1): 191–210.
- [15] Zhang T, Zhuang P, Zhang L Z, et al. Effects of initial feeding on the growth, survival, and body biochemical composition of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) larvae[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(2): 358–362. [张涛, 庄平, 章龙珍, 等. 不同开口饵料对西伯利亚鲟仔鱼生长、存活和体成分的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(2): 358–362.]
- [16] Li L, Zhu X M, Wu H X. Feeding of rotifer *Brachionus plicatilis* enriched with microalgae[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(9): 2019–2025. [李磊, 朱小明, 吴洪喜. 营养强化时褶皱臂尾轮虫对饵料微藻的摄食[J]. 生态学杂志, 2011, 30(9): 2019–2025.]
- [17] O'Bryen P J, Lee C. Culture of Copepods and Applications to Marine Finfish Larval Rearing Workshop Discussion Summary Copepods in Aquaculture[M]. New Jersey: Blackwell Publishing Professional, 2007: 245–253.
- [18] Chen B Y. Relationship between marine copepods and fisheries[J]. Marine Fisheries, 1983, 5(3): 108–109. [陈柏云. 海洋桡足类与渔业的关系[J]. 海洋渔业, 1983, 5(3): 108–109.]
- [19] Jiang J B, Lu J X. The nutrition of marine copepods and its application in fish, shrimp and crab larvae culture[J]. Journal of Aquaculture, 2012, 27(9): 61–65. [蒋建斌, 陆建学. 海水桡足类的营养及在鱼、虾、蟹幼体培育中的应用[J]. 水产养殖, 2012, 27(9): 61–65.]
- [20] Chou B S, Shiau S Y. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*[J]. Aquaculture, 1996, 143(2): 185–195.
- [21] Zhang J S, Isabella B, Zhu A Y, et al. Effects of food concentration and stocking density on fecal pellet generation, egg production and hatching success of cladocopepod *Acartia tonsa*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(1): 62–68. [张建设, Isabella Buttino, 朱爱意, 等. 饵料浓度和成体密度对汤氏纺锤水蚤(*Acartia tonsa*)产粪粒数、产卵和孵化的影响[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(1): 62–68.]
- [22] Ministry of Health Food Hygiene Supervision and Inspection. GB/T 5009.3-2010, Determination of moisture in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010: 25–29. [卫生部食品卫生监督检验所. GB/T 5009.3-2010, 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 25–29.]
- [23] Ministry of Health Food Hygiene Supervision and Inspection. GB/T 5009.5-2010, Determination of Protein in Foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010: 37–41. [卫生部食品卫生监督检验所. GB/T 5009.5-2010, 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 37–41.]
- [24] Ministry of Health Food Hygiene Supervision and Inspection. GB/T 5009.6-2010, Determination of Fat in Foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010: 45–46. [卫生部食品卫生监督检验所. GB/T 5009.6-2010, 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 45–46.]
- [25] Ministry of Health Food Hygiene Supervision and Inspection. GB/T 5009.4-2010, Determination of Ash in Foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010: 1–2. [卫生部食品卫生监督检验所. GB/T 5009.4-2010, 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 1–2.]
- [26] Ministry of Health Food Hygiene Supervision and Inspection. GB/T 5009.8-2008, Determination of Sucrose in Food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 1–5. [卫生部食品卫生监督检验所. GB/T 5009.8-2008, 食品中蔗糖的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1–5.]
- [27] Institute of Nutrition and Food Hygiene, Chinese Academy of Preventive Medicine. GB/T 5009.124-200, Determination of Amino Acids in Food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003: 115–119. [中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. GB/T 5009.124-200, 食品中氨基酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 115–119.]
- [28] Zheng A R, Li W Q. Gas chromatographic analysis of fatty acid in marine bait animal[J]. Journal of Ocean Technology, 2000, 19(2): 31–38. [郑爱榕, 李文权. 海洋饵料动物脂肪酸的气相色谱分析[J]. 海洋技术学报, 2000, 19(2): 31–38.]
- [29] Lawson J W, Magalhães A M, Miller E H. Important prey species of marine vertebrate predators in the northwest Atlantic: proximate composition and energy density[J]. Mar Ecol Prog, 1998, 164(1): 13–20.
- [30] Peng R B, Jiang X M, Yue K X, et al. Nutritive composition and evaluation of five food animals[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(2): 257–264. [彭瑞冰, 蒋霞敏, 乐可鑫, 等. 5种饵料动物的营养成分分析及评价[J]. 水产学报, 2014, 38(2): 257–264.]
- [31] Ma Y Q. Study on nutrition of fish lipids[J]. Feed Industry,

