

# Amino Acid Content and Composition in Female American Shad, *Alosa sapidissima*, at Different Stages of Ovarian Development

Xiaoqiang Gao<sup>1</sup>, Lei Hong<sup>1</sup>, Zhifeng Liu<sup>1</sup>, Changtao Guan<sup>1</sup>, Leiming Meng<sup>2</sup>, Yan Li<sup>3</sup>, Bin Huang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory for Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Chinajing Science and Technology Investment Co., Ltd., Beijing

<sup>3</sup>Beijing Branch of Construction and Administration Bureau of South-to-North Water Diversion Middle Route Project, Beijing

Email: gaoxq@ysfri.ac.cn, \*huangbin@ysfri.ac.cn

Received: Nov. 18<sup>th</sup>, 2019; accepted: Nov. 29<sup>th</sup>, 2019; published: Dec. 6<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

In the study, we determined the amino acids contents and compositions of the muscle, liver and gonad tissues of American shad brood stocks and analyzed the amino acid changes during the gonad development. The results indicated that the total amino acid contents of liver was higher than that in ovary tissue as the ovary in the development from II to IV stages, but at V and VI stages, the total amino acid contents of ovary were higher than that in liver tissue. Glu, Asp, Leu, Arg and Ala were dominant in total amino acid composition of the muscle, and the total amino acid contents of muscle in II, III and IV stages were significantly higher than those in V and VI stages; while Glu, Asp, Lys and Leu were dominant in total amino acid composition of the liver, and with the development of the gonad, the total amino acid contents of liver in V and VI stages were significantly higher than that in II stage; In addition, Glu, Asp, Leu, Val and Ala were dominant in total amino acid composition of ovary, and with the development of ovaries, the total amino acid contents of ovary in II, III and IV stages were significantly lower than those in V and VI stages. It is therefore suggested that the amino acid was preferentially transferred from muscle and liver to ovary with the maturation of gonad except the normal physical energy consumption. From the percentage composition of amino acids, the amino acid composition in the various tissues was relatively stable at different development stages, reflecting the conservation of amino acid composition of species.

## Keywords

American Shad *Alosa sapidissima*, Gonad Development, Muscle, Liver, Ovarian, Amino Acid

\*通讯作者。

# 美洲鲟卵巢发育不同阶段氨基酸组成及含量变化

高小强<sup>1</sup>, 洪磊<sup>1</sup>, 刘志峰<sup>1</sup>, 关长涛<sup>1</sup>, 孟雷明<sup>2</sup>, 李燕<sup>3</sup>, 黄滨<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室, 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛

<sup>2</sup>中京科技投资有限责任公司, 北京

<sup>3</sup>南水北调中线干线工程建设管理局北京分局, 北京

Email: gaioxq@ysfri.ac.cn, huangbin@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2019年11月18日; 录用日期: 2019年11月29日; 发布日期: 2019年12月6日

## 摘要

本文对美洲鲟亲鱼肌肉、肝脏和卵巢组织的氨基酸含量及组成进行了测定, 并分析了不同性腺发育阶段的氨基酸变化。结果表明, 卵巢处于II、III和IV期发育阶段的美洲鲟亲鱼, 其总氨基酸含量均表现为在肝脏中含量高于卵巢组织, 而在V和VI两个阶段, 亲鱼卵巢中总氨基酸含量高于肝脏组织。在总氨基酸的组成上, 肌肉含量高的氨基酸为谷氨酸、天冬氨酸、亮氨酸、精氨酸和丙氨酸, 且卵巢处于II、III和IV期的亲鱼肌肉总氨基酸含量均显著高于V和VI期; 肝脏含量较高的分别为谷氨酸、天冬氨酸、赖氨酸和亮氨酸, 随着卵巢的发育, V和VI期肝脏总氨基酸含量均显著高于II期; 卵巢含量较高的分别为谷氨酸、天冬氨酸、亮氨酸、缬氨酸和丙氨酸, 随着卵巢的发育, II、III和IV期卵巢组织中总氨基酸含量显著低于V和VI期。综上所述, 美洲鲟亲鱼在繁殖季节, 除了正常的生理活动耗能外, 也存在氨基酸由肌肉和肝脏向卵巢中转移的现象。从氨基酸百分比组成上看, 不同发育阶段各个组织的氨基酸组成均较为稳定, 反映了物种氨基酸组成的保守性。

## 关键词

美洲鲟, 性腺发育, 肌肉, 肝脏, 卵巢, 氨基酸

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

营养物质是维持生物体生命、生长和繁殖的基础, 鱼类繁殖对于营养的需求与生长对营养的需求是完全不同的, 大多数鱼类在性腺发育前积累大量的营养物质, 一方面为生殖洄游等活动提供代谢能外, 一方面也是生殖细胞发生发育过程中必需储备的重要能源和结构物质。鱼类性腺的正常发育是开展人工繁育及养殖的前提, 也是保证其物种繁衍生息的根本。有研究表明, 亲鱼营养贮备量在很大程度上影响鱼类的繁殖力、排卵、受精率、孵化率及仔鱼质量等, 它的有效沉积是产生高质量配子的必要条件[1] [2] [3] [4] [5]。鱼类胚胎及仔鱼早期发育过程中所需的营养主要来源于储存在卵子内的内源性物质。在海水

