

配合饲料投喂条件下日本新糠虾雌雄成体的营养成分比较

吴旭干^① 李嘉尧^① 侯文杰^② 潘桂平^② 成永旭^{①③*}

① 上海海洋大学 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室 上海 201306; ② 上海市水产研究所及上海市水产技术推广站 上海 200433; ③ 上海海洋大学 上海高校知识服务平台水产动物遗传育种中心 上海 201306

摘要: 为比较配合饲料投喂条件下日本新糠虾 (*Neomysis japonica*) 雌雄成体的营养组成差异, 本研究采用养殖实验和生化分析方法, 测定和比较了日本新糠虾雌雄成体的常规营养成分、脂类、脂肪酸和氨基酸含量, 进一步探讨了日本新糠虾雌雄成体对配合饲料中多不饱和脂肪酸和必需氨基酸的相对保留率。结果显示: (1) 饲料中的粗蛋白和粗脂肪分别为 40.48% 和 9.82%, 高度不饱和脂肪酸 (HUFA) 含量和二十二碳六烯酸/二十碳五烯酸 (DHA/EPA) 的比值分别为 27% 和 1.34, 总氨基酸 (TAA) 和 10 种必需氨基酸 (EAA) 含量分别为 38.80% 和 16.32%。(2) 雄、雌成体的水分含量均在 88% 左右, 雌体的粗蛋白、粗脂肪和甘油三酯含量均显著高于雄体, 雄体的磷脂含量显著高于雌体。(3) 除肉豆蔻酸和棕榈油酸 (14:0 和 16:1n-7) 外, 雌雄成体的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸组成接近, 雄体的花生四烯酸 (ARA)、二十碳五烯酸 (EPA)、二十二碳六烯酸 (DHA)、总高不饱和脂肪酸 (Σ HUFA) 以及 DHA/EPA 的比值显著高于雌体, 雌体的亚油酸 (LOA)、亚麻酸 (LNA) 和亚麻油酸 (18:4n-3) 含量高于雄体; 雌体的异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、精氨酸、半胱氨酸、天冬氨酸、丝氨酸和谷氨酸含量显著高于雄体, 雄体牛磺酸的含量显著高于雌体, 雌体的必需氨基酸和所有氨基酸总量显著高于雄体。(4) 雌体的亚油酸和亚麻酸的相对保留率高于雄体, 而雄体的花生四烯酸、二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸相对保留率高于雌体; 雌雄成体对各种必需氨基酸的相对保留率接近。综上, 日本新糠虾雌雄成体在粗蛋白、粗脂肪、甘油三酯、磷脂、部分脂肪酸和氨基酸含量及重要脂肪酸相对保留率上差异显著, 这暗示雌雄成体的营养需求有所不同。

关键词: 日本新糠虾; 成体; 营养组成; 性别差异; 配合饲料

中图分类号: Q956 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2015) 03-426-11

The Comparison of Nutritional Composition between Males and Females of Adult Mysis *Neomysis japonica* under the Feeding Formulated Diets

基金项目 上海市科学技术委员会科研项目 (No. 13231203504), 上海市科技兴农重点攻关项目[农科攻字 (2013) 第 6-3 号], 国家 863 高技术研究发展计划项目 (No. 2012AA10A409);

* 通讯作者, E-mail: yxcheng@shou.edu.cn;

第一作者介绍 吴旭干, 男, 副教授; 研究方向: 水生动物营养繁殖学与生理学; E-mail: xgwu@shou.edu.cn.

收稿日期: 2014-10-11, 修回日期: 2015-01-17 DOI: 10.13859/j.cjz.201503013

WU Xu-Gan^① LI Jia-Yao^① HOU Wen-Jie^② PAN Gui-Ping^② CHENG Yong-Xu^{①③*}

① Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306; ② Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai Fisheries Technical Extension Station, Shanghai 200433; ③ Aquatic Animal Breeding Center of Shanghai University Knowledge Service Platform, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Since the nutritional composition of adult *Neomysis japonica* could provide important information for evaluating its nutritional value and understanding the nutritional requirement of bloodstock, this study was therefore designed to investigate the proximate composition, lipid classes, fatty acid and amino acid composition in the adult males, females of mysis *N. japonica*, as well as their diets. Furthermore, the relative retention ratios (animal tissue contents/dietary contents) were further analyzed on the poly-unsaturated fatty acids (PUFA) and essential amino acids (EAA) for both males and females. Independent T-test was used to examine the differences between males and females, while $P < 0.05$ was regarded as the statistically significant differences. The results showed that, (1) the crude protein and crude lipid of the formulated diet were 40.48% and 9.82% respectively, while the content of high unsaturated fatty acid (HUFA) and docosahexaenoic acid / eicosapentaenoic acid (DHA/EPA) ratio were 27% and 1.34, respectively (Table 1). The contents of total amino acids (TAA) and ten essential amino acids (EAA) were 38.80% and 16.32% respectively (Table 1). (2) The moisture content was around 88% for both males and females, and no gender difference was found between them (Table 2). However, the adult females had the significantly higher contents of crude protein, crude lipid and triglyceride than the adult males, while the males had the higher phospholipid levels than the females (Table 2). (3) Except for 14:0 and 16:1n-7, the adult males and females had the similar compositions for the saturated fatty acids (SFA) and monounsaturated fatty acids (MUFA) (Table 3). Among the PUFAs, the higher arachidonic acid (ARA), EPA, DHA, Σ HUFA levels and the DHA/EPA ratio were observed in adult males, while the higher linoleic acid (LOA), α -linolenic acid (LNA) and 18:4n-3 levels were found in females (Table 3). As for the amino acids, the females had the higher contents of EAA, TAA, isoleucine, leucine, phenylalanine, threonine, arginine, cysteine, aspartic acid, serine and glutamate than the males, while the adult males had the significantly higher taurine levels than the females (Table 3). (4) The adult females had the higher relative retention ratios of LOA and LNA and the lower relative retention ratios of ARA, EPA and DHA than the adult males, but the relative retention ratios of EAA were close between the adult males and the females (Table 4). In conclusion, adult *N. japonica* had the gender differences on the levels of crude protein, crude lipids, triglyceride, phospholipids, some fatty acids, some amino acids and the relative retention ratios of some fatty acids, which may indicated adult females and males had the different nutritional requirements.

