

5种饵料动物的营养成分分析及评价

彭瑞冰, 蒋霞敏*, 乐可鑫, 高秀芝, 罗江, 唐锋

(宁波大学海洋学院, 浙江宁波 315211)

摘要:对5种饵料动物(卤虫无节幼体、强化后的卤虫幼体、中华哲水蚤、短额刺糠虾、强壮藻钩虾)的营养成分进行了分析,旨在对其营养价值进行评价。采用生化分析手段对5种动物饵料的水分、灰分、粗蛋白质、粗脂肪和氨基酸、脂肪酸进行分析。结果显示:5种动物饵料水分含量为87.83%~92.89%,灰分含量为1.69%~4.12%,粗脂肪含量为0.55%~1.36%,其中卤虫无节幼体含量最高(1.36%湿重);粗蛋白质为4.25%~8.74%,含量以短额刺糠虾最高(8.74%湿重)。均含有20种氨基酸,结构较为合理,必需氨基酸含量丰富,综合氨基酸含量及评价来看,5种饵料动物中营养价值最高是短额刺糠虾,然后依次是卤虫无节幼体、强化后的卤虫幼体、中华哲水蚤、强壮藻钩虾。检测到23种脂肪酸,多不饱和脂肪酸(PUFA)占脂肪酸总量的23.21%~41.03%,中华哲水蚤>短额刺糠虾>强壮藻钩虾>卤虫无节幼体>强化后的卤虫幼体($P<0.05$);其中EPA和DHA,除卤虫无节幼体含量较少(3.96%、0.22%)外,其他4种饵料中含量丰富,其中中华哲水蚤(13.89%、21.88%)和短额刺糠虾(17.79%、15.97%)最为丰富。由此可见,5种饵料动物富含蛋白质、脂肪,均符合作为饵料动物的基本营养需求,其中中华哲水蚤和短额刺糠虾营养价值最佳。

关键词:饵料动物;营养成分;氨基酸;脂肪酸;评价

中图分类号: S 963

文献标志码: A

动物性饵料生物是水产动物苗种繁育过程中主要饵料来源,是取得育苗成功的关键因素之一,如轮虫(rotifer)、枝角类(cladocera)、卤虫(*Anemia*)、桡足类(copepod)、糠虾类(mysis)、端足类(amphipoda)等^[1-5]。这些饵料动物基本能满足水产经济动物的生长需求,广泛应用于其幼体培育,但不同饵料动物常存在营养缺陷,如高度不饱和脂肪酸(HUFA)缺乏,特别是EPA、DHA^[1-4]。所以根据水产动物幼体的需求,通过筛选、定向培养和营养强化,获得符合水产动物幼体发育阶段营养需要的饵料生物具有十分重要的意义^[5-8]。目前关于动物性饵料的营养成分及品质评价,主要集中在卤虫无节幼体、枝角类等,并且分析不全面,而关于藻类强化后卤虫无节幼体、糠虾类、桡足类、端足类鲜有报道^[8-13]。为了更

全面了解强化后卤虫无节幼体、糠虾类、桡足类、端足类的营养价值,筛选出适合水产动物不同阶段的优质饵料生物。本实验对卤虫无节幼体(nauplii of *Anemia*)、强化后的卤虫幼体(enriched *Anemia*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、短额刺糠虾(*Acanthomysis brevirostris*)、强壮藻钩虾(*Ampithoe valida*)的营养成分进行了较全面的分析及评价,以期丰富饵料动物营养价值的信息,为水产经济动物生产性育苗提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用的卤虫卵购于天津丰年水产有限公司,卤虫卵在盐度30,温度27℃,充气孵化24h后,分离出无节幼体。强化后的卤虫幼体是初孵

收稿日期:2013-10-06 修回日期:2013-12-04

资助项目:国家农业成果转化项目(2009GB2C220415);宁波市科技重点项目(2011C11002);浙江省海洋与渔业项目(浙海渔计2013[82]号)

通信作者:蒋霞敏, E-mail:jiangxiamin@nbu.edu.cn

卤虫无节幼体经过小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa*) 和三角褐指藻 (*Phaeodactylum tricornutum*) 强化培养 5~7 d。中华哲水蚤、短额刺糠虾、强壮藻钩虾于 2013 年 5 月捕自浙江省舟山市朱家尖的海水养殖塘。取样后于 -80 °C 下储存备用。

1.2 实验方法

基本营养成分的测定 采用国家标准方法进行基本营养成分分析:水分测定采用 105 °C 烘干恒重法(参照 GB/T 5009.3-2010);粗灰分测定采用链式电阻炉 550 °C 灼烧法(GB/T 5009.4-2010);粗蛋白质测定采用凯氏定氮法(GB/T 5009.5-2010);粗脂肪测定采用索氏抽提法(GB/T 5009.6-2003)。

氨基酸测定 先按 GB/T 15399-1994 氧化酸解法前处理样品,然后按 GB/T 18246-1994 的方法使用 ZORBAX Eclipse AAA 型氨基酸自动分析仪测定胱氨酸含量;采用 GB/T 18246-2000 碱水解法前处理,反相高效液相色谱法测定色氨酸含量;按 GB/T 5009.124-2003 盐酸水解法前处理,使用 ZORBAX Eclipse AAA 型氨基酸自动分析仪测定除半胱氨酸和色氨酸外的其他氨基酸含量。

脂肪酸测定 运用 Bligh-Dyer 法^[14] 提取总脂后,进行皂化、甲酯化,通过 Agilent7890A 气相色谱仪参照 GB10219-88 进行脂肪酸测定,色谱的条件为:DB-WAX 聚乙二醇气相毛细柱(Agilent7890A, 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm, USA),10 μL 自动液体进样器(ALS),进样量为 1 μL,进样口温度 250 °C;采用不分流进样,恒压控温模式,柱头压力 7.685 psi,升温程序:初始温