鱼类早期发育过程中,氨基酸是其组织器官正常发生发育的重要营养物质,也是代谢能量来源之一[6]。目前,姚俊杰等对繁殖期黄颡鱼各个组织器官中的氨基酸和脂肪酸组成开展了研究[7]; Vollenweider 等对深海鱼体成分季节组成及能量变化进行了研究[8]; Zhou 等分析了繁殖期中华鲟关键营养物质的组成变化[9]; Kaçar 等报道了真刺鲃繁殖过程中性腺、肝脏的磷脂和三酰甘油的动态变化[10]; 姜志强等对太平洋鳕性腺发育不同发育期的性腺、肝脏和肌肉的生化组成、能量密度变化进行了研究[11]。以上结果均表明了繁殖期亲鱼各个组织器官的营养物质比例均会出现显著性的变化。因此,了解亲鱼性腺发育过程中组织器官相关营养物质的变化,将有助于人们更好的认知亲鱼营养生理特性及其性腺发育过程中对相应营养物质的合理需求。

美洲西鲱(*Alosa sapidissima*)又名美洲鲈,隶属于鲱形目(Clupeiformes)、鲱科(Clupeidae)、西鲱属(*Alosa*),为北美洲大西洋海岸具有重要的生态学和经济意义的洄游性鱼类。美洲鲈自 21 世纪引入我国,并开展了大量的繁育攻关工作,取得了较大的成果,在我国美洲鲈已逐步作为我国鲈替代品,成为市场上备受欢迎的名贵淡水鱼类之一。目前,一些学者分别对美洲鲈早期发育、苗种培育等养殖技术方面进行全方位的研究,阐述了美洲鲈早期形态发育特点、生长发育、摄食规律及养殖过程中的关键技术[12][13][14][15][16]; 而有关美洲鲈亲鱼营养需求方面研究较少,因此,本文对渤海产卵鱼类,完全淡水化养殖的美洲鲈繁殖周期中的氨基酸组成及含量变化进行了研究,旨在了解繁殖期美洲鲈鱼各组织的营养状况,明确亲鱼的营养水平,以期为开展美洲鲈亲鱼专属饲料的配置及苗种成活率的提高提供重要的理论依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 样本采集

美洲亲鱼培育及水质条件详见高小强等报道[12]。2015 年 10 月到 2016 年 10 月在江苏中洋集团养殖基地进行美洲鲈样品周期收集,共采集美洲鲈 288 尾,其中雌鱼 164 尾。每月随机抓捕的亲鱼 MSSS 适量麻醉后,取不同发育时期亲鱼置于冰盘上解剖,迅速摘取亲鱼卵巢、肝脏和两侧无骨大侧肌,去除鱼皮。放入 $-20^{\circ}\text{C}$ 冰箱暂存后置于 $-80^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存备用。根据卵巢组织学切片确定发育时期[17]。选取相应发育时期的各个组织进行营养指标的检测。

### 2.2. 样品前处理

美洲鲈各个器官组织前处理方法参考国标法(GB/T5009.124-2003),稍作调整。具体方法如下,将组织样品于冰盘上剪切成块,并用研磨器进行匀浆。称取混合均匀样品 10~20 g,置于安瓿瓶中。将 15 ml 1:1 HCl (6 M)加入到安瓿瓶中,轻轻晃动。应用高纯氮气排空安瓿瓶中多余的空气(氮吹 10~15 min)。使用酒精喷灯进行封口,将其置于 109~110 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中,水解 22~24 h。取出安瓿瓶,使其降至室温,随后量取 10 ml NaOH (6 M)倒入瓶中,混匀,静止 3~5 min 后,将安瓿瓶中水解样品倒入 100 ml 容量瓶,应用 0.02 M HCl 润洗三次后将其定容到 100 ml。0.45  $\mu\text{m}$  滤膜过滤后,装入分析瓶中,待上机。

### 2.3. 氨基酸分析

应用日立 L-8900 全自动氨基酸分析仪分别测定亲鱼肌肉、肝脏和卵巢中的氨基酸含量。分析条件为:样品量 20  $\mu\text{l}$ , 泵 1 流速 0.4 mL/min, 压力 6.0 MPa, 泵 2 流速 0.35 mL/min, 压力 0.8 MPa。分离柱温 50 $^{\circ}\text{C}$ , 反应柱温 135 $^{\circ}\text{C}$ 。