Key words: *Neomysis japonica*; Adult; Nutritional composition; Gender difference; Formulated diets

糠虾类是海洋和河口区水生生态系统的重要组成部分, 目前全世界已发现的糠虾有 800 多种, 中国已发现 112 种(刘瑞玉等 2000)。糠虾属于杂食性, 既可摄食单胞藻类和有机碎

屑, 也可摄食轮虫、桡足类、枝角类和箭虫等动物性饵料, 同时糠虾也是自然海区中许多鱼虾的天然饵料, 在海洋和河口区生物链中起着非常重要的作用(郑严 1982, 1984)。日本新

糠虾 (*Neomysis japonica*) 广泛分布于我国沿海, 在江浙沪沿海地区的低盐水域中天然资源量较大, 不仅是一种重要天然活饵料 (吴旭干等 2007, 王韩信等 2012), 且可制成虾皮和虾酱等供人类食用 (刘瑞玉等 2000, 杨丽娜等 2007)。由于日本新糠虾具有对盐度和温度适应性强、繁殖快、易培育和适口性好等优点, 已成为海水育苗中定向培养的一种重要生物饵料 (成永旭 2005, 朱地琴等 2007)。

目前, 开放性土池培养糠虾主要依靠肥水后的饵料生物, 在这种培育条件下糠虾的饵料组成复杂, 可控性差, 因此糠虾的产量和质量不够稳定 (陈金佳 2003, 朱地琴等 2007)。在室内养殖条件下, 通常采用单胞藻、轮虫或卤虫幼体培育日本新糠虾 (杨丽娜等 2007, 窦亚卿等 2009), 培养成本较高, 已成为制约其规模化培养的主要因素之一。本实验室先前的研究结果显示, 日本新糠虾仅摄食配合饲料可以正常生长和繁殖 (Yang et al. 2010), 这对于降低糠虾规模化培育成本和营养调控具有积极作用。开发日本新糠虾专用的配合饲料, 首先需要了解其营养需求, 由于日本新糠虾培养过程中主要依赖活饵料, 故迄今为止尚未见有关日本新糠虾营养需求的报道。大量的研究结果表明, 甲壳动物雌雄亲本的营养需求可能有所不同, 通过分析雌雄亲本的生化组成, 可在一定程度上了解其亲本营养需求 (Wu et al. 2007)。鉴于此, 本研究采用对虾配合饲料投喂日本新糠虾幼体至性成熟, 测定和比较了成体日本新糠虾雄体与雌体的营养组成, 并对多不饱和脂肪酸和必需氨基酸的相对保留率进行了评价, 以期日本新糠虾的合理利用和营养价值评价提供基础资料, 同时也可为其配合饲料开发提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 糠虾养殖和采样

实验用日本新糠虾种群采自上海崇明北支滩涂的半咸水池塘, 在本实验室连续保种多年,

实验前挑选体长为 (3.52 ± 0.29) mm 的幼虾若干用于本实验。糠虾养殖系统为室内循环水养殖系统, 水族箱的水体体积为 100 L (长 \times 宽 \times 高 = 65 cm \times 45 cm \times 45 cm), 设 3 个重复水族箱, 每箱放入 1 000 只幼虾 (平均 10 只/L), 实验期间水体盐度和温度分别为 15 和 25.0℃ 左右, 光照周期 (光照: 黑暗) 为 12 h: 12 h, 24 h 增氧。根据 Yang 等 (2010) 的研究结果, 日本新糠虾摄食对虾配合饲料可以正常生长和繁殖, 因此实验期间投喂凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 1# 破碎饲料, 粒径为 0.3 ~ 0.5 mm, 南通巴大饲料有限公司生产, 饲料营养成分见表 1。实验期间每日早晚各投喂 1 次, 投喂量约占虾体重的 5% ~ 8%, 每日 8:00 时清除残饵和粪便。养殖 30 d 时发现部分日本新糠虾雌体孵育囊开始膨大, 显微镜下可观察到孵育囊中的胚胎, 养殖 40 d 时发现水族箱中有少量糠虾初孵幼体, 这说明糠虾已经完全性成熟, 因此养殖 40 d 时采集成体糠虾雄体和雌体样品。由于成体雄虾具有交接器, 且第 4 腹肢的外肢延长至第 6 腹节末端; 成体雌虾腹部具有膨大的孵育囊, 且孵育囊均具有胚胎, 据此区分成体性别和是否为成体 (王金峰等 2010)。所有采集的样品吸干体表水分于 -20℃ 冰箱中保存用于后续生化分析。

1.2 生化成分测定

1.2.1 常规营养成分测定 按照 AOAC(1995) 的标准方法测定水分 (105℃ 下烘干至恒重)、粗蛋白 (凯氏定氮法) 含量; 按 Folch 法采用氯仿和甲醇混合液 (体积比 2:1) 提取粗脂肪并测定其含量 (Folch et al. 1957); 采用苯酚-硫酸法测定碳水化合物含量, 标样为葡萄糖 (Kochert 1978)。

