

澳洲淡水龙虾受精卵到仔虾营养物质变化分析

孙丽慧, 李倩, 张海琪, 姜建湖, 陈建明, 高令梅, 郭建林

Analysis of change of nutrients from fertilized eggs to newly hatched shrimp of *Cherax quadricarinatus*

SUN Lihui, LI Qian, ZHANG Haiqi, JIANG Jianhu, CHEN Jianming, GAO Lingmei, GUO Jianlin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20220203718>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[人工繁殖条件下日本鳗鲡鱼卵营养成分分析及评价](#)

Nutritional analysis and evaluation of eggs from the artificially induced maturation *Anguilla japonica*

上海海洋大学学报. 2019, 28(2): 190 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180502313>

[罗氏沼虾5个专门化品系选择系繁殖力的比较分析](#)

Comparative analysis of fecundity of 5 specialized strains of shrimp *Macrobrachium rosenbergii*

上海海洋大学学报. 2017, 26(5): 674 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170502052>

[立体混养和单养模式下凡纳滨对虾肌肉营养成分的分析与评价](#)

Analysis and evaluation of muscle nutrient components of *Litopenaeus vannamei* in multistory culture mode and monoculture mode

上海海洋大学学报. 2023, 32(2): 309 <https://doi.org/10.12024/jsou.20210803542>

[七彩神仙鱼Vasa基因cDNA的克隆及表达分析](#)

Cloning and expression analysis of Vasa gene in *Symphysodon haraldi*

上海海洋大学学报. 2017, 26(3): 330 <https://doi.org/10.12024/jsou.20161001877>

[拉萨裂腹鱼的胚胎及仔稚鱼发育特征](#)

Morphological development of embryos and larvae of *Schizothorax waltoni* Regan

上海海洋大学学报. 2020, 35(5): 663 <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2019-215>

文章编号: 1674-5566(2023)02-0348-09

DOI:10.12024/jsou.20220203718

澳洲淡水龙虾受精卵到仔虾营养物质变化分析

孙丽慧^{1,2}, 李倩^{1,2}, 张海琪^{1,2}, 姜建湖^{1,2}, 陈建明^{1,2}, 高令梅^{1,2}, 郭建林^{1,2}

(1. 浙江省淡水水产研究所 农业农村部淡水渔业健康养殖实验室, 浙江 湖州 313001; 2. 浙江省淡水水产研究所 浙江省鱼类健康与营养重点实验室, 浙江 湖州 313001)

摘要: 为探究澳洲淡水龙虾受精卵发育到仔虾过程中营养物质的变化情况, 分别对澳洲淡水龙虾前无节幼体期、复眼色素形成期、孵化准备期受精卵及初孵仔虾的营养成分组成进行了系统性分析, 研究表明: 水分含量随着受精卵逐渐发育成仔虾而显著升高, 粗蛋白和粗脂肪含量则随发育过程而显著降低, 灰分含量以初孵仔虾最高; 总氨基酸(TAA)、必需氨基酸(EAA)和呈味氨基酸(DAA)均随发育过程而显著降低; 在 AAS 模式下, 受精卵和初孵仔虾第一限制性氨基酸均为 Met + Cys, 受精卵第二限制性氨基酸为 Leu, 初孵仔虾第二限制性氨基酸为 Ile。在 CS 模式下, 受精卵和初孵仔虾第一限制性氨基酸也是 Met + Cys, 前无节幼体期受精卵第二限制性氨基酸为 Val, 复眼色素形成期之后的受精卵和初孵仔虾第二限制性氨基酸均为 Ile。受精卵和初孵仔虾的 EAAI 随着受精卵发育到初孵仔虾而显著降低。澳洲淡水龙虾受精卵和初孵仔虾共测出主要脂肪酸 10 种, 初孵仔虾的 PUFA 及 DHA 含量显著低于受精卵, EPA + DHA 含量却显著高于受精卵。综上, 澳洲淡水龙虾初孵仔虾灰分及 EPA + DHA 含量显著高于受精卵, 故在澳洲淡水龙虾仔虾开口饵料配制中可考虑适当提高磷酸二氢钙及 EPA + DHA 的添加量。

关键词: 澳洲淡水龙虾; 受精卵; 仔虾; 营养成分

中图分类号: S 963 **文献标志码:** A

澳洲淡水龙虾(*Cherax quadricarinatus*), 学名四脊光壳南螯虾, 又名红螯螯虾^[1]、红螯光壳螯虾^[2], 原产于澳大利亚北部热带和亚热带水域中, 个体大, 出肉率高, 肉质鲜美, 深受消费者喜爱, 是目前世界上较名贵的淡水经济虾种之一。自 20 世纪 90 年代引入我国后, 经过 20 多年的发展, 该虾养殖规模当前处于快速增长期。随着居民消费能力的提高, 其逐步为大众所接受, 市场前景十分广阔。目前澳洲淡水龙虾繁育主要采用亲本自然孵化方式, 怀卵量较少, 苗种供不应求, 严重影响产业的发展。因此, 加强对澳洲淡水龙虾人工繁育方面的研究已迫在眉睫。

虾蟹类的胚胎和幼体的营养与其生长发育密切相关, 研究胚胎及幼体发育过程中营养成分的变化对进一步探讨甲壳动物的生殖和发育特点有一定的学术意义^[3]。迄今为止, 有关虾类胚胎及幼体发育过程营养物质的变化已有大量研

究^[4-8], 但在澳洲淡水龙虾胚胎和幼体发育过程中营养物质变化方面的研究还不够系统全面^[9-10], 故本研究通过对澳洲淡水龙虾不同发育时期受精卵及初孵仔虾营养成分进行分析比较, 探明澳洲淡水龙虾受精卵发育过程中各营养物质的变化, 以为澳洲淡水龙虾苗种培育提供技术支持, 从而提高澳洲淡水龙虾苗种供应能力。同时, 本研究还可为澳洲淡水龙虾初孵仔虾开口饵料配制提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