### 2.4. 数据统计及分析

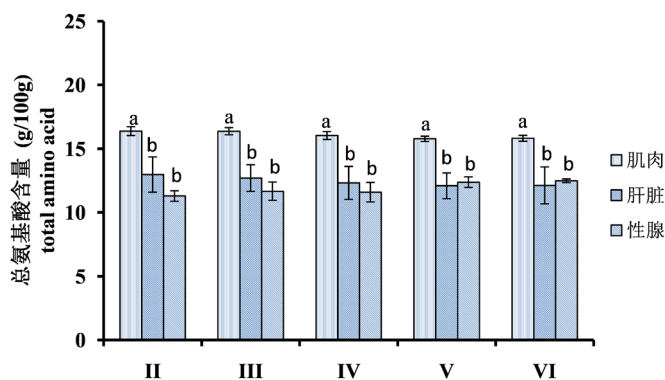
统计分析采用 SPSS 18.0 进行处理,实验结果以平均值  $\pm$  标准差(Mean  $\pm$  SD)的方式表示,利用单因

子方差分析(One-way ANOVA)来检验差异显著性,用Duncans进行多重比较检验,当 $P < 0.05$ ,则组间差异显著。

### 3. 结果

#### 3.1. 性腺发育过程中美洲鲈各个组织中总氨基酸含量变化

美洲鲈亲鱼肌肉中总氨基酸含量在各个发育阶段(II、III、IV、V和VI)均显著高于肝脏和卵巢组织( $P < 0.05$ )。卵巢处于II、III和IV期发育阶段的美洲鲈亲鱼,其总氨基酸含量均表现为在肝脏中含量高于卵巢组织,但差异不显著( $P > 0.05$ ),而在V和VI两个阶段,亲鱼卵巢中总氨基酸含量高于肝脏组织,但差异不显著( $P > 0.05$ ) (图1)。



注:同一发育时期各个组织间不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

**Figure 1.** The contents change of total amino acid in different tissues of American shad brood stocks during the gonadal development stage  
**图1.** 在性腺发育阶段,美洲鲈亲鱼各个组织中总氨基酸含量变化

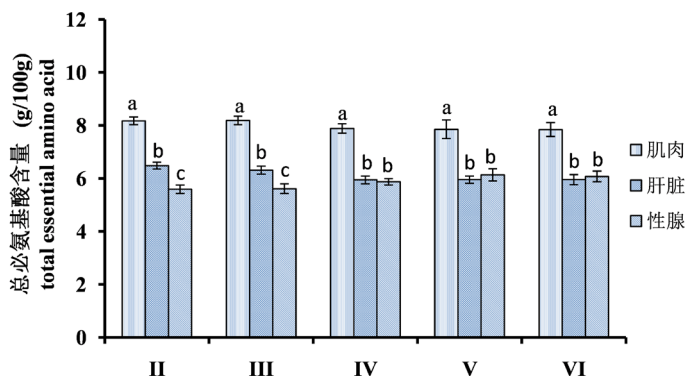
美洲鲈亲鱼各个组织中的总必需氨基酸含量的变化规律与组织间总氨基酸含量的变化规律类似(图2)。总必需氨基酸占总氨基酸的百分含量在不同组织间的变化见图3,可知,卵巢处于II和III期时,卵巢中总必需氨基酸百分含量均低于肌肉和肝脏组织,但差异不显著( $P > 0.05$ );而IV期亲鱼卵巢中总必需氨基酸百分含量均高于肌肉和肝脏组织,但差异不显著( $P > 0.05$ );卵巢处于V和VI期发育阶段的美洲鲈亲鱼,其卵巢中的必需氨基酸百分含量具有降低趋势,但与肌肉和肝脏组织的必需氨基酸百分含量差异不显著( $P > 0.05$ )。

#### 3.2. 卵巢发育过程中美洲鲈各个组织的氨基酸变化

不同性腺发育阶段美洲鲈肌肉组织氨基酸含量及组成见表1。美洲鲈肌肉共测出18种常见的氨基酸,包括8种必需氨基酸(EAA)、2种半必需氨基酸(HEAA)和8种非必需氨基酸(NEAA)。不同发育阶段,肌肉组织中各个氨基酸含量及组成并没有显著差异,其中含量较高的为谷氨酸、天冬氨酸、亮氨酸、精氨酸和丙氨酸,而胱氨酸、蛋氨酸和组氨酸含量相对较低。在总氨基酸的含量上,卵巢处于II、III和IV期的亲鱼肌肉总氨基酸含量均显著高于V和VI期亲鱼总氨基酸含量( $P < 0.05$ )。

不同性腺发育阶段美洲鲈肝脏组织氨基酸含量及组成见表2。美洲鲈肝脏共测出18种常见的氨基酸。在总氨基酸组成上,不同卵巢发育阶段的美洲鲈亲鱼的肝脏氨基酸组成上无显著变化,其中含量较高的分别为谷氨酸、天冬氨酸、赖氨酸和亮氨酸,而胱氨酸、组氨酸、和蛋氨酸的含量相对较低。对于总氨基酸含量上,随着卵巢的发育,肝脏组织总氨基酸含量逐渐降低,其中II、III和IV期差异不显著( $P > 0.05$ ),