- 2011, 32(14): 63–65. [麻艳群. 鱼类脂类营养的研究[J]. 饲料工业, 2011, 32(14): 63–65.]
- [32] Li A J. Nutrition and Feed Science of Aquatic Animals[M]. Beijing: China Agricultural Publishing Press, 1996. [李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.]
- [33] Twibell R G, Wilson R P. Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture[J]. Aquaculture, 2002, 214(1–4): 419–420.
- [34] Zhou F, Shao Q J. Progresses in nutritional studies of essential amino acids[J]. Feed and Livestock: New Feed, 2010(8): 20–26. [周凡, 邵庆均. 鱼类必需氨基酸营养研究进展[J]. 饲料与畜牧: 新饲料, 2010(8): 20–26.]
- [35] Su Y Q, Xiao J L. Biochemical composition of some marine planktonic crustaceans[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1989(2): 132–139. [苏永全, 肖景霖. 几种海洋浮游甲壳动物的生化组成[J]. 台湾海峡, 1989(2): 132–139.]
- [36] Wang J Q, Li D S, Cao J X. The protein nutritional evaluation of rotifer *Brachionus calyciflorus* and its food[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2003, 27(5): 476–486. [王金秋, 李德尚, 曹吉祥. 5种藻和2种酵母对萼花臂尾轮虫饵料效果的比较研究[J]. 水生生物学报, 2003, 27(5): 476–486.]
- [37] Liu J G. Research outline of amino early stages of acids nutrition physiology at marine fish larvae[J]. Marine Fisheries Research, 2003, 24(1): 75–79. [刘镜恪. 海水仔稚鱼早期阶段氨基酸的营养生理研究进展[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(1): 75–79.]
- [38] Xi X X, Zhang Q F, Deng L, et al. Analysis and evaluation of the nutritional value about *Centropages mcmurricchi*[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2015, 34(1): 28–33. [奚秀秀, 张群飞, 邓吕, 等. 墨氏胸刺水蚤营养价值的评价[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(1): 28–33.]
- [39] Huang X X, Chen M K, Wei W Z. The effect of some plant pulps for cultivating *Artemia*[J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(3): 254–258. [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.]
- [40] Li J. Fish protein and amino acid nutritional needs[J]. Animal Science and Medicine, 2002, 19(2): 46–47. [李瑾. 鱼类蛋白质与氨基酸的营养需要[J]. 动物科学与动物医学, 2002, 19(2): 46–47.]
- [41] Alam M S, Teshima S, Yaniharto D, et al. Dietary amino acid profiles and growth performance in juvenile kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus*[J]. Comp Biochem Phys B, 2002, 133(3): 289–297.
- [42] Lee R F, Hagen W, Kattner G. Lipid storage in marine zooplankton[J]. Mar Ecol Progr, 2006, 307(8): 273–306.
- [43] Liu M T, Li C L, Sun S, et al. Fatty acid composition of *Calanus sinicus* in autumn in Yellow Sea and its implications[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(3): 702–708. [刘梦坛, 李超伦, 孙松, 等. 秋季黄海中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)脂肪酸组成及其指示作用[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(3): 702–708.]
- [44] Lin Y S, Cao W Q, Zheng A R, et al. Fatty acid composition analysis and their nutrient effect evaluation of some pelagic food organisms[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2001, 20(S1): 164–168. [林元烧, 曹文清, 郑爱榕, 等. 几种饵料浮游动物脂肪酸组成分析及营养效果评价[J]. 台湾海峡, 2001, 20(S1): 164–168.]
- [45] Zhang J H, Ren D D, Jiang Y S, et al. Microalgae in aquaculture: a review to nutritional value and rotifers enrichment[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(20): 371–376. [张继红, 任丹丹, 姜玉声, 等. 微藻营养价值及其在水产生物营养强化中的应用[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 371–376.]
- [46] Wu F C, Ting Y Y, Chen H Y. Docosahexaenoic acid is superior to eicosapentaenoic acid as the essential fatty acid for growth of grouper, *Epinephelus malabaricus*[J]. J Nutr, 2002, 132(1): 72–79.
- [47] Zhang H Z. Effects of different ratios of DHA/EPA on the growth and fatty acids of cobia (*Rachycentron canadum*) juvenile[D]. Shantou University, 2007. [张海柱. 不同比例的DHA/EPA对军曹鱼稚鱼的生长和脂肪酸影响[D]. 汕头大学, 2007.]
- [48] Brinkmeyer R L, Holt G J. Highly unsaturated fatty acids in diets for red drum (*Sciaenops ocellatus*) larvae[J]. Aquaculture, 1998, 161(1): 253–268.
- [49] Rodríguez C, Pérez J A, Díaz M, et al. Influence of the, ja: math, ratio in rotifers on gilthead seabream (*Sparus aurata*) larval development[J]. Aquaculture, 1997, 150(1–2): 77–89.