用于分析的澳洲淡水龙虾不同发育时期的受精卵及初孵仔虾取自浙江省淡水水产研究所八里店综合试验基地, 抱卵虾为同一批虾苗发育而成, 分别选取前无节幼体期受精卵(图版-1)、复眼色素形成期受精卵(图版-2)、孵化准备期受

收稿日期: 2022-02-16 修回日期: 2022-03-23

基金项目: 湖州市乡村振兴专项(2019ZD2028); 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”项目(2018YFD0901305)

作者简介: 孙丽慧(1984—), 女, 工程师, 硕士, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: miduo1984422@126.com

通信作者: 郭建林, E-mail: wavejil@aliyun.com

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

精卵(图版-3)和初孵仔虾(图版-4)4个发育时期 进行测定。



图版 前无节幼体期受精卵、复眼色素形成期受精卵、孵化准备期受精卵以及初孵仔虾
Plate Fertilized eggs at the egg-nauplius stage, fertilized eggs at the embryo with eye pigments forming stage, fertilized eggs at the prepare-hatchling stage and newly hatched shrimp

1.2 样品处理

吸干受精卵及初孵仔虾表面水分,称重,冷冻干燥后,用于常规营养成分、氨基酸和脂肪酸的测定。每个测定指标均采用3个平行样本。

1.3 生化成分分析

粗蛋白、粗脂肪和灰分测定参照 AOAC 的方法^[11];水分测定采用真空冷冻干燥法^[12];灰分测定采用马福炉灰化法(GB/T 6438—1992);粗蛋白测定采用凯氏定氮法(GB/T 6432—1994);粗脂肪测定采用索氏抽提法(GB/T 6433—1994)。牛磺酸和17种常见氨基酸测定采用盐酸水解法(GB/T 5009.124—2003),经日立 L8900 氨基酸自动分析仪测定,色氨酸在水解过程中被破坏而没有测定。脂肪酸含量采用(GB/T 5009.168—2003)气相色谱法测定。

1.4 营养品质评价

将已测得的受精卵及初孵仔虾氨基酸含量(% ,DW)除以16即换算成每克氮中含氨基酸毫克数 mg/g(N)^[13],与1973年WHO/FAO提出的必需氨基酸评分标准^[14]和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的鸡蛋蛋白模式^[15]进行比较,氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)计算公式^[16]:

$$AAS = \frac{aa}{AA_{(FAO/WHO)}} \quad (1)$$

$$CS = \frac{aa}{AA_{(Egg)}} \quad (2)$$

$$EAAI = \left(\frac{100A}{A_E} \times \frac{100B}{B_E} \times \frac{100C}{C_E} \times \dots \times \frac{100G}{G_E} \right)^{1/n} \quad (3)$$

式中: n 为比较的氨基酸数;aa为试验蛋白质的氨

氨基酸含量;AA 为 FAO/WHO 及 Egg 模式下的氨基酸含量;A、B……G 为样品蛋白质必需 AA 含量;A_E、B_E……G_E 为全鸡蛋蛋白必需 AA 含量。

1.5 数据处理

试验数据采用平均值 ± 标准差表示,用 SPSS16.0 统计软件进行单因子方差分析(One-way ANOVA),如有显著差异($P < 0.05$),则做 Duncan 氏多重比较分析。

表 1 澳洲淡水龙虾受精卵和初孵仔虾营养成分含量

Tab.1 Nutritive composition of fertilized eggs and newly hatched shrimp of *Cherax quadricarinatus* %

营养成分 Nutritive composition	前无节幼体期 Egg-nauplius stage	复眼色素形成期 Embryo with eye pigments forming stage	孵化准备期 Prepare-hatching stage	初孵仔虾 Newly hatched shrimp
水分 Moisture	60.25 ± 3.01 ^a	64.05 ± 2.10 ^a	72.76 ± 2.79 ^b	80.17 ± 1.60 ^c
粗蛋白 Crude protein	21.46 ± 1.81 ^c	18.61 ± 1.51 ^{bc}	14.92 ± 1.55 ^b	9.73 ± 0.95 ^a
粗脂肪 Crude lipid	10.65 ± 0.62 ^b	10.01 ± 0.97 ^b	9.71 ± 0.37 ^b	4.26 ± 0.20 ^a
灰分 Ash	1.63 ± 0.00 ^b	1.35 ± 0.16 ^{ab}	1.14 ± 0.01 ^a	2.43 ± 0.22 ^c

注:同一行中具不同字母标记的值表示差异显著($P < 0.05$)。

Notes: Data marked with different letters in a row mean significant difference ($P < 0.05$).

2.2 氨基酸组成及含量

受精卵及初孵仔虾氨基酸组成见表 2,除了色氨酸(Typ)未测定以外,分别测出了 17 种常见氨基酸及牛磺酸,其中必需氨基酸(EAA)7 种(苏氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸)、半必需氨基酸(HEAA)2 种(组氨酸和精氨酸)和非必需氨基酸(NEAA)8 种(谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸、天门冬氨酸、胱氨酸、脯氨酸、丝氨酸和酪氨酸)。由表 2 可知,受精卵总氨基酸(TAA)、必需氨基酸(EAA)和呈味氨基酸(DAA)随发育过程而显著降低($P < 0.05$)。

2.3 蛋白的营养价值

氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)见表 3。在 AAS 模式下,受精卵和初孵仔虾第一限制性氨基酸均为 Met + Cys,受精卵第二限制性氨基酸为 Leu,初孵仔虾第二限制性氨基酸为 Ile。在 CS 模式下,受精卵和初孵仔虾第一限制性氨基酸也是 Met + Cys,前无节幼体期受精卵第二限制性氨基酸为 Val,复眼色素形成期之后的受精卵和初孵仔虾第二限制性氨基酸均为 Ile。EAAI 是衡量食品蛋白营养的重要指标^[7],受精卵和初孵仔虾的 EAAI 随着受精卵