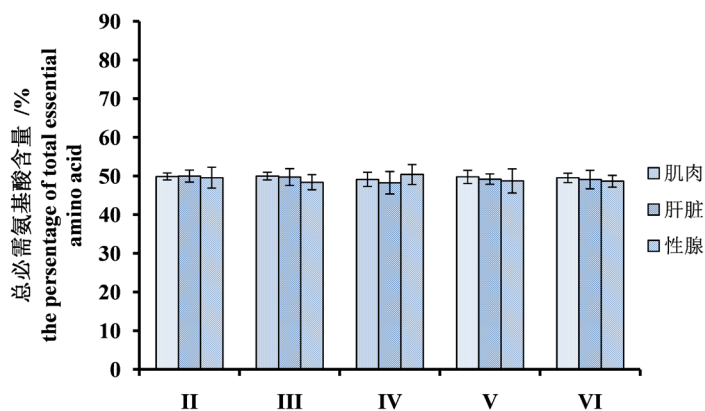
V 和 VI 期均显著高于 II 期( $P < 0.05$ )。



注：同一发育时期各个组织间不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

**Figure 2.** The contents change of total essential amino acid in different tissues of American shad brood stocks during the gonadal development stage

**图 2.** 在性腺发育阶段美洲鲟亲鱼各个组织中总必需氨基酸含量变化



**Figure 3.** The percentage change of total essential amino acid in different tissues of American shad brood stocks during the gonadal development stage

**图 3.** 在性腺发育阶段美洲鲟亲鱼各个组织中总必需氨基酸百分含量变化

**Table 1.** The contents and composition of total amino acid in the muscle of female American shad (*Alosa sapidissima*) in different gonad development periods

**表 1.** 不同性腺发育阶段雌性美洲鲟肌肉总氨基酸含量及组成(湿重)

处理 Treatments	II 期	III 期	IV 期	V 期	VI 期
天冬氨酸 Asp	1.58 ± 0.10	1.54 ± 0.11	1.57 ± 0.09	1.54 ± 0.06	1.55 ± 0.05
苏氨酸 Thr	0.80 ± 0.02	0.83 ± 0.02	0.80 ± 0.02	0.81 ± 0.06	0.79 ± 0.04
丝氨酸 Ser	0.62 ± 0.04	0.65 ± 0.07	0.62 ± 0.03	0.64 ± 0.06	0.61 ± 0.06
谷氨酸 Glu	2.05 ± 0.03	2.01 ± 0.10	2.07 ± 0.17	2.02 ± 0.09	2.05 ± 0.12
甘氨酸 Gly	0.79 ± 0.08	0.82 ± 0.06	0.80 ± 0.05	0.73 ± 0.02	0.74 ± 0.09
丙氨酸 Ala	0.98 ± 0.12	1.01 ± 0.08	0.97 ± 0.04	0.90 ± 0.01	0.91 ± 0.09

## Continued

胱氨酸 Cys	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.07 ± 0.02	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.01
缬氨酸 Val	0.88 ± 0.08	0.90 ± 0.05	0.85 ± 0.10	0.89 ± 0.10	0.86 ± 0.03
蛋氨酸 Met	0.52 ± 0.08	0.54 ± 0.06	0.49 ± 0.04	0.50 ± 0.05	0.51 ± 0.03
异亮氨酸 Ile	0.82 ± 0.09	0.83 ± 0.04	0.83 ± 0.04	0.76 ± 0.07	0.79 ± 0.5
亮氨酸 Leu	1.25 ± 0.11	1.26 ± 0.08	1.21 ± 0.05	1.17 ± 0.02	1.16 ± 0.15
酪氨酸 Tyr	0.60 ± 0.01	0.62 ± 0.05	0.61 ± 0.03	0.59 ± 0.05	0.60 ± 0.03
苯丙氨酸 Phe	0.74 ± 0.04	0.70 ± 0.05	0.71 ± 0.07	0.71 ± 0.07	0.73 ± 0.02
组氨酸 His	0.57 ± 0.05	0.55 ± 0.03	0.57 ± 0.02	0.54 ± 0.05	0.53 ± 0.04
赖氨酸 Lys	1.58 ± 0.09	1.55 ± 0.06	1.57 ± 0.08	1.48 ± 0.13	1.52 ± 0.07
精氨酸 Arg	1.01 ± 0.05	1.02 ± 0.12	0.85 ± 0.10	0.99 ± 0.10	0.95 ± 0.05
脯氨酸 Pro	0.63 ± 0.05	0.62 ± 0.04	0.59 ± 0.04	0.59 ± 0.03	0.65 ± 0.11
色氨酸(Trp)	0.83 ± 0.11	0.81 ± 0.08	0.86 ± 0.12	0.85 ± 0.05	0.80 ± 0.04
必需氨基酸 TEAA	8.17 ± 0.15	8.18 ± 0.16	7.88 ± 0.18	7.85 ± 0.35	7.84 ± 0.26
必需氨基酸 EAAR	49.89 ± 0.88	49.96 ± 0.99	49.13 ± 1.85	49.78 ± 1.70	49.54 ± 1.21
总氨基酸 TAA	16.38 ± 0.35 <sup>a</sup>	16.37 ± 0.28 <sup>a</sup>	16.04 ± 0.31 <sup>ab</sup>	15.77 ± 0.21 <sup>b</sup>	15.81 ± 0.24 <sup>b</sup>