1.2.2 脂类和脂肪酸组成分析 根据 Wu 等 (2010) 的方法用 IAROSCANTM MK-6s 棒状薄层色谱扫描仪 (IATRON LABORATORIES INC., Tokyo, Japan) 进行脂类组成分析。磷脂 (phospholipids, PL)、胆固醇 (cholesterol, CHO)、甘油三酰 (triacylglycerol, TG)、游离

脂肪酸 (free fatty acids, FFA)、甘油一酰 (monoacylglycerol, MG) 和胆固醇酯 (cholesterolesters, CE) 的标准品均购自 Sigma 公司, 用氯仿稀释后在同样的参数条件下进行层析, 以此作为脂类成分定性的依据, 脂类成分的定量采用面积百分比法。采用 14% 的三氟化硼-甲醇溶液对总脂进行甲脂化处理 (Morrison et al. 1964), 旋转蒸发到所需浓度进行脂肪酸分析。所用仪器为 Agilent6890 气相色谱仪, 毛细管柱型号为 Omegawax320 (30.0 m × 0.32 mm, USA), 进样口和氢火焰检测器的温度均为 260℃, 起始柱温为 60℃, 逐步程序升温到 260℃直到所有脂肪酸全部出峰。氢气的流速为 30 ml/min; 空气流速为 300 ml/min, 补偿气体氮气的流速为 25 ml/min, 分流比为 1:50; 压力为 60 kPa。脂肪酸含量的计算采用面积百分比法。

1.2.3 氨基酸分析 总氨基酸按照 Chen 等 (2007) 的方法进行测定。取冻干后的样品 0.1 g 左右, 采用 6 mol/L 盐酸, 在 110℃ 条件下水解 24 h, 水解产物用蒸馏水稀释并定容到 50 ml, 离心后取上清液过滤。取 1 ml 过滤后的上清液在 50℃ 条件下蒸干, 以去除盐酸, 必要时重复 2 次, 再加 2~5 ml 0.02 mol/L 盐酸溶解, 取 1 μl 溶解液用于氨基酸分析, 所用仪器为德国赛卡姆公司 S-433D 氨基酸自动分析仪。色氨酸测定采用 10% 的氢氧化钾水解, 对二甲氨基苯甲醛显色, 590 nm 测定其吸光度 (Matheson 1974)。甲硫氨酸和半胱氨酸测定采用过甲酸氧化水解法 (Spindler et al. 1984)。

1.3 数据处理

所有数据采用平均值 ± 标准差表示。采用 SPSS 17.0 软件对实验数据进行统计分析, 用 Levene 法进行方差齐性检验, 当不满足齐性方差时对百分比数据进行反正弦或平方根处理。采用相对保留率 (relative retention ratio) 来评价糠虾对饲料中重要脂肪酸和氨基酸的保留和沉积情况, 相对保留率 = 100 × 动物组织中脂肪酸(氨基酸)百分含量/饲料中对应脂肪酸(氨

基酸)百分含量, 具体计算方法参考 Ganga 等 (2005) 和赵亚婷等 (2013)。采用 independent T-test 比较雄体和雌体各营养成分含量是否存在显著差异, 取 $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 实验饲料的营养组成

实验饲料常规营养成分见表 1, 主要为粗蛋白和总糖, 分别占饲料湿重的 40.48% 和 32.87%, 粗脂肪仅占 9.82%, 饲料中水分含量较低, 仅为 6.55%。饲料中的主要脂肪酸为棕榈酸 (palmitic acid, 16:0)、棕榈油酸 (palmitoleic acid, 16:1n-7)、油酸 (oleic acid, 18:1n-9)、花生烯酸 (cis-11-Eicosenoic acid, 20:1n)、二十碳五烯酸 (eicosapentamethic acid, EPA, 20:5n-3) 和二十二碳六烯酸 (docosahexaenoic acid, DHA, 22:6n-3), 其含量均超过 5%, 这 6 种脂肪酸总量占总脂肪酸的 63%, 就多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, PUFA) 而言, EPA 和 DHA 含量均超过 10%, DHA/EPA 比值为 1.34, 饲料中的亚油酸 (linoleic acid, LOA, 18:2n-6) 和亚麻酸 (α -Linolenic acid, LNA, 18:3n-3) 含量分别为 2.09% 和 2.38%, 花生四烯酸 (arachidonic acid, ARA, 20:4n-6) 的含量仅为 1.02%, 整体上多不饱和脂肪酸和高度不饱和脂肪酸 (high unsaturated fatty acid, HUFA) 含量分别为 31% 和 27% 左右。实验饲料中检测出 19 种氨基酸, 总氨基酸含量占饲料干重的 38.80%。其中 10 种必需氨基酸 (essential amino acid, EAA) 含量占 16.32%, 含量超过 2% 的 EAA 为异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸和精氨酸, 含量最低的必需氨基酸为色氨酸, 含量仅为 0.53%; 饲料中非必需氨基酸为 9 种, 含量低于 2% 的为丝氨酸、牛磺酸、酪氨酸这 3 种, 含量最高的谷氨酸, 含量高达 5.80%。

2.2 雄体和雌体常规营养成分及脂类组成的比较

成体日本新糠虾雄体和雌体的常规营养成

表 1 日本新糠虾饲料的营养组成

Table 1 Nutritional composition of experimental diets for mysis *Neomysis japonica*