2 结果与分析

2.1 常规营养成分

由表 1 可知:水分含量随着受精卵逐渐发育成仔虾而显著升高($P < 0.05$),粗蛋白和粗脂肪含量则随发育过程而显著降低($P < 0.05$),灰分含量以初孵仔虾最高($P < 0.05$)达 2.43%。

发育到初孵仔虾而显著降低($P < 0.05$)。

2.4 脂肪酸组成

澳洲淡水龙虾受精卵和初孵仔虾脂肪酸组成见表 4,共测出主要脂肪酸 10 种,其中饱和脂肪酸(SFA)3 种,不饱和脂肪酸(UFA)7 种,包括单不饱和脂肪酸(MUFA)2 种和多不饱和脂肪酸(PUFA)5 种。从表 4 可知,初孵仔虾的 PUFA 及 DHA 含量显著低于受精卵($P < 0.05$),EPA + DHA 含量却显著高于受精卵($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 受精卵及初孵仔虾常规营养成分变化情况

澳洲淡水龙虾受精卵水分含量随胚胎发育而显著升高,初孵仔虾时期比前无节幼体期水分含量增加近 20%,这与大多数甲壳动物研究^[5,10,17]结果相一致,其原因可能是胚胎发育过程中,胚胎中卵黄逐渐被消耗,构成组织或器官的细胞逐渐增多,从而导致胚胎水分含量升高。另外,卵黄内脂肪作为供能物质被消耗,脂质减少导致持水力高的蛋白和糖类相对增加,这或许是澳洲淡水龙虾胚胎发育过程中水分含量显著升高的另一重要原因。

表 2 澳洲淡水龙虾受精卵和初孵仔虾氨基酸组成及含量(湿质量)
 Tab.2 Amino acids of fertilized eggs and newly hatched shrimp of *Cherax quadricarinatus* (wet mass) %

氨基酸 Amino acid	前无节幼体期 Egg-nauplius stage	复眼色素形成期 Embryo with eye pigments forming stage		孵化准备期 Prepare-hatching stage		初孵仔虾 Newly hatched shrimp	
		AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
牛磺酸 Tau	0.04 ± 0.00 ^{bc}	0.05 ± 0.00 ^e		0.04 ± 0.00 ^a		0.04 ± 0.00 ^b	
天冬氨酸 * Asp	2.19 ± 0.00 ^d	1.91 ± 0.00 ^e		1.39 ± 0.01 ^b		0.90 ± 0.00 ^a	
苏氨酸 Thr	1.06 ± 0.00 ^d	0.94 ± 0.00 ^e		0.69 ± 0.00 ^b		0.44 ± 0.00 ^a	
丝氨酸 Ser	1.30 ± 0.00 ^d	1.08 ± 0.00 ^e		0.77 ± 0.01 ^b		0.44 ± 0.00 ^a	
谷氨酸 * Glu	3.05 ± 0.00 ^d	2.71 ± 0.00 ^e		1.98 ± 0.02 ^b		1.34 ± 0.00 ^a	
甘氨酸 * Gly	0.74 ± 0.00 ^d	0.71 ± 0.00 ^e		0.55 ± 0.00 ^b		0.45 ± 0.00 ^a	
丙氨酸 * Ala	0.91 ± 0.00 ^d	0.84 ± 0.00 ^e		0.67 ± 0.00 ^b		0.53 ± 0.00 ^a	
胱氨酸 Cys	0.23 ± 0.00 ^d	0.21 ± 0.00 ^e		0.15 ± 0.00 ^b		0.10 ± 0.00 ^a	
缬氨酸 Val	1.06 ± 0.00 ^d	0.99 ± 0.00 ^e		0.71 ± 0.01 ^b		0.45 ± 0.00 ^a	
甲硫氨酸 Met	0.51 ± 0.00 ^d	0.45 ± 0.00 ^e		0.31 ± 0.00 ^b		0.18 ± 0.00 ^a	
异亮氨酸 Ile	0.90 ± 0.00 ^d	0.78 ± 0.00 ^e		0.56 ± 0.02 ^b		0.33 ± 0.00 ^a	
亮氨酸 Leu	1.49 ± 0.00 ^d	1.33 ± 0.00 ^e		0.96 ± 0.01 ^b		0.60 ± 0.00 ^a	
酪氨酸 * Tyr	1.06 ± 0.00 ^d	0.96 ± 0.00 ^e		0.61 ± 0.00 ^b		0.35 ± 0.00 ^a	
苯丙氨酸 * Phe	1.07 ± 0.00 ^d	0.92 ± 0.00 ^e		0.65 ± 0.00 ^b		0.40 ± 0.00 ^a	
组氨酸 His	0.75 ± 0.01 ^d	0.68 ± 0.00 ^e		0.46 ± 0.00 ^b		0.29 ± 0.00 ^a	
赖氨酸 Lys	1.51 ± 0.01 ^d	1.34 ± 0.00 ^e		0.95 ± 0.00 ^b		0.62 ± 0.00 ^a	
精氨酸 Arg	1.53 ± 0.00 ^d	1.39 ± 0.00 ^e		1.02 ± 0.00 ^b		0.63 ± 0.00 ^a	
脯氨酸 Pro	0.85 ± 0.00 ^d	0.77 ± 0.00 ^e		0.60 ± 0.00 ^b		0.41 ± 0.00 ^a	
总氨基酸 TAA	20.27 ± 0.02 ^d	18.04 ± 0.00 ^e		13.06 ± 0.01 ^b		8.49 ± 0.00 ^a	
必需氨基酸 EAA	7.61 ± 0.01 ^d	6.75 ± 0.00 ^e		4.83 ± 0.03 ^b		3.02 ± 0.00 ^a	
非必需氨基酸 NEAA	10.34 ± 0.01 ^d	9.17 ± 0.00 ^e		6.72 ± 0.04 ^b		4.51 ± 0.00 ^a	
呈味氨基酸 DAA	9.02 ± 0.01 ^d	8.04 ± 0.00 ^e		5.85 ± 0.03 ^b		3.96 ± 0.00 ^a	
W_{EAA}/W_{TAA}	44.61 ± 0.02 ^a	44.66 ± 0.01 ^{ab}		44.91 ± 0.19 ^b		46.81 ± 0.01 ^c	
W_{EAA}/W_{NEAA}	87.28 ± 0.01 ^b	87.66 ± 0.02 ^c		87.06 ± 0.11 ^a		87.69 ± 0.00 ^c	