数据表示方式为平均值 ± 标准差, 不同字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

**Table 2.** The contents and composition of total amino acid in the live of female American shad (*Alosa sapidissima*) in different gonad development periods (wet weight)

**表 2.** 不同性腺发育阶段雌性美洲鲈肝脏总氨基酸含量及组成(湿重)

处理 Treatments	II 期	III 期	IV 期	V 期	VI 期
天冬氨酸 Asp	1.23 ± 0.11	1.22 ± 0.06	1.30 ± 0.47	1.11 ± 0.15	1.09 ± 0.22
苏氨酸 Thr	0.71 ± 0.14	0.70 ± 0.05	0.68 ± 0.04	0.67 ± 0.06	0.69 ± 0.05
丝氨酸 Ser	0.53 ± 0.11	0.51 ± 0.04	0.56 ± 0.09	0.50 ± 0.05	0.53 ± 0.03
谷氨酸 Glu	1.45 ± 0.13	1.42 ± 0.25	1.43 ± 0.21	1.42 ± 0.25	1.41 ± 0.16
甘氨酸 Gly	0.71 ± 0.11	0.65 ± 0.09	0.65 ± 0.08	0.64 ± 0.07	0.64 ± 0.06
丙氨酸 Ala	0.85 ± 0.07	0.87 ± 0.11	0.83 ± 0.06	0.85 ± 0.08	0.85 ± 0.06
胱氨酸 Cys	0.06 ± 0.02	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.01
缬氨酸 Val	0.73 ± 0.04	0.76 ± 0.16	0.68 ± 0.04	0.71 ± 0.07	0.68 ± 0.07
蛋氨酸 Met	0.39 ± 0.06	0.33 ± 0.05	0.30 ± 0.02	0.34 ± 0.06	0.33 ± 0.03
异亮氨酸 Ile	0.73 ± 0.08	0.72 ± 0.06	0.67 ± 0.11	0.63 ± 0.07	0.65 ± 0.11
亮氨酸 Leu	1.15 ± 0.13	1.11 ± 0.13	0.98 ± 0.24	1.01 ± 0.10	0.99 ± 0.14
酪氨酸 Tyr	0.52 ± 0.11	0.47 ± 0.02	0.41 ± 0.04	0.45 ± 0.10	0.46 ± 0.05
苯丙氨酸 Phe	0.70 ± 0.15	0.64 ± 0.09	0.60 ± 0.05	0.63 ± 0.07	0.64 ± 0.06
组氨酸 His	0.33 ± 0.02	0.30 ± 0.06	0.32 ± 0.07	0.30 ± 0.07	0.32 ± 0.03
赖氨酸 Lys	1.20 ± 0.11	1.24 ± 0.21	1.22 ± 0.16	1.13 ± 0.22	1.13 ± 0.20
精氨酸 Arg	0.54 ± 0.06	0.51 ± 0.10	0.49 ± 0.05	0.53 ± 0.06	0.52 ± 0.06
脯氨酸 Pro	0.56 ± 0.03	0.52 ± 0.01	0.56 ± 0.09	0.47 ± 0.07	0.48 ± 0.05
色氨酸(Trp)	0.62 ± 0.02	0.67 ± 0.04	0.63 ± 0.09	0.64 ± 0.04	0.65 ± 0.05
必需氨基酸 TEAA	6.48 ± 0.13 <sup>a</sup>	6.31 ± 0.15 <sup>a</sup>	5.94 ± 0.15 <sup>b</sup>	5.95 ± 0.14 <sup>b</sup>	5.95 ± 0.19 <sup>b</sup>
必需氨基酸 EAAR	49.99 ± 1.55	49.74 ± 2.16	48.26 ± 2.89	49.20 ± 1.33	49.09 ± 2.38
总氨基酸 TAA	12.97 ± 0.24 <sup>a</sup>	12.70 ± 0.59 <sup>ab</sup>	12.32 ± 0.51 <sup>ab</sup>	12.09 ± 0.18 <sup>b</sup>	12.12 ± 0.37 <sup>b</sup>

数据表示方式为平均值 ± 标准差, 不同字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ )。



不同性腺发育阶段美洲鲈性腺组织氨基酸含量及组成见表 3。在总氨基酸组成上, 不同性腺发育阶段的美洲鲈亲鱼的卵巢氨基酸组成上无显著变化, 其中含量较高的分别为谷氨酸、天冬氨酸、亮氨酸、缬氨酸和丙氨酸, 而胱氨酸、组氨酸、和蛋氨酸的含量相对较低。对于总氨基酸含量上, 随着卵巢的发育, II、III 和 IV 期卵巢组织中总氨基酸含量显著低于 V 和 VI 期中总氨基酸含量( $P < 0.05$ )。

**Table 3.** The contents and composition of total amino acid in the gonad of female American shad (*Alosa sapidissima*) in different gonad development periods (wet weight)