度 50 °C,保持 2 min,以 10 °C/min 速率升至 250 °C,保持 23 min;检测器为氢火焰离子化检测器(FID),检测温度 300 °C,载气为 N₂,各检验气体流量分别为 H₂ 为 40 mL/min,空气为 450 mL/min,尾吹起 N₂ 为 30 mL/min。

1.3 数据处理

数据分析通过运用 SPSS 18.0 统计分析软件进行相关分析、回归分析、One-Way ANOVA 单因素分析和 Duncan's 多重比较分析,以 $P < 0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结果

2.1 5 种饵料动物基本营养成分及含量

5 种饵料动物的水分含量为 87.83%~92.89%,其中强化后的卤虫幼体(92.89%)含量最高,与卤虫无节幼体、强壮藻钩虾含量相近($P > 0.05$),依次降低的中华哲水蚤、短额刺糠虾之间差异显著($P < 0.05$);粗蛋白质含量为 4.25%~8.74% (fresh),其中短额刺糠虾(8.74%)含量最高,强化后的卤虫幼体(4.25%)含量最低,中华哲水蚤(7.02%)与卤虫无节幼体相近($P > 0.05$),显著高于强壮藻钩虾和强化后的卤虫幼体($P < 0.05$);粗脂肪含量为 0.55%~1.36% (fresh),其中卤虫无节幼体最高(1.36%),与中华哲水蚤含量相近($P > 0.05$),显著高于依次降低强化后的卤虫幼体、短额刺糠虾、强壮藻钩虾($P < 0.05$);灰分含量为 1.69%~4.12% (fresh),其中强化卤虫和其无节幼体含量相近($P > 0.05$),显著低于其它饵料动物($P < 0.05$),强壮藻钩虾含量最高(4.12%)(表 1)。

表 1 5 种饵料动物的基本营养成分含量(湿重)

Tab. 1 General nutrition composition in five kinds of food animals (fresh weight basis) %

项目 items	卤虫无节幼体 nauplii of <i>Anemia</i>	强化后的卤虫幼体 enriched <i>Anemia</i>	中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i>	短额刺糠虾 <i>A. brevistis</i>	强壮藻钩虾 <i>A. valida</i>
水分 moisture	90.64 ± 0.76 ^{ab}	92.89 ± 1.54 ^a	88.67 ± 1.69 ^{bc}	87.83 ± 1.78 ^c	90.52 ± 1.56 ^{abc}
粗蛋白质 crude protein	6.89 ± 0.24 ^b	4.25 ± 0.11 ^d	7.02 ± 0.76 ^b	8.74 ± 0.32 ^a	4.85 ± 0.13 ^c
粗脂肪 crude fat	1.36 ± 0.15 ^a	1.06 ± 0.11 ^b	1.24 ± 0.18 ^a	0.64 ± 0.04 ^c	0.55 ± 0.07 ^d
灰分 ash	1.70 ± 0.09 ^d	1.69 ± 0.04 ^d	2.48 ± 0.05 ^c	2.90 ± 0.02 ^b	3.75 ± 0.57 ^a

注:不同的上标字母代表差异显著($P < 0.05$)。下同

Notes: Different superscript letters mean significant difference ($P < 0.05$). The same as the following

2.2 5 种饵料动物氨基酸组成及含量

实验共检测出 20 种氨基酸,5 种饵料动物的氨基酸含量(TAA)为 477.96~597.85 mg/g,以短额刺糠虾含量最高(597.85 mg/g),中华哲水

蚤(549.89 mg/g)和卤虫无节幼体(539.78 mg/g)次之,强壮藻钩虾含量最低(477.96 mg/g)。必需氨基酸(EAA)含量为 221.66~289.70 mg/g,糠虾含量最高(289.70 mg/g),与依次降低的

中华哲水蚤、卤虫无节幼体、强化后的卤虫幼体、强壮藻钩虾存在显著的差异 ($P < 0.05$), 其中必需氨基酸含量, 均以赖氨酸 (Lys) 的含量最高。色氨酸 (Trp) 含量最低。非必需氨基酸中, 以精氨酸 (Arg) 含量最高。EAA/TAA (%) 为

46.43 ~ 49.15, 卤虫无节幼体比例最高, 相互间相差不大; EAA/NEAA (%) 为 86.67 ~ 96.65。支/芳值 (BCAA/AAA) 为 2.30 ~ 2.66, 卤虫无节幼体值最高, 相互间相差不大 (表 2)。

表 2 5 种饵料动物的氨基酸组成与含量 (干物质)
Tab. 2 Comparison of essential amino acids in five kinds of food animals (dry weight basis) mg/g