注: W_{EAA} 为必需氨基酸总量, W_{TAA} 为氨基酸总量, W_{NEAA} 为非必需氨基酸总量, * 为鲜味氨基酸。同一行中具不同字母标记的值表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Notes: W_{EAA} is total essential amino acids, W_{TAA} is total amino acids, W_{NEAA} is total nonessential amino acids, * is the amino acids relating to taste. Data marked with different letters in a row mean significant difference ($P < 0.05$).

表 3 澳洲淡水龙虾受精卵和初孵仔虾必需氨基酸组成评价
 Tab.3 Evaluation of EAA in fertilized eggs and newly hatched shrimp of *Cherax quadricarinatus* mg/g

必需氨基酸 Essential amino acids	FAO 评分模式 FAO evaluation mode	鸡蛋蛋白 Egg protein	前无节幼体期 Egg-nauplius stage		复眼色素形成期 Embryo with eye pigments forming stage		孵化准备期 Prepare-hatching stage		初孵仔虾 Newly hatched shrimp	
			AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
			Ile	250	331	0.57 ± 0.00 ^d	0.43 ± 0.00 ^d	0.54 ± 0.00 ^c	0.41 ± 0.00 ^{c*}	0.51 ± 0.01 ^b
Leu	440	534	0.53 ± 0.00 ^{d*}	0.44 ± 0.00 ^d	0.53 ± 0.00 ^{c*}	0.43 ± 0.00 ^c	0.50 ± 0.00 ^{b*}	0.41 ± 0.00 ^b	0.43 ± 0.00 ^a	0.36 ± 0.00 ^a
Lys	340	441	0.70 ± 0.00 ^d	0.54 ± 0.00 ^d	0.69 ± 0.00 ^c	0.53 ± 0.00 ^c	0.64 ± 0.00 ^b	0.50 ± 0.00 ^b	0.57 ± 0.00 ^a	0.44 ± 0.00 ^a
Met + Cys	220	386	0.53 ± 0.00 ^{d*}	0.30 ± 0.00 ^{d*}	0.52 ± 0.00 ^{c*}	0.29 ± 0.00 ^{c*}	0.48 ± 0.00 ^{b*}	0.27 ± 0.00 ^{b*}	0.40 ± 0.00 ^{a*}	0.23 ± 0.00 ^{a*}
Phe + Tyr	380	565	0.88 ± 0.00 ^d	0.59 ± 0.00 ^d	0.86 ± 0.00 ^c	0.58 ± 0.00 ^c	0.76 ± 0.00 ^b	0.51 ± 0.00 ^b	0.62 ± 0.00 ^a	0.42 ± 0.00 ^a
Thr	250	292	0.67 ± 0.00 ^d	0.57 ± 0.00 ^d	0.65 ± 0.00 ^c	0.56 ± 0.00 ^c	0.63 ± 0.00 ^b	0.54 ± 0.00 ^b	0.55 ± 0.00 ^a	0.47 ± 0.00 ^a
Val	310	410	0.54 ± 0.00 ^c	0.41 ± 0.00 ^{c*}	0.55 ± 0.00 ^d	0.42 ± 0.00 ^d	0.52 ± 0.01 ^b	0.40 ± 0.01 ^b	0.46 ± 0.00 ^a	0.35 ± 0.00 ^a
必需氨基酸指数 essential amino acid index			45.82 ± 0.03 ^d		45.01 ± 0.00 ^c		42.13 ± 0.28 ^b		35.93 ± 0.04 ^a	

注: * 表示第一限制性氨基酸; ** 表示第二限制性氨基酸。同一行中具不同字母标记的值表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Notes: * the first limited amino acid; ** the second limited amino acid. Data marked with different letters in a row mean significant difference ($P < 0.05$).

表 4 澳洲淡水龙虾受精卵和初孵仔虾脂肪酸组成及含量

Tab. 4 Fatty acids profiles in fertilized eggs and newly hatched shrimp of *Cherax quadricarinatus*