常规营养成分 Proximate composition	含量 (湿重) Content (Wet weight)	脂肪酸 Fatty acids	含量 (%) Content
水分 Moisture	6.55 ± 0.41	14:0	4.38 ± 0.06
粗蛋白 Crude protein	40.48 ± 1.70	15:0	0.43 ± 0.03
粗脂肪 Crude lipid	9.82 ± 0.36	16:0	16.19 ± 0.11
总糖 Total carbohydrate	32.87 ± 0.76	18:0	3.55 ± 0.34
氨基酸 Amino acids	含量 (干重) Content (Dry weight)	20:0	1.09 ± 0.09
异亮氨酸 Isoleucine	2.07 ± 0.08	∑SFA	25.73 ± 0.56
亮氨酸 Leucine	2.99 ± 0.04	14:1n-7	0.24 ± 0.03
赖氨酸 Lysine	2.92 ± 0.03	16:1n-7	5.97 ± 0.30
蛋氨酸 Methionine	0.98 ± 0.04	16:1n-5	0.30 ± 0.02
苯丙氨酸 Phenylalanine	1.78 ± 0.04	18:1n-9	11.00 ± 0.16
苏氨酸 Threonine	0.95 ± 0.02	18:1n-7	3.66 ± 0.11
组氨酸 Histidine	0.72 ± 0.00	20:1n	7.10 ± 0.28
精氨酸 Arginine	2.77 ± 0.05	∑MUFA	28.60 ± 0.03
色氨酸 Trptophan	0.53 ± 0.05	18:2n-6	2.09 ± 0.16
半胱氨酸 Cystine	0.63 ± 0.01	18:3n-3	2.38 ± 0.04
必需氨基酸 Essential amino acids	16.32 ± 0.11	18:4n-3	0.47 ± 0.06
牛磺酸 Taurine	0.71 ± 0.01	20:3n-6	0.82 ± 0.14
缬氨酸 Valine	2.30 ± 0.02	20:4n-6	1.02 ± 0.12
酪氨酸 Tyrosine	1.18 ± 0.04	20:4n-3	0.49 ± 0.03
天冬氨酸 Asparticacid	3.76 ± 0.12	20:5n-3	10.11 ± 0.03
丝氨酸 Serine	1.17 ± 0.05	22:5n-3	1.20 ± 0.06
谷氨酸 Glutamicacid	5.80 ± 0.07	22:6n-3	13.57 ± 0.08
甘氨酸 Glycine	2.63 ± 0.07	∑PUFA (≥ 18:2n)	31.06 ± 0.14
丙氨酸 Alanine	2.65 ± 0.02	∑n-3PUFA	28.78 ± 0.10
脯氨酸 Proline	2.28 ± 0.02	∑n-6PUFA	4.90 ± 0.02
非必需氨基酸 No-essential amino acids	22.48 ± 0.27	n-3/n-6	5.87 ± 0.00
总氨基酸 Total amino acids	38.80 ± 0.38	∑HUFA (≥ 20:3n)	27.24 ± 0.24
必需氨基酸/总氨基酸 Essential amino acids/Total amino acids	0.42 ± 0.00	DHA/EPA	1.34 ± 0.01

脂肪酸含量指每种脂肪酸占总脂肪酸的百分比; SFA 为饱和脂肪酸; MUFA 为单不饱和脂肪酸; PUFA 为多不饱和脂肪酸; HUFA 为高度不饱和脂肪; n-3/n-6 为 n-3 与 n-6 系列多不饱和脂肪酸含量的比值。

The fatty acid contents are expressed as the percentage of each fatty acid to the total fatty acids; SFA means saturated fatty acids; MUFA means mono-unsaturated fatty acids; PUFA means poly-unsaturated fatty acids; HUFA means highly-unsaturated fatty acids; n-3/n-6 means the ratio of ∑n-3PUFA/∑n-6PUFA.

表 2 日本新糠虾成体的常规营养成分和脂类组成 (% , n = 3)

Table 2 Proximate and lipid composition of adult mysis *Neomysis japonica*

常规营养成分 (湿重) Proximate (Wet weight)	雄体 Male	雌体 Female	脂类组成 Lipid composition	雄体 Male	雌体 Female
水分 Moisture	89.29 ± 0.39	88.22 ± 0.76	甘油三酯 Triglyceride	7.96 ± 2.11	17.41 ± 2.81 [*]
粗蛋白 Crude protein	7.27 ± 0.32	8.16 ± 0.42 [*]	游离脂肪酸 + 甘油二酯 Free fatty acid + diglyceride	30.93 ± 2.57	29.27 ± 4.08
粗脂肪 Crude lipid	0.95 ± 0.05	1.12 ± 0.10 [*]	胆固醇 Cholesterol	4.25 ± 0.41	3.92 ± 0.73
总糖 Total carbohydrate	0.12 ± 0.01	0.13 ± 0.02	磷脂 Phospholipids	56.87 ± 1.88	47.47 ± 1.97 [*]

脂类组成数据指其占总脂的百分比; 数据右上角带有“*”为雌雄成体间差异显著。

The lipid compositions are expressed as the percentage of total lipids; value with the superscript of “*” indicate there is significant difference between males and females.