氨基酸 amino acid	卤虫无节幼体 nauplii of <i>Anemia</i>	强化后的卤虫幼体 enriched <i>Anemia</i>	中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i>	短额刺糠虾 <i>A. brevistis</i>	强壮藻钩虾 <i>A. valida</i>
赖氨酸 Lys*	67.02 ± 3.21 ^b	60.55 ± 3.08 ^c	67.80 ± 3.17 ^b	73.58 ± 3.08 ^a	54.30 ± 6.05 ^d
甲硫氨酸 Met*	17.20 ± 0.61 ^{bc}	14.85 ± 2.58 ^{cd}	17.68 ± 1.06 ^b	19.63 ± 0.94 ^a	12.35 ± 3.07 ^d
缬氨酸 Val*	49.72 ± 2.08 ^{bc}	47.05 ± 0.63 ^c	50.03 ± 3.02 ^{ab}	52.35 ± 1.25 ^a	40.88 ± 3.05 ^d
苏氨酸 Thr*	29.88 ± 1.87 ^c	32.10 ± 0.32 ^b	37.05 ± 1.59 ^a	37.03 ± 3.01 ^a	26.53 ± 3.03 ^d
异亮氨酸 Ile*	38.15 ± 3.02 ^b	35.88 ± 1.52 ^{bc}	35.90 ± 1.28 ^{bc}	41.55 ± 0.45 ^a	32.53 ± 3.12 ^c
亮氨酸 Leu*	35.68 ± 2.16 ^a	29.65 ± 3.53 ^b	28.85 ± 1.56 ^b	36.10 ± 0.61 ^a	29.58 ± 3.03 ^b
苯丙氨酸 Phe*	27.55 ± 2.48 ^{ab}	26.58 ± 0.45 ^b	27.90 ± 3.04 ^{ab}	28.68 ± 1.63 ^a	25.20 ± 0.31 ^c
色氨酸 Trp*	0.35 ± 0.06 ^{ab}	0.28 ± 0.03 ^b	0.33 ± 0.09 ^{ab}	0.35 ± 0.03 ^a	0.30 ± 0.03 ^{ab}
酪氨酸 Tyr	18.78 ± 1.25 ^b	18.28 ± 2.11 ^b	22.23 ± 0.63 ^a	22.55 ± 0.90 ^a	14.30 ± 1.56 ^c
半胱氨酸 Cys	6.33 ± 0.95 ^{ab}	6.03 ± 0.61 ^{ab}	4.95 ± 1.23 ^{bc}	5.13 ± 0.78 ^b	3.58 ± 0.77 ^c
天冬酰胺 Asn	3.33 ± 0.15 ^c	7.05 ± 0.91 ^b	3.38 ± 0.63 ^c	17.8 ± 2.16 ^a	5.95 ± 0.47 ^b
丝氨酸 Ser	48.08 ± 1.54 ^a	43.93 ± 0.91 ^b	44.20 ± 0.90 ^b	41.33 ± 0.63 ^c	38.08 ± 1.81 ^d
甘氨酸 Gly	30.53 ± 1.23 ^c	36.53 ± 0.96 ^b	40.30 ± 0.91 ^a	40.80 ± 0.49 ^a	37.28 ± 2.02 ^b
谷氨酰胺 Gln	4.15 ± 0.33 ^b	4.35 ± 0.92 ^b	4.68 ± 0.79 ^{ab}	4.78 ± 0.31 ^a	2.95 ± 0.16 ^c
谷氨酸 Glu	9.83 ± 0.61 ^c	13.20 ± 0.61 ^a	11.43 ± 0.32 ^b	10.03 ± 0.47 ^c	11.23 ± 0.61 ^b
天冬氨酸 Asp	25.30 ± 0.61 ^b	27.83 ± 1.52 ^a	21.40 ± 0.46 ^c	25.08 ± 0.61 ^b	24.45 ± 1.13 ^b
组氨酸 His	23.55 ± 0.32 ^a	22.03 ± 0.65 ^b	23.60 ± 0.34 ^a	21.40 ± 0.33 ^b	22.00 ± 0.31 ^c
丙氨酸 Ala	27.45 ± 0.09 ^a	24.93 ± 1.53 ^b	26.52 ± 0.92 ^a	29.27 ± 3.01 ^a	24.32 ± 0.09 ^b
精氨酸 Arg	59.68 ± 3.02 ^c	52.58 ± 0.32 ^d	64.20 ± 1.25 ^b	73.20 ± 3.61 ^a	60.03 ± 0.15 ^c
脯氨酸 Pro	17.35 ± 0.24 ^a	16.55 ± 1.52 ^a	17.33 ± 0.09 ^a	16.53 ± 1.51 ^a	13.63 ± 0.31 ^b
总氨基酸 TAA	539.78 ± 14.93 ^{bc}	520.47 ± 12.32 ^c	549.89 ± 16.78 ^b	597.85 ± 24.21 ^a	477.96 ± 15.31 ^d
必需氨基酸 EAA	265.15 ± 9.21 ^b	246.97 ± 6.31 ^c	265.51 ± 9.42 ^b	289.70 ± 11.09 ^a	221.66 ± 7.83 ^d
必需氨基酸占总氨基酸百分比/% percentage of EAA/TAA	49.15	47.47	48.30	48.44	46.43
必需氨基酸占非必需氨基酸的百分比/% percentage of EAA/NEAA	96.65	90.37	93.43	93.95	86.67
支/芳值 BCAA/AAA value	2.66	2.52	2.30	2.55	2.62

注: “*”表示必需氨基酸

Notes: “*” means essential amino acids

2.3 5 种饵料动物脂肪酸组成及含量

实验共检出 23 种脂肪酸, 包括 8 种饱和脂肪酸 (SFA), 6 种单不饱和脂肪酸 (MUFA) 和 9 种多不饱和脂肪酸 (PUFA)。5 种饵料动物在不同脂肪酸相对百分含量均存在显著差异 ($P < 0.05$)。SFA 含量为 26.41% ~ 35.76%, 强化后的卤虫幼体含量最高 (35.76%), 与中华哲水蚤相近 ($P > 0.05$), 并与依次降低的强壮藻钩虾、短额