**表 3.** 不同性腺发育阶段雌性美洲鲈性腺重总氨基酸含量及组成(湿重)

处理 Treatments	II 期	III 期	IV 期	V 期	VI 期
天冬氨酸 Asp	1.00 ± 0.16	1.02 ± 0.13	1.02 ± 0.20	1.25 ± 0.13	1.15 ± 0.18
苏氨酸 Thr	0.68 ± 0.05	0.66 ± 0.07	0.66 ± 0.25	0.65 ± 0.07	0.74 ± 0.07
丝氨酸 Ser	0.52 ± 0.00	0.56 ± 0.03	0.57 ± 0.05	0.57 ± 0.08	0.65 ± 0.06
谷氨酸 Glu	1.23 ± 0.28	1.42 ± 0.10	1.29 ± 0.49	1.50 ± 0.42	1.57 ± 0.20
甘氨酸 Gly	0.60 ± 0.03	0.62 ± 0.02	0.66 ± 0.06	0.62 ± 0.06	0.63 ± 0.07
丙氨酸 Ala	0.83 ± 0.21	0.76 ± 0.11	0.85 ± 0.18	0.92 ± 0.17	0.88 ± 0.11
胱氨酸 Cys	0.12 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.14 ± 0.04	0.16 ± 0.02	0.14 ± 0.02
缬氨酸 Val	0.89 ± 0.09	0.84 ± 0.14	0.84 ± 0.21	1.03 ± 0.21	0.92 ± 0.14
蛋氨酸 Met	0.27 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.27 ± 0.08	0.32 ± 0.10	0.30 ± 0.05
异亮氨酸 Ile	0.60 ± 0.06	0.58 ± 0.09	0.64 ± 0.10	0.69 ± 0.09	0.64 ± 0.05
亮氨酸 Leu	0.81 ± 0.25	0.83 ± 0.09	0.93 ± 0.31	1.14 ± 0.26	0.98 ± 0.08
酪氨酸 Tyr	0.55 ± 0.12	0.53 ± 0.05	0.50 ± 0.09	0.61 ± 0.05	0.63 ± 0.07
苯丙氨酸 Phe	0.52 ± 0.03	0.54 ± 0.01	0.51 ± 0.11	0.55 ± 0.07	0.54 ± 0.06
组氨酸 His	0.32 ± 0.03	0.34 ± 0.01	0.28 ± 0.09	0.31 ± 0.11	0.31 ± 0.04
赖氨酸 Lys	0.79 ± 0.01	0.85 ± 0.08	0.77 ± 0.23	0.91 ± 0.40	0.76 ± 0.12
精氨酸 Arg	0.71 ± 0.13	0.68 ± 0.06	0.67 ± 0.15	0.75 ± 0.06	0.68 ± 0.09
脯氨酸 Pro	0.48 ± 0.09	0.55 ± 0.08	0.53 ± 0.07	0.60 ± 0.13	0.51 ± 0.03
色氨酸(Trp)	0.44 ± 0.06	0.47 ± 0.04	0.44 ± 0.02	0.43 ± 0.01	0.45 ± 0.04
必需氨基酸 TEAA	5.59 ± 0.16 <sup>a</sup>	5.61 ± 0.18 <sup>a</sup>	5.87 ± 0.12 <sup>a</sup>	6.13 ± 0.23 <sup>b</sup>	6.07 ± 0.20 <sup>b</sup>
必需氨基酸 EAAR	49.57 ± 2.70	48.39 ± 1.97	50.39 ± 2.56	48.75 ± 3.09	48.67 ± 1.52
总氨基酸 TAA	11.29 ± 0.29 <sup>a</sup>	11.59 ± 0.37 <sup>a</sup>	11.67 ± 0.42 <sup>a</sup>	12.58 ± 0.34 <sup>b</sup>	12.48 ± 0.15 <sup>b</sup>

数据表示方式为平均值 ± 标准差, 不同字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

#### 4. 讨论

鱼类性腺发育具有周期性。当处在繁殖季节时, 鱼类将会动用全身储存的营养物质和能量进行生殖活动, 从而以保证其种群的正常繁衍及延续。美洲鲈属于溯河产卵鱼类, 洄游前卵巢在海中发育到 III 阶段, 完成对营养物质的积累, 随着洄游的进行, 性腺逐渐发育成熟, 并最终在河流上游开始产卵, 完成后洄游到大海, 在洄游过程中很少摄食。本研究对于溯河产卵鱼类, 完全淡水化繁殖的营养特性进行了研究。从美洲鲈亲鱼总氨基酸含量的数据表明, 处于 II、III 和 IV 卵巢发育阶段的亲鱼, 其各个组织中的总氨基酸含量大小顺序基本为肌肉 > 肝脏 > 卵巢; 而处于 V 和 VI 期卵巢发育阶段的亲鱼, 其各