脂肪酸 Fatty acid	前无节幼体期 Egg-nauplius stage	复眼色素形成期 Embryo with eye pigments forming stage	孵化准备期 Prepare-hatching stage	初孵仔虾 Newly hatched shrimp
丁酸 C4:0	-	-	-	0.01
己酸 C6:0	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.00
辛酸 C8:0	0.03 ± 0.01 ^a	0.02 ± 0.00 ^a	0.02 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.01 ^b
癸酸 C10:0	0.02 ± 0.01 ^b	0.01 ± 0.01 ^{ab}	0.01 ± 0.00 ^{ab}	0.00 ± 0.00 ^a
月桂酸 C12:0	0.06 ± 0.01 ^a	0.06 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.09 ± 0.01 ^b
十三烷酸 C13:0	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	-
肉豆蔻酸 C14:0	0.87 ± 0.01 ^c	0.81 ± 0.01 ^b	0.81 ± 0.01 ^b	0.73 ± 0.01 ^a
十五烷酸 C15:0	0.48 ± 0.01 ^a	0.50 ± 0.01 ^{ab}	0.50 ± 0.01 ^{ab}	0.52 ± 0.01 ^b
棕榈酸 C16:0	23.52 ± 0.01^a	23.99 ± 0.01^d	23.73 ± 0.01^b	23.89 ± 0.01^c
十七烷酸 C17:0	0.46 ± 0.01 ^a	0.48 ± 0.01 ^{ab}	0.49 ± 0.01 ^b	0.54 ± 0.01 ^c
硬脂酸 C18:0	4.24 ± 0.01^b	4.13 ± 0.01^a	4.14 ± 0.01^a	4.60 ± 0.01^c
花生酸 C20:0	0.28 ± 0.04 ^a	0.22 ± 0.01 ^a	0.28 ± 0.01 ^a	0.41 ± 0.01 ^b
二十一烷酸 C21:0	0.12 ± 0.02 ^a	0.14 ± 0.02 ^a	0.13 ± 0.01 ^a	0.21 ± 0.01 ^b
山嵛酸 C22:0	0.36 ± 0.00 ^b	0.33 ± 0.01 ^a	0.42 ± 0.01 ^c	0.56 ± 0.01 ^d
二十三烷酸 C23:0	1.61 ± 0.01^c	1.52 ± 0.01^a	1.57 ± 0.02^b	2.36 ± 0.01^d
木蜡酸 C24:0	0.08 ± 0.01 ^a	0.09 ± 0.01 ^{ab}	0.10 ± 0.00 ^b	0.16 ± 0.01 ^c
Σ SFA	32.11 ± 0.04 ^a	32.27 ± 0.05 ^b	32.22 ± 0.04 ^b	34.09 ± 0.01 ^c
肉豆蔻脑酸 C14:1n-5	0.01 ± 0.01 ^a	0.00 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.00 ^b
棕榈油酸 C16:1n-7	4.59 ± 0.01^d	4.49 ± 0.01^c	4.05 ± 0.01^a	4.34 ± 0.01^b
十七碳烯酸 C17:1n-7	0.43 ± 0.01 ^{ab}	0.45 ± 0.01 ^b	0.41 ± 0.01 ^a	0.50 ± 0.01 ^c
油酸甲酯 C18:1n-9	32.31 ± 0.01^c	31.83 ± 0.04^b	31.75 ± 0.02^b	31.55 ± 0.08^a
二十碳烯酸 C20:1n-9	0.32 ± 0.01	0.31 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.35 ± 0.07
芥酸 C22:1n-9	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.03 ± 0.01	-
神经酸 C24:1n-9	0.09 ± 0.01 ^c	0.07 ± 0.01 ^b	0.06 ± 0.01 ^b	0.01 ± 0.00 ^a
Σ MUFA	37.76 ± 0.00 ^d	37.17 ± 0.04 ^c	36.62 ± 0.03 ^a	36.77 ± 0.00 ^b
亚麻酸 C18:3n-3	1.70 ± 0.01^c	1.70 ± 0.02^c	1.67 ± 0.01^b	1.47 ± 0.01^a
二十碳三烯酸 C20:3n-3	0.09 ± 0.01 ^b	0.07 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.01 ^c	0.15 ± 0.01 ^d
二十碳五烯酸 C20:5n-3 (EPA)	2.02 ± 0.02^a	2.22 ± 0.01^b	2.09 ± 0.01^b	2.84 ± 0.01^d
二十二碳六烯酸 C22:6n-3 (DHA)	1.17 ± 0.02^b	1.39 ± 0.01^c	1.43 ± 0.01^c	1.12 ± 0.01^a
Σ ω3PUFA	4.94 ± 0.04 ^a	5.34 ± 0.02 ^c	5.25 ± 0.01 ^b	5.56 ± 0.02 ^d
亚油酸 C18:2n-6	23.96 ± 0.01^b	24.13 ± 0.03^c	24.62 ± 0.00^d	22.07 ± 0.02^a
二十碳二烯酸 C20:2n-6	1.15 ± 0.07^b	1.01 ± 0.01^a	1.14 ± 0.01^b	1.45 ± 0.01^c
二十碳三烯酸 C20:3n-6	0.05 ± 0.01 ^b	0.05 ± 0.01 ^b	0.05 ± 0.01 ^b	0.01 ± 0.00 ^a
花生四烯酸 C20:4n-6	0.03 ± 0.01 ^a	0.02 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.01 ^b	0.05 ± 0.00 ^b
二十二碳二烯酸 C22:2n-6	-	-	-	0.01
Σ ω6PUFA	25.20 ± 0.07 ^b	25.23 ± 0.01 ^b	25.89 ± 0.01 ^c	23.59 ± 0.01 ^a
Σ PUFA	30.14 ± 0.04 ^b	30.57 ± 0.01 ^c	31.14 ± 0.0 ^d	29.15 ± 0.01 ^a
EPA + DHA	3.18 ± 0.04 ^a	3.61 ± 0.01 ^c	3.51 ± 0.00 ^b	3.96 ± 0.02 ^d
Σ ω3: Σ ω6	19.58 ± 0.20 ^a	21.15 ± 0.10 ^c	20.28 ± 0.07 ^b	23.55 ± 0.10 ^d

注：“-”表示未检出。同一行中具不同字母标记的值表示差异显著 ($P < 0.05$)。加粗部分脂肪酸为含量大于 1 的脂肪酸。

Notes: “-” indicates not checked out. Data marked with different letters in a row mean significant difference ($P < 0.05$). The fatty acids in the thickened are fatty acids with a content greater than 1.