刺糠虾、卤虫无节幼体之间差异显著 ($P < 0.05$); MUFA 含量为 17.51% ~ 41.03%, 强化后的卤虫幼体含量最高 (41.03%), 与卤虫无节幼体相近 ($P > 0.05$), 与依次降低的强壮藻钩虾、短额刺糠虾、中华哲水蚤之间差异显著 ($P < 0.05$); PUFA 为 23.21% ~ 47.69%, 中华哲水蚤含量最高 (47.69%), 与短额刺糠虾相差不大 ($P > 0.05$), 并与依次降低的强壮藻钩虾、卤虫无节幼体、强化

后的卤虫幼体之间差异显著 ($P < 0.05$)。C20:5 (n-3) (EPA) 和 C22:6 (n-3) (DHA) 是多不饱和脂肪酸中主要的脂肪酸, EPA 中, 中华哲水蚤、短额刺糠虾和强壮藻钩虾含量均大于 13%, 其中短额刺糠虾最高 (17.79%), 卤虫无节幼体最低 (3.96%); DHA 中, 中华哲水蚤含量最高, 高达 21.88%, 卤虫无节幼体含量很低, 仅为 0.22%。

n-3 (PUFA) 含量以中华哲水蚤和糠虾最高。n-6 (PUFA) 含量以强化后的卤虫幼体含量最高。其中 DHA/EPA 在 0.06 ~ 1.60 之间, 中华哲水蚤最高, 与依次降低的短额刺糠虾、强壮藻钩虾、强化后的卤虫幼体、卤虫无节幼体存在显著差异 ($P < 0.05$) (表 3)。

表 3 5 种饵料动物的脂肪酸组成与含量

脂肪酸 fatty acid	卤虫无节幼体 nauplii of <i>Anemia</i>	强化后的卤虫幼体 enriched <i>Anemia</i>	中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i>	短额刺糠虾 <i>A. brevistostis</i>	强壮藻钩虾 <i>A. valida</i>
C14:0	0.67 ± 0.07 ^d	2.75 ± 0.17 ^b	7.96 ± 0.87 ^a	1.4 ± 0.05 ^c	1.52 ± 0.21 ^c
C15:0	0.16 ± 0.02 ^d	0.54 ± 0.04 ^c	1.30 ± 0.11 ^a	0.62 ± 0.04 ^b	0.45 ± 0.07 ^c
C16:0	13.37 ± 0.78 ^d	16.89 ± 1.12 ^c	19.66 ± 0.23 ^{ab}	20.62 ± 1.21 ^a	19.02 ± 0.44 ^b
C16:1 n-9	3.44 ± 0.32 ^d	9.88 ± 0.68 ^a	8.37 ± 0.82 ^b	4.3 ± 0.12 ^c	4.23 ± 0.30 ^c
C16:2 n-6	0.18 ± 0.01 ^e	0.56 ± 0.03 ^b	0.99 ± 0.06 ^a	0.39 ± 0.02 ^c	0.27 ± 0.02 ^d
C17:0	0.67 ± 0.07 ^c	1.08 ± 0.09 ^a	0.52 ± 0.03 ^d	0.84 ± 0.06 ^b	0.77 ± 0.05 ^{bc}
C18:0	11.18 ± 0.56 ^b	13.92 ± 0.88 ^a	4.56 ± 0.12 ^e	6.14 ± 0.11 ^d	9.17 ± 0.08 ^c
C18:1 n-9	22.88 ± 1.33 ^a	17.3 ± 0.12 ^b	3.87 ± 0.12 ^e	13.78 ± 0.46 ^c	11.86 ± 0.56 ^d
C18:1 n-7	11.2 ± 0.11 ^a	9.87 ± 0.87 ^b	2.39 ± 0.18 ^d	2.18 ± 0.05 ^d	5.57 ± 0.08 ^c
C18:2 n-6	5.98 ± 0.21 ^b	8.41 ± 0.11 ^a	4.18 ± 0.21 ^c	2.91 ± 0.21 ^d	5.89 ± 0.34 ^b
C18:3 n-6	0.79 ± 0.05 ^a	0.38 ± 0.02 ^c	0.48 ± 0.04 ^b	0.25 ± 0.02 ^d	0.39 ± 0.02 ^c
C18:3 n-3	19.94 ± 1.31 ^a	3.33 ± 0.21 ^c	4.32 ± 0.18 ^b	4.39 ± 0.27 ^b	1.05 ± 0.09 ^d
C20:0	0.21 ± 0.02 ^c	0.43 ± 0.01 ^a	0.18 ± 0.02 ^c	0.17 ± 0.03 ^c	0.35 ± 0.01 ^b
C20:1 n-9	0.85 ± 0.05 ^c	1.49 ± 0.11 ^a	0.53 ± 0.18 ^d	1.24 ± 0.09 ^b	1.18 ± 0.18 ^b
C20:2 n-9	0.25 ± 0.02 ^d	0.67 ± 0.03 ^c	0.91 ± 0.05 ^b	0.82 ± 0.05 ^b	1.29 ± 0.12 ^a
C20:4 n-6	0.93 ± 0.08 ^d	1.05 ± 0.02 ^c	0.93 ± 0.07 ^d	2.34 ± 0.11 ^b	3.11 ± 0.21 ^a
C20:3 n-3	0.72 ± 0.04 ^a	0.41 ± 0.02 ^c	0.31 ± 0.02 ^d	0.72 ± 0.08 ^a	0.54 ± 0.04 ^b
C20:5 n-3 (EPA)	3.96 ± 0.32 ^e	7.23 ± 0.80 ^d	13.69 ± 0.12 ^c	17.79 ± 1.15 ^a	15.68 ± 0.16 ^a
C21:0	0	0	0.35 ± 0.03	0	0
C22:0	0.08 ± 0.01 ^c	0	0.15 ± 0.02 ^b	0.15 ± 0.01 ^b	0.24 ± 0.03 ^a
C22:1 n-9	2.06 ± 0.15 ^c	2.25 ± 0.11 ^b	1.20 ± 0.08 ^d	2.49 ± 0.17 ^b	3.05 ± 0.21 ^a
C22:6 n-3 (DHA)	0.22 ± 0.02 ^e	1.17 ± 0.11 ^d	21.88 ± 2.02 ^a	15.97 ± 1.08 ^b	13.63 ± 1.12 ^c
C24:0	0.07 ± 0.01 ^d	0.15 ± 0.01 ^b	0.12 ± 0.02 ^c	0.14 ± 0.01 ^{bc}	0.18 ± 0.02 ^a
C24:1 n-9	0.17 ± 0.01 ^e	0.24 ± 0.02 ^d	1.15 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.03 ^c	0.56 ± 0.05 ^b
SFA	26.41 ± 1.21 ^d	35.76 ± 3.45 ^{ab}	34.80 ± 2.88 ^{ab}	30.08 ± 1.57 ^c	31.7 ± 2.34 ^b
MUFA	40.6 ± 2.23 ^a	41.03 ± 3.02 ^a	17.51 ± 1.34 ^c	24.34 ± 3.03 ^b	26.45 ± 0.98 ^b
PUFA	32.97 ± 2.89 ^c	23.21 ± 3.08 ^d	47.69 ± 1.88 ^a	45.58 ± 1.47 ^a	41.85 ± 2.11 ^b
n-3PUFA	24.84 ± 1.23 ^c	12.14 ± 1.11 ^d	40.20 ± 1.21 ^a	38.87 ± 0.68 ^a	30.90 ± 1.87 ^b
n-6PUFA	7.88 ± 0.45 ^b	10.40 ± 0.98 ^a	6.58 ± 0.44 ^c	5.89 ± 0.53 ^c	9.66 ± 0.34 ^a
DHA/EPA	0.06 ± 0.02 ^d	0.16 ± 0.05 ^c	1.60 ± 0.11 ^a	0.90 ± 0.05 ^b	0.87 ± 0.04 ^b