分及脂类组成见表 2, 雄体和雌体的水分含量均在 88%左右, 雌体的粗蛋白和粗脂肪含量显著高于雄体, 两者的总糖含量均较低, 仅为 0.12%~0.13%。就脂类组成而言, 雄体和雌体总脂中均以磷脂为主, 含量占 50%左右, 然后依次为游离脂肪酸+甘油二酯 > 甘油三酯 > 胆固醇, 雄体的磷脂含量显著高于雌体, 雌体的甘油三酯含量显著高于雄体。

2.3 雄体和雌体的脂肪酸及氨基酸组成比较

日本新糠虾雄体和雌体的脂肪酸和氨基酸组成见表 3。就脂肪酸组成而言, 饱和脂肪酸中 (SFA) 主要为 16:0 和 18:0, 雌体的 14:0 含量显著高于雄体, 其余 SFA 含量接近, 无显著差异; 日本新糠虾体内单不饱和脂肪酸 (MUFA) 的主要种类为 18:1n-9 > 16:1n-7 > 18:1n-7, 其中雌体的 16:1n-7 含量显著高于雄体; 日本新糠虾 PUFA 中含量大于 1%的为 6 种, 含量高低顺序为 22:6n-3 (DHA) > 20:5n-3 (EPA) > 18:2n-6 (LOA) > 18:3n-3 (LNA) > 20:4n-6 (ARA) > 18:4n-3, 雄体的 ARA、EPA 和 DHA 均高于雌体, 雌体的 LOA、LNA 和 18:4n-3 含量高于雄体。整体上, 雄体的 Σ HUFA 含量和 DHA/EPA 比值显著高于雌体。就氨基酸组成而言, 10 种必需氨基酸 (EAA) 中含量大于 2%的有 6 种, 分别为赖氨酸 > 亮氨酸 > 精氨酸 > 异亮氨酸 > 苯丙氨酸 > 苏氨酸; 雌体的异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、

精氨酸和半胱氨酸含量显著高于雄体, 故雌体的 EAA 总含量也显著高于雄体。在非必需氨基酸 (NEAA) 中除牛磺酸外, 其余 NEAA 的含量均高于 2%, 其中含量超过 4%的 NEAA 为谷氨酸 > 天冬氨酸 > 甘氨酸, 雄体牛磺酸的含量显著高于雌体, 雌体天冬氨酸、丝氨酸和谷氨酸含量显著高于雄体, 整体上雌体总氨基酸含量也显著高于雄体。

2.4 雄体和雌体对多不饱和脂肪酸和必需氨基酸的相对保留率

日本新糠虾雌体对于饲料中 LOA 和 LNA 的相对保留率高于雄体, 但是对饲料中 ARA、EPA 和 DHA 相对保留率低于雄体 (表 4)。就不同脂肪酸而言, 雄体对饲料中的 ARA 相对保留率高于其他 PUFA, 雄体对 LNA 保留率最低, 仅为 0.82; 整体上雌体对 5 种 PUFA 保留率比较接近, 均在 1.27 ~ 1.89 之间。就 EAA 的相对保留率而言, 雌雄成体对各 EAA 的相对保留率接近, 这暗示日本新糠虾雌雄个体对 EAA 的需求差异不大; 就不同 EAA 而言, 日本新糠虾对于苏氨酸的相对保留率最高 (1.55 ~ 1.63), 对色氨酸的相对保留率最低 (0.60 ~ 0.62), 其余 EAA 的相对保留率均在 1 左右。

3 讨论

3.1 雌雄营养成分存在差异的原因

本研究结果表明, 日本新糠虾雌雄成体间

表 3 日本新糠虾成体的脂肪酸和氨基酸组成 (%)

Table 3 Composition of fatty acids and amino acids of adult mysis *Neomysis japonica*

脂肪酸 Fatty acids	雄体 Male	雌体 Female	氨基酸 Amino acids	雄体 Male	雌体 Female
14:0	1.65 ± 0.39	2.50 ± 0.34*	异亮氨酸 Isoleucine	2.80 ± 0.02	2.94 ± 0.04*
15:0	0.34 ± 0.05	0.44 ± 0.09	亮氨酸 Leucine	4.49 ± 0.03	4.78 ± 0.10*
16:0	20.24 ± 1.26	21.24 ± 2.13	赖氨酸 Lysine	5.38 ± 0.17	5.45 ± 0.15
18:0	4.42 ± 0.42	3.69 ± 0.38	蛋氨酸 Methionine	1.55 ± 0.20	1.67 ± 0.06
20:0	0.35 ± 0.14	0.53 ± 0.14	苯丙氨酸 Phenylalanine	2.71 ± 0.06	2.82 ± 0.02*
∑SFA	28.00 ± 1.91	29.01 ± 2.55	苏氨酸 Threonine	2.28 ± 0.04	2.50 ± 0.10*
14:1n-7	0.25 ± 0.07	0.31 ± 0.01	组氨酸 Histidine	1.43 ± 0.03	1.52 ± 0.11
16:1n-7	3.00 ± 0.36	4.19 ± 0.67*	精氨酸 Arginine	3.93 ± 0.10	4.39 ± 0.18*
16:1n-5	0.28 ± 0.04	0.17 ± 0.06	色氨酸 Trptophan	0.50 ± 0.07	0.51 ± 0.05
18:1n-9	9.62 ± 1.12	10.09 ± 1.01	半胱氨酸 Cystine	0.83 ± 0.08	1.10 ± 0.11*
18:1n-7	2.45 ± 0.68	2.16 ± 0.46	必需氨基酸 EAA	25.89 ± 0.35	27.68 ± 0.55*
20:1n	1.28 ± 0.11	1.02 ± 0.05	牛磺酸 Taurine	1.56 ± 0.07	0.94 ± 0.00*
∑MUFA	17.14 ± 2.04	18.17 ± 1.03	缬氨酸 Valine	2.97 ± 0.14	3.13 ± 0.04
18:2n-6 (LA)	2.92 ± 0.23	3.94 ± 0.26*	酪氨酸 Tyrosine	2.40 ± 0.09	2.50 ± 0.04
18:3n-3 (LNA)	1.94 ± 0.13	3.01 ± 0.20*	天冬氨酸 Asparticacid	6.31 ± 0.10	6.55 ± 0.13*
18:4n-3	1.08 ± 0.30	2.75 ± 0.25*	丝氨酸 Serine	2.05 ± 0.05	2.30 ± 0.11*
20:3n-6	0.88 ± 0.07	0.74 ± 0.09	谷氨酸 Glutamicacid	8.77 ± 0.14	9.15 ± 0.23*
20:4n-6 (ARA)	2.85 ± 0.20	1.84 ± 0.06*	甘氨酸 Glycine	4.31 ± 0.17	4.35 ± 0.11
20:3n-3	0.83 ± 0.06	0.88 ± 0.06	丙氨酸 Alanine	3.50 ± 0.19	3.51 ± 0.06
20:4n-3	0.29 ± 0.04	0.50 ± 0.02	脯氨酸 Proline	2.31 ± 0.15	2.47 ± 0.07
20:5n-3 (EPA)	17.75 ± 0.31	16.12 ± 0.50*	非必需氨基酸 NEAA	34.18 ± 1.00	34.89 ± 0.44
22:5n-3	0.46 ± 0.08	0.58 ± 0.21	总氨基酸 TAA	60.07 ± 1.34	62.57 ± 0.99*
22:6n-3 (DHA)	21.75 ± 0.31	18.43 ± 0.88*	EAA/TAA	0.43 ± 0.01	0.44 ± 0.00
∑PUFA (≥ 18:2n)	51.28 ± 1.70	49.30 ± 1.37			
∑n-3PUFA	44.11 ± 1.29	42.26 ± 1.08			
∑n-6PUFA	7.17 ± 0.57	7.04 ± 0.56			
n-3/n-6	6.17 ± 0.42	6.02 ± 0.45			
∑HUFA (≥ 20:3n)	44.82 ± 1.02	39.08 ± 1.29*			
DHA/EPA	1.23 ± 0.06	1.14 ± 0.03*			