个组织中的总氨基酸含量大小顺序则变为肌肉 > 卵巢 > 肝脏(见图 1)。而且在美洲鲈亲鱼卵巢从 II 期发育到 V 期的过程中, 肌肉和肝脏中的总氨基酸含量显著下降, 总必需氨基酸也表现出了类似的变化。一方面可能与美洲鲈在繁殖过程中的生活习性有很大关系。美洲鲈在产卵期内摄食较少或基本不摄食, 大部分处于空胃状态。有研究也表明了产卵后的美洲鲈体重损失 69%, 肝脏萎缩到正常情况下的 20%, 胃缩小到原来的 5% 左右[18]。一般而言, 处于饥饿状态下的鱼类将会首先动用组织中储存的能量物质, 如脂肪等, 而随着饥饿时间的进一步增加, 鱼类会启动一定比例的蛋白质作为能量消耗, 从而来满足机体的代谢耗能[19] [20] [21]。另一方面这可能与卵巢中卵黄的形成有关。卵黄蛋白属于一种高密度糖脂蛋白, 是所有卵生动物卵黄的主要营养成分, 在卵黄发生期迅速积累, 并储存在卵中, 是胚胎及早期幼体正常发育的主要营养物质来源。鱼类卵巢中卵黄蛋白的合成, 主要通过雌性激素的作用下, 首先在肝脏中进行卵黄磷脂蛋白的合成, 之后被转移到血液中, 作为卵黄前体被卵巢卵母细胞吸收, 并储存在卵母细胞中[22]。美洲鲈产卵类型属于部分同步产卵类型, 在 IV 和 V 期卵巢中, 仍然存在着一比例 III 时相的卵母细胞, 肝脏合成和转化卵黄磷脂蛋白功能依旧比较旺盛。可见, 美洲鲈亲鱼在繁殖季节, 除了正常的生理活动耗能外, 也需要大量营养物质促进卵巢的生长发育, 因此, 在不摄食的状态下, 只能动用机体组织储存的大量营养物质, 从而导致了亲鱼肌肉和肝脏总氨基酸的下降。很多研究均表明了海水鱼类性腺发育过程中的营养来源主要来源于肝脏和肌肉上[23] [24] [25] [26]。这与黄旭雄等对银鲳、姜志强等对太平洋鲷的研究结果类似[11] [27]。另外, 在美洲亲鱼卵巢从 II 期发育到 IV 期, 卵巢中总氨基酸含量逐渐增加, 而发育到第 V 期时开始显著增加, 表明了美洲鲈在性腺发育过程中卵巢在第 V 期氨基酸的积开始大量转移。而 V 和 VI 两发育期差异不显著, 这可能与产卵后的部分未排除成熟卵母细胞的重吸收有关。

从氨基酸百分比组成上可知, 美洲鲈卵巢不同发育阶段的各个组织氨基酸组成均差异均不显著, 暗示了在性腺发育过程中氨基酸组成具有一定的保守性[28]。赖氨酸是人体第一限制性氨基酸, 也是一般谷类蛋白质和人乳的第一限制性氨基酸。在美洲鲈性腺不同发育阶段, 肌肉中的赖氨酸含量在 5 个发育阶段呈现了波动性, 其余各个氨基酸也出现了不同程度的波动, 但是彼此之间差异均不显著; 在鲜味氨基酸中谷氨酸、天门冬氨酸为呈鲜味的特征氨基酸, 其中谷氨酸鲜味最强。在本研究中, 肌肉中谷氨酸和天门冬氨酸含量在 5 个发育阶段变化不明显。由此可见, 美洲鲈在繁殖过程中, 对肌肉中的品质和风味的影响不是很大。

## 基金项目

青岛博士后应用研究项目(Q51201611); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项, (20603022015005); 江苏省国家长江珍稀鱼类工程技术研究中心培育点(BM2013012)共同资助; 国家海水鱼产业技术体系(CARS-47)共同资助。

## 参考文献

- [1] Izquierdo, M.S., Fernandezpalacios, H. and Agj, T. (2001) Effect of Brood Stock Nutrition on Reproductive Performance of Fish. *Aquaculture*, **197**, 25-42. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00581-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00581-6)
- [2] 王武. 鱼类增养殖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 167-171.
- [3] 常青, 梁萌青, 薛华, 等. 亲鱼营养的研究进展[J]. 渔业科学进展, 2002, 23(2): 65-71.
- [4] Watanabe, T. and Vassalloagius, R. (2003) Broodstock Nutrition Research on Marine Finfish in Japan. *Aquaculture*, **227**, 35-61. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00494-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00494-0)
- [5] Fernández-Palacios, H., Izquierdo, M., Robaina, L., et al. (1997) The Effect of Dietary Protein and Lipid from Squid and Fish Meals on Egg Quality of Broodstock for Gilthead Seabream (*Sparusaurata*). *Aquaculture*, **148**, 233-246. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01312-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01312-9)