3 讨论

从基本营养成分的结果看来, 5 种饵料动物基本营养成分之间存在显著的差异, 这可能与其

不同生长阶段有关, 有研究表明卤虫体内的总脂肪含量随着生长而降低, 幼体的营养价值高于成体^[15]; 可能与动物的种类有关, Rand 等^[16]和 Lawson 等^[17]的研究表明了不同饵料种类间的生

化组成和能量含量存在较大的差异;可能与食性不同有关,短额刺糠虾与强壮藻钩虾为杂食性,中华哲水蚤、卤虫为素食性。蛋白质和脂肪是水产动物需求的主要营养物质,两者协同为水产动物生长、发育提供最基础的营养,它们是衡量饵料营养价值的重要指标之一^[17]。本实验的5种饵料动物的粗蛋白质含量都较高,在鲜重基础上粗蛋白质的含量为4.25%~8.74%,其中中华哲水蚤、短额刺糠虾、卤虫无节幼体的含量均高达6.80%以上,具有高蛋白的特点,符合作为水产动物苗种饵料的营养需求,短额刺糠虾粗蛋白质含量最高;粗脂肪在鲜重基础上含量为0.55%~1.36%,不同饵料之间存在较大的差异,卤虫无节幼体、强化后的卤虫幼体含量是短额刺糠虾与强壮藻钩虾2倍左右,这可能是由于初孵卤虫幼体内富含脂类所致,且用富油微藻强化,更能提高卤虫幼体粗脂肪含量,所以强化后卤虫幼体总脂肪含量显著高于短额刺糠虾与强壮藻钩虾;综合粗蛋白和粗脂肪的含量来看,卤虫无节幼体、中华哲水蚤、短额刺糠虾营养较佳。本实验短额刺糠虾来自舟山近海围塘,其粗蛋白含量均比刘承松等^[18]报道南海海域的海棠节糠虾(*Siriella aequiremis* Hasen)、印度囊糠虾(*Gastrosaccus indicus* Hasen)高,比亚卿等^[19]报道室内养殖的日本新糠虾(*Neomysis japonica*)含量低,可见含量随生长的环境变化而变化。而中华哲水蚤粗脂肪含量显著高于林元烧等^[11]报道厦门的太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*),明显低于Støttrup^[20]报道的西太平洋的新哲水蚤(*Neocalanus cristatus*),结果与海水浮游桡足类的脂类含量随纬度增高而增加的观点相一致^[1]。

蛋白质的营养价值主要取决于氨基酸的组成与含量,特别是必需氨基酸,其含量是评价蛋白质质量优劣的主要指标,它们的总含量应不低于饲料中粗蛋白含量的1/3,在水产动物的日粮中,必需氨基酸与非必需氨基酸之间的比例大致是4:6^[21-22]。而5种饵料必需氨基酸含量为221.66~289.70 mg/g,占氨基酸总量的46.43%~49.15%,必需氨基酸与非必需氨基酸之间的比为4.9:5.1~4.6:5.4,可见5种饵料必需氨基酸的含量较丰富,含量比例合理,但必需氨基酸含量在5种饵料之间有一定的差异,其中短额刺糠虾含量最高。有研究表明,鱼类需要10种必需氨基酸,与