脂肪酸含量指每种脂肪酸占总脂肪酸的百分比；氨基酸含量指每种氨基酸占总干物质的百分比；数据右上角带有“*”为雌雄成体间差异显著；EAA为必需氨基酸；NEAA为非必需氨基酸；TAA为总氨基酸；SFA为饱和脂肪酸；MUFA为单不饱和脂肪酸；PUFA为多不饱和脂肪酸；HUFA为高度不饱和脂肪。

The fatty acid contents are expressed as the percentage of each fatty acid to the total fatty acids; the amino acid are expressed as the percentage of each amino acid based on the total dry weight; value with the superscript of “*” indicate there is significant difference between males and females; EAA means essential amino acids; NEAA means no-essential amino acids; TAA means total amino acids; SFA means saturated fatty acids; MUFA means mono-unsaturated fatty acids; PUFA means poly-unsaturated fatty acids; HUFA means high-unsaturated fatty acids.

表 4 日本新糠虾成体的对饲料中多不饱和脂肪酸 (PUFA) 和必需氨基酸 (EAA) 的相对保留率

Table 4 Relative retention rate of dietary PUFA and EAA in adult mysis *Neomysis japonica*

脂肪酸 Fatty acids	雄体 Male	雌体 Female	氨基酸 Amino acids	雄体 Male	雌体 Female
18:2n-6	1.40	1.89	异亮氨酸 Isoleucine	0.88	0.88
18:3n-3	0.82	1.27	亮氨酸 Leucine	0.97	0.99
20:4n-6	2.79	1.80	赖氨酸 Lysine	1.19	1.16
20:5n-3	1.76	1.59	蛋氨酸 Methionine	1.02	1.06
22:6n-3	1.60	1.36	苯丙氨酸 Phenylalanine	0.99	0.99
			苏氨酸 Threonine	1.55	1.63
			组氨酸 Histidine	1.29	1.31
			精氨酸 Arginine	0.92	0.98
			色氨酸 Tryptophan	0.62	0.60
			半胱氨酸 Cystine	0.85	1.09

营养成分存在较大差异, 这暗示着雌雄成体的营养需求和生殖功能有所不同。日本新糠虾成体雌虾的粗蛋白、粗脂肪和甘油三酯含量均显著高于雄虾, 这是因为雌虾腹部具有孵育囊, 孵育囊中胚胎发育到幼虾阶段才能孵化脱离母体 (王小艳等 2009)。糠虾胚胎中的蛋白、脂肪和甘油三酯含量通常较高, 为了保证胚胎正常发育, 雌体糠虾肝胰腺和卵巢等组织也需要储存较多的蛋白和脂肪等营养物质以满足卵巢和胚胎发育等 (杨筱珍等 2009)。日本新糠虾雌雄成体的游离脂肪酸含量均较高, 这暗示着日本新糠虾成体的脂类代谢较为旺盛, 因为游离脂肪酸主要是磷脂和甘油三酯的水解产物, 可以进一步用于脂肪酸氧化供能或者脂类合成 (Wu et al. 2010)。日本新糠虾雄体的 ARA、EPA 和 DHA 含量及相对保留率均显著高于雌体, 这可能说明日本新糠虾雄体比雌体需要更多的 HUFA, 因为 ARA 和 EPA 是前列腺素的前体, 对于精巢发育非常重要 (Jeong et al. 2002), 而精巢中的 DHA 含量通常与精子活力及数量呈正相关 (Conquer et al. 1999)。尽管本研究中日本新糠虾雌体和雄体摄食相同饲料, 雌体的 14:0、16:1n-7、18:2n-6 和 18:n-3 显著高于雄体, 这可能与其脂肪酸营养的性别差异有关。氨基酸分析结果表明, 日本新糠虾雌体

