

# 黄鳍金枪鱼与大眼金枪鱼卵黄发生期血清生化指标的比较分析

练诗雅<sup>1,2</sup>, 李云凯<sup>3</sup>, 刘梦阳<sup>1,2</sup>, 王鲁民<sup>1</sup>, 王永进<sup>1</sup>, 王亚冰<sup>1</sup>, 彭士明<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海

<sup>2</sup>上海海洋大学水产与生命学院, 上海

<sup>3</sup>上海海洋大学海洋科学学院, 上海

收稿日期: 2023年7月25日; 录用日期: 2023年8月15日; 发布日期: 2023年8月28日

## 摘要

为了探明黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼之间的差异性, 以期为黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼人工繁育及养殖技术的研发提供数据支撑。(方法)比较分析了雌性黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)和大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)在卵黄发生期(性腺II期和III期)血清中主要营养因子含量(总蛋白TP、甘油三酯TG、胆固醇TC、糖Glu、钙Ca和无机磷P、游离脂肪酸NEFA、卵黄蛋白原VTG), 性激素分泌情况(雌二醇E<sub>2</sub>、睾酮T、促卵泡素FSH、促黄体生成素LH)及机体代谢水平(碱性磷酸酶AKP、酸性磷酸酶ACP活性、总抗氧化能力T-AOC、脂蛋白酯酶LPL、脂肪酸合成酶FAS)。结果表明, 大眼金枪鱼II期的营养因子中除了TC和NEFA以外其他指标均显著高于黄鳍金枪鱼。但III期时大眼金枪鱼仅TP、NEFA和VTG含量显著高于黄鳍金枪鱼III期。大眼金枪鱼II期的性激素含量均显著高于黄鳍金枪鱼II期, 但大眼金枪鱼III期性激素含量中除FSH外都与黄鳍金枪鱼III期之间并无显著性差异。机体代谢水平的结果显示, 大眼金枪鱼II期T-AOC及FAS均显著高于黄鳍金枪鱼II期, 在大眼和金枪鱼III期与II期的比较中, 黄鳍金枪鱼III期T-AOC和FAS显著提升, AKP却显著下降, 但大眼金枪鱼III期AKP和ACP显著提升。统计分析表明, 金枪鱼卵黄发生期间营养因子大量蓄积、性激素含量及机体代谢水平均有明显提高, 其中大眼金枪鱼由II期发育至III期过程中TP、TC、NEFA、VTG、T、FSH含量及AKP、ACP活力显著提高, 黄鳍金枪鱼由II期发育至III期过程中TC、TP、P、Ca、VTG、E<sub>2</sub>、T、FSH、LH含量和T-AOC、FAS活力显著提高。综合分析得出, 本研究条件下大眼金枪鱼II期的营养因子和性激素的各项指标均明显高于黄鳍金枪鱼II期, 但此时黄鳍金枪鱼机体代谢能力普遍高于大眼金枪鱼, III期大眼金枪鱼机体代谢能力较II期普遍显著提高, 且性激素含量显著高于黄鳍金枪鱼III期, 但营养因子含量较II期升高程度低于黄鳍金枪鱼。

## 关键词

黄鳍金枪鱼, 大眼金枪鱼, 卵黄发生期, 营养素, 内分泌激素, 机体代谢能力

## Comparison of Serum Biochemical Indicators during Vitellogenesis between *Thunnus Albacares* and *Thunnus Obesus*

\*通讯作者。

文章引用: 练诗雅, 李云凯, 刘梦阳, 王鲁民, 王永进, 王亚冰, 彭士明. 黄鳍金枪鱼与大眼金枪鱼卵黄发生期血清生化指标的比较分析[J]. 水产研究, 2023, 10(3): 91-98. DOI: 10.12677/ojfr.2023.103011

Shiya Lian<sup>1,2</sup>, Yunkai Li<sup>3</sup>, Mengyang Liu<sup>1,2</sup>, Luming Wang<sup>1</sup>, Yongjin Wang<sup>1</sup>, Yabing Wang<sup>1</sup>, Shiming Peng<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai

<sup>2</sup>College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai

<sup>3</sup>College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai

Received: Jul. 25<sup>th</sup>, 2023; accepted: Aug. 15<sup>th</sup>, 2023; published: Aug. 28<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In order to explore the differences between Yellowfin tuna and Bigeye tuna, and provide data support for the artificial breeding and breeding technology research and development of Yellowfin tuna and Bigeye tuna. (Method) The contents of major nutritional factors (TP, TG, TC, Glu, Ca, P, NEFA and VTG), sex hormone secretion ( $E_2$ , T, FSH and LH) and metabolic levels (AKP, ACP, T-AOC, LPL and FAS) in serum of female yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) during vitellogeny (*gonadal stage II and III*) were compared and analyzed. The results showed that the contents of Nutrition factors except for TC and NEFA were significantly higher in bigeye tuna stage II than in yellowfin tuna, but the contents of TP, NEFA and VTG in bigeye tuna stage III were significantly higher than those in yellowfin tuna stage III. The sex hormone content in stage II of bigeye tuna was significantly higher than those of yellowfin tuna, but there was no significant difference between the sex hormone content in stage III of bigeye tuna and those of yellowfin tuna. (Conclusion) According to the results of the level of the body's metabolism, bigeye tuna stage II T-AOC and FAS were significantly higher than those of yellowfin tuna stage II. In the comparison of stage III versus stage II of bigeye tuna and yellowfin tuna, yellowfin tuna stage III T-AOC and FAS were significantly elevated, the AKP has decreased significantly. However, AKP and ACP in stage III of bigeye tuna was increased significantly. But the differences of metabolism ability between stage III and II are not obvious. Statistical analysis showed that large amount of nutrient factors, content of sex hormones and body metabolism were significantly increased during vitellogeny. The contents of TP, TC, NEFA, VTG, T, FSH and the activities of AKP and ACP were significantly increased during the development of bigeye tuna from stage II to stage III. The contents of TC, TP, P, Ca, VTG,  $E_2$ , T, FSH, LH and the activities of T-AOC and FAS were significantly increased during the development of yellowfin tuna from stage II to stage III. Bigeye tuna stage II of the nutrition factor and sex hormones of the indicators were significantly higher than those of yellowfin tuna stage II, but yellowfin tuna metabolism ability is generally higher than those of bigeye tuna, the metabolic ability of bigeye tuna stage III were generally higher than those in stage II and sex hormones levels significantly higher than those of yellowfin tuna, but nutrient content is less than yellowfin tuna II period increases. The increase trend of nutrient content in bigeye tuna stage III compared with that stage II is less than that of yellowfin tuna.

## Keywords

*Thunnus albacares*, *Thunnus obesus*, Vitellogenesis, Nutrients, Endocrine Hormones, Metabolic Capacity

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

金枪鱼作为具有高经济价值的大洋型鱼类, 具有较大的开发潜力, 因此, 金枪鱼的繁殖生物学及其人工养殖技术研究早已成为业内的热点研究内容之一[1]。黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)和大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)均属于中型金枪鱼, 主要分布于全球热带和亚热带海域。(前人研究进展)目前关于金枪鱼繁殖生物学的研究主要聚焦在雌雄性比[2] [3]、性成熟的叉长和体重[4] [5] [6]、产卵季节[4]、水温[7]、分布水深[5] [8]、平均产卵频率[9]、繁殖力[4] [6]、性腺指数[5] [6]、成熟等级[6]以及成熟模式[6]等, (研究的切入点)但关于金枪鱼繁殖生理学基础方面, 特别是针对繁殖期间营养因子蓄积、性激素分泌及机体代谢水平方面的研究鲜有报道。雌性鱼类性腺发育过程中, 卵黄发生是一个至关重要的营养储备环节, 鱼类的卵黄发生是一个营养快速转运、存储以及能量积累的过程, 主要发生在性腺发育的 II~III 期, 用以保障繁殖期间胚胎及幼体早期阶段的营养来源。在卵黄发生期间大量的营养素(如脂类等)经过在肝组织中的代谢与合成后, 最终转运至卵巢组织中存储下来, 保障卵子的最终发育成熟[10]。根据已有的研究发现, 较低的育苗存活率远不能满足金枪鱼产业发展的需求, 也间接导致了金枪鱼人工养殖产业发展缓慢, 因此, 金枪鱼人工繁育技术的研究依然是该领域的重点攻关方向。

本研究比较分析了性腺 II、III 期(即卵黄发生的主要时期)雌性黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼血清中主要营养因子含量、性激素分泌情况和机体代谢水平, 旨在揭示黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼卵黄发生期主要营养因子蓄积特点、性激素分泌规律和机体代谢特征, 并探明两者之间的差异性, 以为黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼人工繁育及养殖技术的研发提供数据支撑。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 实验材料