Effect of enrichment of unicellular algae food on the nutritional quality of *Acartia pacifica*

JING Fei¹, ZHU Aiyi¹, LI Bin¹, XIA Lingmin², ZHANG Jianshe¹

1. Marine Science College of Zhejiang Ocean University; National Engineering Research Center of Marine Facilities Aquaculture, Zhoushan 316022, China;

2. Marine Fishery Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316000, China

Abstract: *Acartia pacifica* is the summer dominant species of planktonic copepod in Zhoushan waters. We evaluated the effects of two kinds of unicellular algae food – *Chlorella* sp. and *Phaeodactylum tricornutum* – on the nutritional value of *A. pacifica* using biochemical methods. The aim of this paper was to provide theoretical information to evaluate the nutritional value and large-scale cultivation of *A. pacifica*. The results indicated that the crude protein content (wet weight) of *A. pacifica* after feeding on *P. tricornutum* ($6.51 \pm 0.46\%$) and *Chlorella* sp. ($5.21 \pm 0.98\%$) was significantly higher than that of the control group ($2.44 \pm 0.63\%$) ($P < 0.05$). The lower crude protein content of the control group may have been due to the poorer growth conditions, less food availability, and higher energy consumption under natural conditions. After feeding on *P. tricornutum*, the crude fat content ($0.25 \pm 0.03\%$) (wet weight) increased significantly ($P < 0.05$), but decreased significantly after feeding on *Chlorella* sp. ($0.15 \pm 0.03\%$), most likely as the fatty acid content of *P. tricornutum* is higher than that of *Chlorella* sp.. The content of crude protein and crude fat in *A. pacifica* was lower after feeding on *Chlorella* sp.; therefore, it was possible that *A. pacifica* consumed protein to supplement the energy required for growth due to the inadequate fat content in this food. The changes in content (wet weight) of total sugar and ash were not significant. Nine essential amino acids (EAA) and 8 non-essential amino acids (NEAA) of *A. pacifica* were detected in this study. The content (dry weight) of EAA in *A. pacifica* was ($47.56 \pm 0.04\%$) to ($49.84 \pm 0.07\%$), EAA : NEAA was approximately 5 : 5, higher than that of *Centropages mcmurrici*, which may be beneficial for the growth of this fish. Twenty-one kinds of fatty acids in *A. pacifica* were determined. The content (dry weight) of DHA and EPA in the control group (9.77%) was lower than the group that fed on *P. tricornutum* (28.00%) and *Chlorella* sp. (21.51%), but higher than the group that fed on *Rotifers* (0.8%) and *Artemia* (8.40%). Therefore, the proportion of DHA and EPA in *P. tricornutum* was much higher than in *Rotifers* or *Artemia*, and could better meet the needs of juvenile fish growth. Overall, the results indicated that the nutritional value of *A. pacifica* was higher under artificial cultivation conditions and had potential value for the live food economy.

Key words: *Acartia pacifica*; EAA; fatty acids; nutritive values

Corresponding author: ZHANG Jianshe. E-mail: zhangjianshe@zjou.edu.cn