的必需氨基酸 (EAA) 总量显著高于雄体, 这暗示雌体的 EAA 需求可能高于雄体; 但是雌体成体对于 10 种 EAA 的相对保留率接近, 这说明日本新糠虾成体雄虾和雌虾对这些 EAA 的吸收和保留可能无性别差异。此外, 孵育囊中具有胚胎和不具有胚胎的日本新糠虾雌性成体营养组成可能也具有一定的差异, 由于孵育囊中具有胚胎的雌体很容易肉眼确定, 本研究中未能够采集孵育囊中没有胚胎雌性成体进行生化分析, 故不能比较这两种成体的营养成分含量差异, 这有待于今后的进一步研究。

3.2 不同种类糠虾的营养组成比较

尽管有多种糠虾已经广泛用于水产育苗或作为人类食品加以利用, 但是有关糠虾类的生化组成及营养价值评价较少, 目前仅见 3 种糠虾的常规营养成分及脂肪酸组成的报道 (Domingues et al. 2004, 朱地琴等 2007, 彭瑞冰等 2014), 有关糠虾类氨基酸组成仅有 1 篇报道 (彭瑞冰 2014)。不同种类糠虾的粗蛋白含量均在 70% 左右 (干重), 水分和粗脂肪含量相差较大 (表 5)。不同种类糠虾的水分含量差异可能与样品前处理和水体盐度有关 (朱地琴等 2007)。3 种糠虾的粗脂肪含量及脂肪酸组成存在较大差异, 这可能与其饵料组成、生长环境和遗传特性有关 (成永旭 2005)。值得

表 5 3 种糠虾的营养成分比较

Table 5 Comparison of nutritional compositions for among three mysis species

	日本新糠虾 <i>Neomysis japonica</i>	短额刺糠虾 <i>Acanthomysis brevirostis</i>	糠虾 <i>Paramysis novelli</i>
水分 (%，湿重) Moisture (%，wet weight)	88.75	87.83	79.54
粗蛋白 (%，干重) Crude protein (%，dry weight)	68.94	71.82	66.90
粗脂肪 (%，干重) Crude lipid (%，dry weight)	9.18	5.26	9.11
脂肪酸组成 Fatty acid composition			
16:0	20.74	20.62	20.23
18:0	4.06	6.14	3.63
18:1n-9	9.86	13.78	5.39
18:2n-6	3.43	2.91	1.78
18:3n-3	2.48	4.39	2.19
20:4n-6	2.30	2.34	3.88
20:5n-3	16.94	13.69	21.38
22:6n-3	20.09	21.88	16.32
HUFA	41.95	43.98	38.03
n-3/n-6	6.10	6.60	5.98
DHA/EPA	1.19	0.90	0.76
必需氨基酸含量 (%，干重) Content of essential amino acids (%，dry weight)			
异亮氨酸 Isoleucine	2.87	4.16	—
亮氨酸 Leucine	4.63	3.61	—
赖氨酸 Lysine	5.42	7.36	—
蛋氨酸 Methionine	1.61	1.96	—
苯丙氨酸 Phenylalanine	2.77	2.87	—
苏氨酸 Threonine	2.39	3.70	—
组氨酸 Histidine	1.48	2.14	—
精氨酸 Arginine	4.16	7.32	—
色氨酸 Trptophan	0.50	0.04	—
半胱氨酸 Cystine	0.96	0.51	—

脂肪酸含量指每种脂肪酸占总脂肪酸的百分比；氨基酸含量指每种氨基酸占总干物质的百分比；“—”表示未检测。

The fatty acid contents are expressed as the percentage of each fatty acid to the total fatty acids; the amino acid are expressed as the percentage of each amino acid based on the total dry weight; “—” means this constituent is not detectable.

一提的不同养殖条件下日本新糠虾的脂肪酸组成差异也较大，如土池肥水培育的日本新糠虾 EPA、DHA 含量（占总脂肪酸的百分比）和 DHA/EPA 比值分别为 20.16%、13.19%和 0.65

（吴旭干等 2007），与本研究中饲料养殖的日本新糠虾差异较大，说明糠虾的脂肪酸组成与其饲料的营养组成有很大关系。此外，甲壳动物的营养组成还受温度和盐度等环境条件影

响, 在不同水体盐度条件下, 投喂同种饵料的锯缘青蟹 (*Scylla serrata*) 的脂类和脂肪酸组成也有所不同 (Romano et al. 2014)。整体上, 3 种糠虾的不饱和脂肪酸、HUFA 和 n-3PUFA/n-6PUFA 比值均较高, 远高于联合国粮农组织 (FAO) 和世界卫生组织 (WHO) 推荐的健康食品的脂肪酸组成 (FAO/WHO 1994)。日本新糠虾和短额刺糠虾 (*Acanthomysis brevirostris*) 的 EAA 含量存在较大差异 (彭瑞冰等 2014, 表 5), 这可能是由于物种特性造成的, 通常不同动物 EAA 的组成比脂肪酸组成更加保守, 因为动物体内的氨基酸主要来源于肌肉, 肌肉的生长必需满足 EAA 氨基酸平衡才能顺利进行 (Guillaume et al. 2001)。

尽管糠虾类的营养组成比较全面 (吴旭干等 2007), 但是其 DHA/EPA 和 ARA/EPA 比值可能不符合特定水产动物苗种的营养需求, 通常需要对其进行脂肪营养强化, 但通过乳化剂进行营养强化的方法存在污染水质、操作复杂等缺点 (成永旭 2005, 李伟微等 2008)。本研究结果表明, 日本新糠虾能够正常摄食对虾配合饲料, 且体内的 HUFA 和 EAA 等重要营养成分易受饲料中营养组成的影响, 这为饲料调控糠虾的营养价值提供了可靠的途径, 在实际生产中具有一定的优势和可行性。