在澳洲淡水龙虾受精卵内的卵黄中储存着胚胎发育所需的各种营养物质,其中主要有 3 种物质组成,随着胚胎的不断发育,这些物质逐渐分解为胚胎发育各期所必需的物质和能量,其中相对含量最大的是蛋白质,其次为脂类,碳水化合物含量最低。蛋白质是生物体的重要组成物

质,在生物生命活动中具有非常重要的意义。BABU^[18]认为蛋白质作为胚胎的重要能源物质主要在胚胎发育过程用于组织的分化和器官的形成。田华梅等^[5]研究发现,蛋白质不仅参与构成中华绒螯蟹胚胎发育的结构物质,而且也作为主要能源物质被消耗。本研究发现澳洲淡水龙虾

受精卵从前无节幼体期发育到初孵仔虾,胚胎的蛋白质含量显著降低。但卵中蛋白质非常平衡,较少用于氧化供能,主要用于组装形成器官组织。造成胚胎蛋白质含量显著降低的原因可能是胚胎水分含量的显著增加。

脂类是构成生物膜的重要成分,也是主要的供能物质。本研究中,澳洲淡水龙虾胚胎发育过程中,脂肪含量显著降低,说明脂类不仅用于构建生物膜,还作为能量物质被消耗,这与 GARCÍA-GUERRERO 等^[9]、LUO 等^[10] 研究结果相一致。BABU 等^[18] 在对双齿扇蟹胚胎发育的研究中认为脂类不作为主要能源物质被消耗,而是用于分化和形成组织器官,但王桂忠等^[19] 对锯缘青蟹胚胎发育的研究则表明,脂类既参与构成生物膜,又可作为主要的能源物质。

有关甲壳动物胚胎发育过程中灰分变化的研究较少。本研究中,澳洲淡水龙虾从胚胎发育至初孵仔虾时灰分含量显著升高,这可能是由于胚胎中蛋白质及卵黄囊中脂类被大量消耗,灰分相对含量较为稳定,发育至初孵仔虾时,大量灰分用于构成仔虾外壳,在其他物质减少的情况下,灰分比重则显著升高。

3.2 受精卵及初孵仔虾氨基酸组成及含量变化

氨基酸是蛋白质的前体,在胚胎发育过程中既可以参与物质构成也可以作为能源物质被消耗^[10]。本研究中,除牛磺酸外,各氨基酸含量变化趋势同蛋白质一致,均随澳洲淡水龙虾胚胎自前无节幼体期发育至初孵仔虾而显著降低,这与 LUO 等^[10] 研究结果一致,这表明,在这一发育过程中,氨基酸不仅参与物质构成,也作为能源物质被消耗。澳洲淡水龙虾胚胎必需氨基酸含量以精氨酸和赖氨酸较高,非必需氨基酸含量以谷氨酸和天冬氨酸较高。有研究^[20] 表明,甘氨酸、脯氨酸、牛磺酸、谷氨酸和丙氨酸都是重要的非必需氨基酸,而丙氨酸、甘氨酸和精氨酸则可以在缺氧条件下为糖酵解供能。本研究中,牛磺酸含量在澳洲淡水龙虾胚胎发育过程中无显著变化,这可能是由于牛磺酸是动物体内含量最为丰富的游离氨基酸^[21],其自身不参与蛋白质合成,也不作为机体的能量来源^[22]。

3.3 受精卵及初孵仔虾蛋白营养价值评价

有关水产动物卵的蛋白营养价值评价研究主要集中在鱼类^[23-26],对虾卵的研究少见报道,

这可能是因为虾卵直接作为食物比较少见。本研究中,澳洲淡水龙虾胚胎以及初孵仔虾的氨基酸评分和化学评分第一限制性氨基酸均为 Met + Cys,这与刺鲃鱼卵^[23]、金枪鱼卵^[24] 和美洲鲑鱼卵^[25] 研究结果相一致,但与大黄鱼卵^[26]、多春鱼卵^[26]、鮫鱈鱼卵^[26]、鱿鱼卵^[26] 和蓝斑背肛海兔卵^[27] 的研究结果不同,造成这种差异的原因可能是养殖环境的不同,除金枪鱼外,前几种生活在淡水,而后几种则生活在海水。澳洲淡水龙虾在胚胎发育过程中必需氨基酸指数显著降低,这可能是胚胎发育过程中氨基酸供能所致。

3.4 受精卵及初孵仔虾脂肪酸组成变化情况

已有研究^[28] 表明,DHA、棕榈酸、亚油酸、棕榈油酸和花生四烯酸是南美白对虾 (*Penaeus vannamei*) 卵中的主要脂肪酸;EPA、DHA、油酸、棕榈油酸和棕榈酸是日本对虾 (*Penaeus japonicus*) 卵中的主要脂肪酸^[29];棕榈油酸、棕榈酸、亚油酸、花生四烯酸和 DHA 是白对虾 (*Penaeus setiferus*) 幼体中的主要脂肪酸^[30];棕榈油酸、棕榈酸、亚油酸、花生四烯酸、DHA 和 EPA 是中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 卵中主要脂肪酸^[31]。本研究中,澳洲淡水龙虾胚胎及初孵仔虾中主要脂肪酸为棕榈酸、硬脂酸、二十三烷酸、棕榈油酸、油酸甲酯、亚麻酸、亚油酸、二十碳二烯酸、EPA 和 DHA,可见,胚胎及幼体主要脂肪酸组成随虾种类不同也不尽相同,这可能与虾类胚胎发育时间长短不一有关^[32]。在自然水温下对虾类的胚胎发育一般不超过 1 d,日本沼虾的胚胎发育则需要 25 d 左右,而澳洲淡水龙虾胚胎发育一般需要 40 d 左右。

十足目甲壳类可利用亚油酸和亚麻酸部分合成 EPA 和 DHA^[33]。澳洲淡水龙虾胚胎自孵化准备期发育至初孵阶段亚油酸和亚麻酸均显著降低,EPA + DHA 则显著升高,与此观点相符。长链多不饱和脂肪酸是对虾机体中细胞膜等成分的重要组成部分,在对虾的生长发育过程中,长链多不饱和脂肪酸比例不断增加^[31]。澳洲淡水龙虾 ω 3 长链脂肪酸在胚胎自前无节幼体期至复眼色素形成期以及孵化准备期至初孵仔虾两个时期显著升高,表明此时组织器官的形成主要利用 ω 3 长链脂肪酸,而复眼色素形成期至孵化准备期组织器官的构成则主要消耗了 ω 6 长链脂肪酸。