哺乳动物相比,鱼虾类更需要精氨酸,其限制性氨基酸通常是精氨酸、蛋氨酸、赖氨酸和苯丙氨酸^[23];5种饵料的精氨酸占蛋白质含量为3.56%~7.03%,而根据已有水产动物对精氨酸的营养生理要求的研究资料表明为3.3%~6.8%^[24-25],所以其基本符合水产动物的需求,其中卤虫、中华哲水蚤和短额刺糠虾营养价值尤为特出。从综合氨基酸含量及评价来看,5种饵料动物中营养价值最高是短额刺糠虾,然后依次是卤虫无节幼体、强化后的卤虫幼体、中华哲水蚤、强壮藻钩虾。5种饵料的EAA/TAA与苏永全等^[9]报道刺尾纺锤水蚤(*Acartia spinicauda*)、瘦尾刺胸水蚤(*Centropages tenuiremis*)、中华假磷虾(*Pseudeuphausia sinica*)、浮游囊糠虾(*Gastrosaccus pelagicus*)的EAA/TAA(47.70%~52.60%)相近,但比王金秋等^[26]报道萼花臂尾轮虫(*Brachionus calysiflorus*)的EAA/TAA(45.8%)显著高,表明了它们具有较高的营养价值。从表4可以看出,饵料动物氨基酸组成及含量不但随种类而异,而且随栖息地、饵料不同而不同,中华哲水蚤是草食性,刺尾纺锤水蚤^[9]为杂食性,精致真刺水蚤(*Euchaeta concinna*)^[27]为肉食性。

脂肪酸对于海洋生物的能量储存、激素调节、个体发育(特别是幼体阶段的发育)具有重要作用^[28]。然而动物体内只能合成SFA和MUFA,不能合成PUFA,如亚油酸(C18:2)、亚麻酸(C18:3)、DHA、EPA等^[29]。所以很多水产经济动物的幼体通过摄取含高度PUFA的饵料,来补充体内对PUFA的需要,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^[11]。5种饵料的PUFA含量丰富,相对含量在23.21%~47.69%,其中强化后的卤虫幼体和卤虫无节幼体含量相对较低,中华哲水蚤和短额刺糠虾相对较高,达到45%以上,这与刘梦坛等^[29]报道黄海中华哲水蚤PUFA含量46.22%相近,卤虫无节幼体与曾庆华等^[10]报道的6个产地卤虫无节幼体的PUFA含量相近。(n-3)PUFA的含量在5种饵料之间相差较大,中华哲水蚤、短额刺糠虾含量较为丰富,是卤虫无节幼体和强化后的卤虫幼体的2~3倍。(n-6)PUFA的含量,强化后的卤虫幼体含量远远大于其他饵料动物,可见经过藻类的强化有利于卤虫幼体的n-6(PUFA)的含量升高,提高了营养价值。C20:5(n-3)(EPA)和C22:6(n-3)(DHA)是两种最重要的脂肪酸,是组

成磷脂、胆固醇酯的重要脂肪酸,有调节水产动物体内脂质代谢,促进生长发育,降低胆固醇和增加高密度脂蛋白的作用^[30]。其含量是衡量饵料脂肪酸营养价值重要标志之一,EPA、DHA对水产动物的幼体阶段尤为重要,当它们缺乏时会导致水产动物幼体死亡率增高^[30]。5种饵料的EPA和DHA含量相差很大,表现出因种而异,如短额刺糠虾、中华哲水蚤、强壮藻钩虾EPA含量高达13.50%以上,而卤虫无节幼体仅为3.96%;DHA含量范围为0.22%~21.88%,卤虫无节幼体

DHA含量几乎为零;所以在育苗过程中长期单一投喂卤虫无节幼体,会影响水产动物的生长。经过富含DHA和EPA藻类强化后的卤虫幼体,EPA与DHA含量有了显著提高,有利于提高卤虫的营养价值。除桡足类的中华哲水蚤以外,其他均是EPA>DHA,可见桡足类相对其它动物饵料种类DHA含量更为丰富。从综合氨基酸含量及评价来看,5种饵料动物中营养价值最高是短额刺糠虾,然后依次是卤虫无节幼体、强化后的卤虫幼体、中华哲水蚤、强壮藻钩虾。

表4 不同采集区不同种类桡足类的氨基酸组成与含量

Tab.4 Comparison of essential amino acids in different copepods from different waters mg/g

氨基酸 amino acid	中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i> (舟山)	中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i> (珠江口) ^[27]	中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i> (厦门) ^[9]	刺尾纺锤水蚤 <i>A. spinicauda</i> (厦门) ^[9]	精致真刺水蚤 <i>E. concinna</i> (南海海域) ^[27]
赖氨酸 Lys*	57.8	50.5	46.5	34.5	38.0
甲硫氨酸 Met*	17.7	14.5	7.8	8.9	6.2
缬氨酸 Val*	40.0	45.4	28.9	30.7	36.0
苏氨酸 Thr*	37.1	30.7	20.8	22.4	24.2
异亮氨酸 Ile*	35.9	36.3	23.2	21.5	27.5
亮氨酸 Leu*	48.9	57.8	41.3	39.5	44.4
苯丙氨酸 Phe*	27.9	35.3	26.3	24.1	26.0
色氨酸 Trp*	0.3	—	—	0.6	—
酪氨酸 Tyr	22.2	43.9	30.5	34.2	31.1
胱氨酸 Cys	4.9	6.1	3.7	5.7	3.8
天冬酰胺 Asn	3.3	—	—	—	—
丝氨酸 Ser	44.2	21.9	9.9	12.8	16.6
甘氨酸 Gly	40.3	47.7	23.0	29.6	35.1
谷氨酰胺 Gln	4.6	—	—	—	—
谷氨酸 Glu	11.4	93.5	60.7	61.1	69.8
天冬氨酸 Asp	21.4	72.2	52.3	46.1	53.7
组氨酸 His	23.6	17.5	9.5	8.8	17.6
丙氨酸 Ala	26.5	51.7	36.2	43.2	39.4
精氨酸 Arg	64.2	40.1	36.5	39.3	30.9
脯氨酸 Pro	17.3	28.7	23.7	23.5	23.1
总氨基酸 TAA	549.9	693.7	483.5	490.6	522.7