- [6] Ronnestad, I., Tonheim, S.K., Fyhn, H.J., *et al.* (2003) The Supply of Amino Acids during Early Feeding Stages of Marine Fish Larvae: A Review of Recent Findings. *Aquaculture*, **227**, 147-164. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00500-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00500-3)
- [7] 姚俊杰, 姜海波, 胡先成, 等. 黄颡鱼繁殖期主要组织器官中氨基酸和脂肪酸的组成[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(5): 115-118.
- [8] Vollenweider, J.J., Heintz, R.A., Schaufler, L., *et al.* (2011) Seasonal Cycles in Whole-Body Proximate Composition and Energy Content of Forage Fish Vary with Water Depth. *Marine Biology*, **158**, 413-427. <https://doi.org/10.1007/s00227-010-1569-3>
- [9] Zhou, H., Leng, X.-Q., Tan, Q.-S., *et al.* (2017) Identification of Key Nutrients for Gonadal Development by Comparative Analysis of Proximate Composition and Fatty/Amino Acid Profile in Tissues and Eggs of Chinese Sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray, 1835). *Journal of Applied Ichthyology*, **33**, 885-891. <https://doi.org/10.1111/jai.13401>
- [10] Kaçar, S. and Başhan, M. (2016) Comparison of Lipid Contents and Fatty Acid Profiles of Freshwater Fish from the Atatürk Dam Lake. *Turkish Journal of Biochemistry*, **41**, 150-156. <https://doi.org/10.1515/tjb-2016-0025>
- [11] 姜志强, 张志明, 赵翀, 等. 太平洋鲑性腺发育及营养来源的初步研究[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(4): 315-320.
- [12] 杜浩. 美洲鲟(*Alosa sapidissima*)人工孵化、养殖及转运关键技术的研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
- [13] 徐钢春, 张呈祥, 郑金良, 等. 美洲鲟的人工繁殖及胚胎发育的研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(7): 89-96.
- [14] 张呈祥, 徐钢春, 徐跑, 等. 美洲鲟仔、稚、幼鱼的形态发育与生长特征[J]. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1227-1233.
- [15] 高小强, 洪磊, 刘志峰, 等. 美洲鲟仔稚鱼异速生长模式研究[J]. 水生生物学报, 2015, 39(3): 638-644.
- [16] 高小强, 洪磊, 刘志峰, 等. 美洲西鲱仔鱼不可逆点及仔、稚鱼摄食特性研究[J]. 水产学报, 2015, 39(3): 392-400.
- [17] 高小强, 刘志峰, 黄滨, 等. 美洲鲟繁殖特性研究[J]. 水产研究, 2018, 5(2): 1-15.
- [18] Nichols, P.R. (1959) Extreme Loss in Body Weight of an American Shad (*Alosa sapidissima*). *Copeia*, No. 4, 343-344. <https://doi.org/10.2307/1439902>
- [19] Craig, S.R., Mackenzie, D.S., Jones, G., *et al.* (2000) Seasonal Changes in the Reproductive Condition and Body Composition of Free-Ranging Red Drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture*, **190**, 89-102. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00386-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00386-0)
- [20] MonteroTorreiro, M.F. and Martinez, G. (2003) Seasonal Changes in the Biochemical Composition of Body Components of the Sea Urchin, *Paracentrotus lividus*, in Lorbé (Galicia, North-Western Spain). *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, **83**, 575-581. <https://doi.org/10.1017/S0025315403007501h>
- [21] Adamczewski, J.Z., Gates, C.C., Hudson, R.J., *et al.* (1987) Seasonal Changes in Body Composition of Mature Female Caribou and Calves (*Rangifer tarandus groenlandicus*) on an Arctic Island with Limited Winter Resources. *Canadian Journal of Zoology*, **65**, 1149-1157. <https://doi.org/10.1139/z87-180>
- [22] 麦贤杰, 黄伟健, 叶富良, 李加儿, 王云新. 海水鱼类繁殖生物学和人工繁育[J]. 江西水产科技, 2005(2): 45.
- [23] Brawn, V.M. (1961) Reproductive Behaviour of the Cod (*Gadus Callarias* L.). *Behaviour*, **18**, 177-198. <https://doi.org/10.1163/156853961X00114>
- [24] Lambert, P. and Dehnel, P.A. (1974) Seasonal Variations in Biochemical Composition during the Reproductive Cycle of the Intertidal Gastropod *Thais Lamellose* Gmelin (Gastropoda, Prosobranchia). *Canadian Journal of Zoology*, **52**, 305-318. <https://doi.org/10.1139/z74-038>
- [25] Rideout, R.M., Burton, M.P.M. and Rose, G.A. (2000) Observations on Mass Atresia and Skipped Spawning in Northern Atlantic Cod, from Smith Sound, Newfoundland. *Journal of Fish Biology*, **57**, 1429-1440. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2000.tb02222.x>
- [26] Rothbarth, E. (1941) The Measurement of Changes in Real Income under Conditions of Rationing. *Review of Economic Studies*, **8**, 100-107. <https://doi.org/10.2307/2967466>
- [27] 黄旭雄, 施兆鸿, 李伟微, 等. 银鲱亲鱼不同组织的氨基酸及其随性腺发育的变化[J]. 水产学报, 2009, 33(2): 278-287.
- [28] Jones, P.W., Martin, F.D. and Hardy, J.D. (1978) Development of Fishes of the Mid-Atlantic Bight: An Atlas of Egg, Larval and Juvenile Stages. Volume 1. Acipenseridae through Ictaluridae. Fish and Wildlife Service/Office of Biological Services, Center for Environmental and Estuarine Studies of University of Maryland, Contribution No. 783, 98-104.