综上所述,澳洲淡水龙虾受精卵蛋白质参与胚胎发育过程中组织和器官的形成,脂肪不仅参与形成组织和器官,同时也作为能源物质被消耗,在发育至初孵仔虾时,大量灰分用于构成仔虾外壳。澳洲淡水龙虾胚胎以及初孵仔虾的氨基酸评分和化学评分第一限制性氨基酸均为 Met + Cys。澳洲淡水龙虾胚胎自前无节幼体期发育至孵化准备期过程中主要消耗单不饱和脂肪,从孵化准备期发育至初孵仔虾主要消耗高不饱和脂肪酸。本研究结果可为澳洲淡水龙虾仔虾开口饵料配制提供理论依据。

参考文献:

- [1] 韦永春,程顺,贾永义,等. 亚硝酸盐对越冬红螯螯虾生理指标及肠道菌群的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(1): 278-287.
WEI Y C, CHENG S, JIA Y Y, et al. Effects of nitrite on physiological indices and intestinal flora of parent *Cherax quadricarinatus* during overwintering[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(1): 278-287.
- [2] 郭占林,李嘉尧,甘信辉,等. 不同脂肪源对红螯光壳螯虾幼虾生长、消化酶活性及其肌肉生化组成的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(5): 996-1004.
GUO Z L, LI J Y, GAN X H, et al. Influence of different lipid sources on growth, digestive enzyme activity and fatty acid composition in juvenile red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 996-1004.
- [3] 王春琳,尹飞,宋微微. 黑斑口虾蛄胚胎和幼体不同发育时期脂类及脂肪酸组成分析[J]. 浙江大学学报(理学版), 2007, 34(2): 223-227.
WANG C L, YIN F, SONG W W. Analysis of lipid and fatty acid composition during embryonic and larval development of *Oratosquilla kempii* [J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2007, 34(2): 223-227.
- [4] ROUSTAIA P, KAMARUDIN M S. Biochemical changes in freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* during larval development[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2001, 31(1): 53-59.
- [5] 田华梅,赵云龙,李晶晶,等. 中华绒螯蟹胚胎发育过程中主要生化成分的变化[J]. 动物学杂志, 2002, 37(5): 18-21.
TIAN H M, ZHAO Y L, LI J J, et al. Biochemical changes during embryonic development in the crab *Eriocheir sinensis* [J]. Chinese Journal of Zoology, 2002, 37(5): 18-21.
- [6] ROSA R, NUNES M L. Biochemical changes during the reproductive cycle of the deep-sea decapod *Nephrops norvegicus* on the south coast of Portugal [J]. Marine Biology, 2002, 141(6): 1001-1009.
- [7] ROSA R, CALADOB R, ANDRADE A M, et al. Changes in amino acids and lipids during embryogenesis of European lobster, *Homarus gammarus* (Crustacea: Decapoda) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2005, 140(2): 241-249.
- [8] ROSA R, MORAIS S, CALADO R, et al. Biochemical changes during the embryonic development of Norway lobster, *Nephrops norvegicus* [J]. Aquaculture, 2003, 221(1/4): 507-522.
- [9] GARCÍA-GUERRERO M, RACOTTA I S, VILLARREAL H. Variation in lipid, protein, and carbohydrate content during the embryonic development of the crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) [J]. Journal of Crustacean Biology, 2003, 23(1): 1-6.
- [10] LUO W, ZHAO Y L, ZENG C, et al. Biochemical changes during the embryonic development of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(3): 303-310.
- [11] HORWITZ W. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists [M]. 16th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [12] BELLAGHA S, AMAMI E, FARHAT A, et al. Drying kinetics and characteristic drying curve of lightly salted sardine (*Sardinella aurita*) [J]. Drying Technology, 2002, 20(7): 1527-1538.
- [13] 孙丽慧,林锋,黄爱霞,等. 拟穴青蟹雄蟹蜕壳周期肌肉与胰腺营养变化趋势[J]. 海洋渔业, 2019, 41(6): 694-703.
SUN L H, LIN F, HUANG A X, et al. On nutritional trends of muscle and hepatopancreas in the molting cycle of male *Scylla paramamosain* [J]. Marine Fisheries, 2019, 41(6): 694-703.
- [14] FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and protein requirement [R]. Geneva: FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973: 40-73.
- [15] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表(全国代表值) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991: 30-82, 92-104.
Institute of Nutrition and Food Hygiene, Chinese Academy of Preventive Medicine. Food composition (national representative value) [M]. Beijing: People's Health Publishing House, 1991: 30-82, 92-104.
- [16] PELLETT P L, YONG V R. Nutritional evaluation of protein foods [M]. Tokyo: The United National University Publishing Company, 1980: 26-29.
- [17] PANDIAN T J. Yolk utilization and hatching time in the Canadian lobster *Homarus americanus* [J]. Marine Biology, 1970, 7(3): 249-254.
- [18] BABU D E. Observations on the embryonic development and energy source in the crab *Xantho bidentatus* [J]. Marine Biology, 1987, 95(1): 123-127.