4 结论

5种饵料动物富含蛋白质、脂肪,均符合水产动物幼体的基本营养需求;检测出的20种氨基酸中,结构较为合理,必需氨基酸丰富;检测到23种脂肪酸,富含不饱和脂肪酸,但卤虫无节幼体的EPA及DHA含量较少,经过藻类强化其含量有所增加,而短额刺糠虾、中华哲水蚤和强壮藻钩虾中的EPA和DHA含量丰富。

参考文献:

- [1] Cheng Y X. Culture of living feeds [M] (2nd ed). Beijing: China Agriculture Press, 2005: 1-15. [成永旭. 生物饵料培养学. 2版. 北京: 农业出版社, 2005: 1-15.]
- [2] Xiao G H, Gong C G, Li M T, et al. Application of cladocerans and copepods in the aquaculture of larval mitten crab [J]. Reservoir Fisheries, 2004, 4(1): 35. [肖国华, 宫春光, 李孟田, 等. 枝角类和桡足类在

- 河蟹育苗中的应用试验. 水利渔业, 2004, 4 (1):35.]
- [3] Duan B, Xiang X, Zhou X H, *et al.* The optimal lipid content of feed for *Schizothorax prenanti* [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2007, 19 (3): 232 - 236. [段彪, 向泉, 周兴华, 等. 齐口裂腹鱼饲料中适宜脂肪需要量的研究. 动物营养学报, 2007, 19 (3): 232 - 236.]
- [4] Rodruéz 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.
- [5] Li Z, Jiang X M, Wang C L, *et al.* Effects of diets on growth, survival and nutrient composition of cuttlefish *Sepiella maindroni* [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2007, 22 (6): 436 - 441. [李正, 蒋霞敏, 王春琳. 饵料对曼氏无针乌贼幼体生长、成活率及营养成分的影响. 大连水产学院学报, 2007, 22 (6): 436 - 441.]
- [6] Wang C F, Xie S Q. Advances in nutrition and feed for postlarvae and juveniles [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 28 (5): 557 - 562. [王春芳, 解绶启. 稚幼鱼的营养与饲料研究进展. 水生生物学报, 28 (5): 557 - 562.]
- [7] Qian X Q, Cui Y B, Xie S Q, *et al.* A review on dietary protein requirement for aquaculture fishes [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26 (4): 410 - 416. [钱雪桥, 崔奕波, 解绶启, 等. 养殖鱼类饲料蛋白需要量的研究进展. 水生生物学报, 2002, 26 (4): 410 - 416.]
- [8] Guevara M, Lodeiros C, Donato M D, *et al.* Nutritional quality of *Metamysidopsis insularis* Brattegard (Crustacea; Mysidacea) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11 (5): 315 - 319.
- [9] Su Y Q, Xiao J L. Biochemical composition of some marine planktonic crustaceans [J]. *Journal of Oceanography In Taiwan Strait*, 1989, 8 (2): 132 - 139. [苏永全, 肖景霖. 几种海洋浮游甲壳动物的生化组成. 台湾海峡, 1989, 8 (2): 132 - 139.]
- [10] Zeng Q H, Zhou H Q, Huang X X, *et al.* Nutritional value of new hatched *Artemia na uplii* of six geographic strains in China [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2001, 10 (3): 213 - 217. [曾庆华, 周洪琪, 黄旭雄, 等. 我国六个产地卤虫初孵无节幼体的营养价值. 上海水产大学学报, 2001, 10 (3): 213 - 217.]
- [11] 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 (Z1): 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. 台湾海峡, 2001, 20 (增刊 1): 164 - 168.]
- [12] Wu X G, Yu Z Y, Cheng Y X, *et al.* Effect of four groups of live feeds on larval development, growth (from Z4 to Megalopa) and fatty acid composition of *Eriocheir sinensis* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14 (6): 911 - 918. [吴旭干, 于智勇, 成永旭, 等. 4组生物饵料对中华绒螯蟹 Z₄到大眼幼体生长发育和脂肪酸组成的影响. 中国水产科学, 2007, 14 (6): 911 - 918.]
- [13] Zhu D Q, Wu X G, Pan Y J, *et al.* A comparative study of lipid content and fatty acid composition in live foods from fertilized pond and *Artemia* sp. [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2007, 16 (5): 448 - 453. [朱地琴, 吴旭干, 潘迎捷, 等. 土池肥水培育的生物饵料与卤虫无节幼体的脂类及脂肪酸组成的比较研究. 上海水产大学学报, 2007, 16 (5): 448 - 453.]
- [14] Bligh E G, Dyer W J. A rapid method of total lipid extraction and purification [J]. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 1957, 37 (8): 911 - 917.
- [15] Peng R B, Jiang X M, Lu K, *et al.* Effects of the different on growth, total lipid and fatty acids composition of *Artemia* [J]. *Journal of Biology*, 2013 (5): 68 - 72. [彭瑞冰, 蒋霞敏, 鲁凯, 等. 不同饵料对卤虫生长、总脂含量及脂肪酸组成的影响. 生物学杂志, 2013, 30 (5): 68 - 72.]
- [16] Rand P S, Lantry B F, O' Gorman R, *et al.* Energy density and size of pelagic prey fishes in Lake Ontario, 1978 - 1990: Implications for salmonine energetics [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1994, 123 (4): 519 - 534.
- [17] Lawson J W, Magalhaes A M, Miller E H. Important prey species of marine vertebrate predators in the northwest Atlantic Proximate composition and energy density [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, 164 (4): 13 - 20.
- [18] Liu C S, Chen Q C, Wu Y H. Biochemical analyses of some marine zooplankton [J]. *Tropic Oceanology*, 1982, 1 (2): 170 - 173. [刘承松, 陈清潮, 吴云华. 几种海洋浮游动物生化成份的分析. 热带海洋, 1982, 1 (2): 170 - 173.]
- [19] Dou Y Q, Yang Z Z, Wu X G, *et al.* Effects of Cu²⁺