参 考 文 献

- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists, 971, 22.
- Chen D W, Zhang M, Shrestha S. 2007. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). Food Chemistry, 103(4): 1343–1349.
- Conquer J A, Martin J B, Tummon I, et al. 1999. Fatty acid analysis of blood serum, seminal plasma and spermatozoa of normozoospermic vs. asthernozoospermic males. Lipids, 34(8): 793–799.
- Domingues P M, Sykes A, Sommerfield A, et al. 2004. Growth and survival of cuttlefish (*Sepia officinalis*) of different ages fed crustaceans and fish: Effects of frozen and live prey. Aquaculture, 229(1/4): 239–254.
- FAO/WHO. 1994. Fats and Oils in Human Nutrition: Report of a Joint Expert Consultation. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 168.
- Folch J, Lees M, Sloane-Stanley G H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. Journal of Biological Chemistry, 226(1): 497–509.
- Ganga R, Bell J G, Montero D, et al. 2005. Effect of dietary lipids on plasma fatty acid profiles and prostaglandin and leptin production in gilthead seabream (*Sparus aurata*). Comparative Biochemistry and Physiology: Part B, 142(4): 410–418.
- Guillaume J, Kaushik S, Bergot P, et al. 2001. Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans. Chichester, UK: Springer-Praxis Publishing, 114–118.
- Jeong B Y, Jeong W G, Moon S K, et al. 2002. Preferential accumulation of fatty acids in the testis and ovary of cultured and wild smelt *Plecoglossus altivelis*. Comparative Biochemistry Physiology B, 131(2): 251–259.
- Kochert A G. 1978. Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric acid method//Hellebust J A, Craigie J S. Handbook of Phycological Methods: Physiological and Biochemical Methods. London, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 95–97.
- Matheson N A. 1974. The determination of tryptophan in purified proteins and in feeding-stuffs. British Journal of Nutrition, 31(3): 393–400.
- Morrison W R, Smith L M. 1964. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol. Journal of Lipid Research, 5(4): 600–608.
- Romano N, Wu X G, Zeng C S, et al. 2014. Growth, osmoregulatory responses and changes to the lipid and fatty acid composition of organs from the mud crab, *Scylla serrata*, over a broad salinity range. Marine Biology Research, 10(5): 460–471.
- Spindler M, Stadler R, Tanner H. 1984. Amino acid analysis of feedstuffs: determination of methionine and cystine after oxidation with performic acid and hydrolysis. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 32(6): 1366–1371.
- Wu X G, Cheng Y X, Sui L X, et al. 2007. Biochemical composition

- of pond-reared and lake-stocked Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) broodstock. *Aquaculture Research*, 38(14), 1459–1467.
- Wu X G, Zhou B, Cheng Y X, et al. 2010. Comparison of gender differences in biochemical composition and nutritional value of various edible parts of the blue swimmer crab. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(2): 154–159.
- Yang X Z, Wang J F, Fan P, et al. 2010. Survival, growth, sexual maturity and tissue histamine accumulation of the mysis, *Neomysis awatschensis* and *N. japonica* Nakazawa, fed histamine supplemented diets. *Aquaculture*, 302(3/4): 256–260.
- 陈金佳. 2003. 人工培养糠虾技术. *科学养鱼*, (7): 53.
- 成永旭. 2005. 生物饵料培养学. 2版. 北京: 中国农业出版社, 133–240.
- 窦亚卿, 杨筱珍, 吴旭干, 等. 2009. 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*, 28(6): 611–613.
- 李伟微, 程升幅, 杨帆, 等. 2008. 不同强化剂和强化时间对糠虾脂肪酸组成的影响. *大连水产学院学报*, 23(1): 24–30.
- 刘瑞玉, 王绍武. 2000. 中国动物志: 节肢动物门 甲壳动物亚门 糠虾目. 北京: 科学出版社, 56.
- 彭瑞冰, 蒋霞敏, 乐可鑫, 等. 2014. 5种饵料动物的营养成分分析及评价. *水产学报*, 38(2): 257–264.
- 王韩信, 刘晓东, 张东, 等. 2012. 冷冻和鲜活糠虾对灰海马繁殖力的影响. *水产科技情报*, 39(1): 6–9.
- 王金锋, 杨筱珍, 吴旭干, 等. 2010. 水体中组织胺对日本新糠虾生长、发育和体内组织胺含量的影响. *海洋科学*, 34(4): 1–5.
- 王小艳, 杨筱珍, 王金峰, 等. 2009. 日本新糠虾胚胎发育及母体大小与幼体关系研究. *水生生物学报*, 33(5): 851–859.
- 吴旭干, 于志勇, 成永旭, 等. 2007. 卤幼、强化卤幼、桡足类和糠虾对中华绒螯蟹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*, 14(6): 911–918.
- 杨丽娜, 杨筱珍, 唐伯平, 等. 2007. 成年日本新糠虾雄性生殖系统的组织学. *动物学杂志*, 42(3): 90–96.
- 杨筱珍, 王金峰, 杨丽娜, 等. 2009. 日本新糠虾 (*Neomysis japonica*) 卵巢发育与卵子发生. *海洋与湖沼*, 40(3): 1–9.
- 赵亚婷, 吴旭干, 常国亮, 等. 2013. 饲料中DHA含量对中华绒螯蟹幼蟹生长、脂类组成和低氧胁迫的影响. *水生生物学报*, 37(6): 1139–1150.
- 郑严. 1982. 黑褐新糠虾生物学的研究 I. 种群和生殖特点. *海洋与湖沼*, 13(1): 66–67.
- 郑严. 1984. 黑褐新糠虾生物学的研究 II. 生活史的研究. *海洋与湖沼*, 15(4): 287–297.
- 朱地琴, 吴旭干, 潘迎捷, 等. 2007. 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*, 16(5): 448–453.