- [19] 王桂忠, 汤鸿, 李少菁, 等. 锯缘青蟹胚胎发育过程主要生化组成[J]. 台湾海峡, 1995, 14(3): 280-283.
WANG G Z, TANG H, LI S J, et al. Biochemical composition for mud crab *Scylla serrata* during embryonic development[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1995, 14(3): 280-283.
- [20] GÄDE D, GRIESHABER M K. Pyruvate reductases catalyze the formation of lactate and opiates in anaerobic invertebrates [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, 1986, 83(2): 255-272.
- [21] HUXTABLE R J. Physiological actions of taurine [J]. Physiological Reviews, 1992, 72(1): 101-163.
- [22] 陆壮, 吕武兴, 舒剑成, 等. 牛磺酸的生物学功能及其在动物生产中的应用[J]. 饲料工业, 2021, 42(6): 15-20.
LU Z, LYU W X, SHU J C, et al. The biological functions and application in animal production of Taurine [J]. Feed Industry, 2021, 42(6): 15-20.
- [23] 李成, 程小飞, 洪波, 等. 刺鲃鱼卵营养成分分析及评价[J]. 动物营养学报, 2016, 28(7): 2204-2212.
LI C, CHENG X F, HONG B, et al. Nutritional analysis and evaluation on eggs of *Spinibarbus caldwelli* [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(7): 2204-2212.
- [24] 王斌, 邹华威, 李龙岩. 金枪鱼鱼卵营养成分分析及营养评价[J]. 广东海洋大学学报, 2020, 40(2): 111-116.
WANG B, WU H W, LI L Y. Analysis and evaluation of the nutritional compositions of Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) Roes [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2020, 40(2): 111-116.
- [25] 施永海, 徐嘉波, 谢永德, 等. 美洲鲟鱼卵营养成分分析及评价[J]. 水产科学, 2020, 39(3): 407-413.
SHI Y H, XU J B, XIE Y D, et al. Nutritional composition analysis and evaluation of eggs in American Shad *Alosa sapidissima* [J]. Fisheries Science, 2020, 39(3): 407-413.
- [26] 郑婷婷, 周静, 翁欣, 等. 四种海产鱼卵的营养成分差异性分析及评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(13): 244-249.
ZHENG T T, ZHOU J, WENG X, et al. Analysis and evaluation of nutritional components of four types of marine aquatic roes [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(13): 244-249.
- [27] 孙玉林, 赵娟, 罗琴琴, 等. 蓝斑背肛海兔卵营养成分分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(23): 220-227.
SUN Y L, ZHAO J, LUO Q Q, et al. Analysis and evaluation of nutritional components of the *Notarchus leachii freeri* eggs [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(23): 220-227.
- [28] 蔡生力, 刘福军, 冯普刚. 南美白对虾卵和无节幼体脂肪酸组成及其与饵料的关系[J]. 中国水产科学, 2002, 9(2): 142-146.
CAI S L, LIU F J, FENG P G. Fatty acid profiles in egg and nauplius of *Penaeus vannamei* and the relationship with maturation diets [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2002, 9(2): 142-146.
- [29] TESHIMA S I, KANAZAWA A. Variation in lipid compositions during the larval development of the prawn (*Penaeus japonicus*) [J]. Memoirs of Faculty of Fisheries Kagoshima University, 1986, 31: 205-212.
- [30] WARD G D, MIDDLEDITCH B S, MISSLER S R, et al. Fatty acid changes during larval development of *Penaeus setiferus* [J]. Proceedings of the World Mariculture Society, 1979, 10(1/4): 464-471.
- [31] 季文娟. 中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 幼体发育各阶段脂肪酸组成的研究[J]. 中国水产科学, 1996, 3(4): 28-34.
JI W J. Fatty acid changes during larval development of *Penaeus chinensis* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1996, 3(4): 28-34.
- [32] 张志峰, 廖承义, 王海林, 等. 中国对虾胚胎发育的研究[J]. 水产学报, 1997, 21(2): 201-215.
ZHANG Z F, LIAO C Y, WANG H L, et al. Studies on embryonic development of *Penaeus chinensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 1997, 21(2): 201-215.
- [33] JONES D A, KANAZAWA A, ONO K. Studies on the nutritional requirements of the larval stages of *Penaeus japonicus* using microencapsulated diets [J]. Marine Biology, 1979, 54(3): 261-267.

Analysis of change of nutrients from fertilized eggs to newly hatched shrimp of *Cherax quadricarinatus*

SUN Lihui^{1,2}, LI Qian^{1,2}, ZHANG Haiqi^{1,2}, JIANG Jianhu^{1,2}, CHEN Jianming^{1,2}, GAO Lingmei^{1,2}, GUO Jianlin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Healthy Freshwater Aquaculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, Zhejiang, China; 2. Key Laboratory of Fish Health and Nutrition of Zhejiang Province, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, Zhejiang, China)

Abstract: In order to explore the changes of nutrients in the fertilized eggs of Australian freshwater lobster during development, the fertilized eggs in the egg-nauplius stage, the embryo with eye pigment forming stage, the prepare-hatchling stage and newly hatched shrimp were systematically analyzed in this study. The results showed that, moisture content in fertilized eggs increased significantly with the development of fertilized eggs to newly hatched shrimp, crude protein and lipid content decreased significantly with the development process, the ash content of newly hatched shrimp was the highest; Total amino acids, essential amino acids, and flavoring amino acids content of fertilized eggs decreased significantly with the development process; Based on the nutritional evaluation by amino acids score (AAS) and chemical score (CS), (Met + Cys) was the first limiting amino acids of fertilized eggs and newly hatched shrimp; EAAI of fertilized eggs and newly hatched shrimp decreased significantly with the development of fertilized eggs to newly hatched shrimp; 10 main fatty acids were detected in fertilized eggs and newly hatched shrimp of Australian freshwater lobster, and the contents of PUFA and DHA in newly hatched shrimp were significantly lower than those in fertilized eggs, but the content of EPA + DHA was significantly higher than that of fertilized eggs. In conclusion, the content of ash and EPA + DHA of newly hatched shrimp were significantly higher than those of fertilized eggs, so the addition of calcium dihydrogen phosphate and EPA + DHA can be appropriately increased in the preparation of open bait for Australian freshwater lobster larvae.

Key words: *Cherax quadricarinatus*; fertilized egg; newly hatched shrimp; nutrients