- and Zn^{2+} on growth and activity of phosphatase of *Neomysis japonica* Nakazawa [J]. *Marine Environmental Science*, 2009, 28(6): 611 - 615. [窦亚卿, 杨筱珍, 吴旭干, 等. Cu^{2+} 和 Zn^{2+} 对日本新糠虾生长、蛋白含量和体内磷酸酶活性的影响. *海洋环境科学*, 2009, 28(6): 611 - 615.]
- [20] Støttrup J G. The elusive copepods: Their production and suitability in marine aquaculture [J]. *Aquaculture Research*, 2000, 31(8-9): 703 - 711.
- [21] Wang D Z. Feed for fish [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1993: 30 - 49. [王道尊. 鱼用配合饲料 [M]. 北京: 农业出版社, 1993: 30 - 49.]
- [22] Liu J K. Research outline of amino acids nutrition physiology at early stages of marine fish larvae [J]. *Marine Fisheries Research*, 2003, 24(1): 75 - 79. [刘镜格. 海水仔稚鱼早期阶段氨基酸的营养生理研究进展. *海洋水产研究*, 2003, 24(1): 75 - 79.]
- [23] Alam M S, Shin-ichi T, Ddy Y, *et al.* Dietary amino acid profiles and growth performance in invenile kuruma prawn *Marsupenaeus japonicus* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2002, 133(3): 289 - 297.
- [24] Li J. Nutrient requirements of fish protein and amino acid [J]. *Animal Science & Veterinary Medicine*, 2002, 19(2): 46 - 47. [李瑾. 鱼类蛋白质与氨基酸的营养需要. *动物科学与动物医学*, 2002, 19(2): 46 - 47.]
- [25] Li A J. Aquatic animal nutrition and feed science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 20 - 23. [李爱杰. 水产动物营养与饲料科学. 北京: 农业出版社, 1997: 20 - 23.]
- [26] Wang J Q, Li D S, Cao J X. The protein nutritional evaluation of rotifer *Brachionus calyciflorus* and its foods [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. *水生生物学报*, 2003, 27(5): 476 - 486.]
- [27] Tan Y H, Huang L M, Yin J Q, *et al.* Effects of phytoplankton and light on amino acids in copepods [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2004, 23(5): 42 - 49. [谭烨辉, 黄良民, 尹健强, 等. 海洋桡足类氨基酸组成及与饵料和光照的关系. *热带海洋学报*, 2004, 23(5): 42 - 49.]
- [28] Lee R F, Hagen W, Kattner G. Lipid storage in marine zooplankton [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 307(1): 273 - 306.
- [29] 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): 703 - 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. *海洋与湖沼*, 2013, 44(3): 703 - 708.]
- [30] Liu J K, Chen X L, Zhou L, *et al.* Studies on the optimum proportion of DHA and EPA in microdiets for red seabream (*Pagrus major*) larvae [J]. *Marine Sciences*, 2004, 28(2): 18 - 20. [刘镜格, 陈晓琳, 周利, 等. 真鲷仔稚鱼微粒饲料中 DHA 与 EPA 最佳比例的研究. *海洋科学*, 2004, 28(2): 18 - 20.]

Nutritive composition and evaluation of five food animals

PENG Ruibing, JIANG Xiamin*, LE Kexin, GAO Xiuzhi, LUO Jiang, TANG Feng

(College of Ocean, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In order to get an evaluation of the nutritive values of five food animals, the nutrient composition was investigated for nauplii of *Anemia*, enriched *Anemia*, *Calanus sinicus*, *Acanthomysis brevirostis* and *Ampithoe valida*. The contents of moisture, ash, crude protein, crude fat, amino acids and fatty acids in those food animals were determined by adopting national standard method. The results showed as follows: the contents of moisture, ash, crude fat and crude protein in five food animals were 87.83% to 92.89%, 1.69% to 4.12% (fresh), 0.55% to 1.36% (fresh) and 4.25% to 8.74% (fresh) respectively. The highest contents of crude fat in nauplii of *Anemia*, and the highest crude protein content in *A. brevirostis* were observed in this study. Each food animal contained 20 amino acids, reasonable structure and rich in essential amino acids, which had a decreasing tendency in five food animals of amino acid contents and evaluation as *A. brevirostis* > nauplii of *Anemia* > enriched *Anemia* > *C. sinicus* > *A. valida*. All the food animals contained 23 fatty acids, and polyunsaturated fatty acid (PUFA) content was 23.21% to 41.03%, which had a decreasing tendency in five food animals as *C. sinicus* > *A. brevirostis* > *A. valida* > nauplii of *Anemia* > enriched *Anemia*, ($P > 0.05$). EPA and DHA were rarely detected in nauplii of *Anemia*, but *C. sinicus*, *A. valida* and *A. brevirostis* rich in EPA and DHA. In conclusion, the five food animals are rich in protein and fat, all meet the basic nutritional needs of animal feed, especially *C. sinicus* and *A. brevirostis*.

Key words: food animals; nutrient composition; amino acid; fatty acid; evaluation

Corresponding author: JIANG Xiamin. E-mail: jiangxiamin@nbu.edu.cn