2019年9月12日至12月29日于海域(3°34'N-2°14'S, 106°00'W-111°52'W)所捕获的雌性黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼各6尾(黄鳍金枪鱼上颌叉长116~168 cm; 大眼金枪鱼上颌叉长154~158 cm), 其中雌性II期各3尾, III期各3尾(同批次相同发育时期野生金枪鱼样品采集难度大, 故样本量有限), 采用断尾的方式取血, 静置过夜后3000 r/min离心15 min, 吸取血清于新的1.5 mL离心管中, 用Parafilm封口膜封口, 放入-20℃冰箱保存待测。

### 2.2. 实验方法

根据南京建成生物工程研究所提供的试剂盒检测方法测定金枪鱼血清中的总蛋白(TP)、甘油三酯(TG)、胆固醇(TC)、糖(Glu)、钙(Ca)和无机磷(P)、游离脂肪酸(NEFA)、卵黄蛋白原(VTG)、雌二醇(E<sub>2</sub>)、睾酮(T)、促卵泡素(FSH)、促黄体生成素(LH)、碱性磷酸酶(AKP)、酸性磷酸酶(ACP)活性、总抗氧化能力(T-AOC)、脂蛋白酯酶(LPL)、脂肪酸合成酶(FAS), 其中TP、TG、TC、Glu、Ca、NEFA、AKP、ACP、LPL采用比色法, P采用磷钼酸法, T-AOC采用铁离子还原法, VTG、E<sub>2</sub>、T、FSH、LH、FAS采用酶联免疫法, 具体检测步骤参照试剂盒说明书进行。

### 2.3. 数据分析

实验数据以平均值±标准差( $\bar{X} \pm SD$ ), 利用IBM SPSS Statistics 25.0软件进行独立样本t检验(unpaired t test),  $P < 0.05$ 为差异显著性。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 卵黄发生期血清主要营养因子含量变化

黄鳍金枪鱼与大眼金枪鱼卵黄发生期血清主要营养因子含量变化见表1, 黄鳍金枪鱼II期血清中的

TC 含量与大眼金枪鱼 II 期差异不显著, 但黄鳍金枪鱼 II 期血清中的 TP、TG、Glu、P、Ca 和 VTG 含量显著性低于大眼金枪鱼( $P < 0.05$ ), NEFA 含量显著性高于大眼金枪鱼( $P < 0.05$ ); III 期两种金枪鱼的 TG、TC、Glu、Ca、和 P 含量无显著差异, 但黄鳍金枪鱼的 TP 显著高于大眼金枪鱼( $P < 0.05$ ), 但 NEFA 和 VTG 含量显著低于大眼金枪鱼( $P < 0.05$ ); 黄鳍金枪鱼由 II 期到 III 期血清 TG 和 Glu 含量变化不大, TC、TP、P 和 Ca 含量显著提升( $P < 0.05$ ), 但 NEFA 显著下降( $P < 0.05$ ); 大眼金枪鱼由 II 期到 III 期血清 TG、和 Ca 含量的变化不显著, III 期的 TP、TC、NEFA 和 VTG 含量对比 II 期显著提高( $P < 0.05$ ), Glu 和 P 含量则显著下降( $P < 0.05$ )。大眼金枪鱼 II 期的主要营养因子含量普遍高于黄鳍金枪鱼, 但大眼金枪鱼 III 期营养素含量较 II 期升高程度低于黄鳍金枪鱼。

**Table 1.** Content of main nutrient factors in serum of yellowfin tuna and bigeye tuna during vitellogenesis

**表 1.** 黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼卵黄发生期血清主要营养因子含量 g/L

	黄鳍金枪鱼 II 期 yellowfin tuna stage II	大眼金枪鱼 II 期 bigeye tuna stage II	黄鳍金枪鱼 III 期 yellowfin tuna stage III	大眼金枪鱼 III 期 bigeye tuna stage III
总蛋白 TP	21.89 ± 0.47	27.24 ± 0.77 <sup>a</sup>	43.07 ± 9.75 <sup>*</sup>	40.37 ± 2.64 <sup>A*</sup>
甘油三脂 TG	1.42 ± 0.09	2.13 ± 0.11 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.95	2.23 ± 0.06
胆固醇 TC	2.22 ± 0.14	2.22 ± 0.18	3.52 ± 1.40 <sup>*</sup>	2.91 ± 0.31 <sup>*</sup>
血糖 Glu	10.60 ± 0.94	16.91 ± 1.34 <sup>a*</sup>	9.26 ± 4.30	9.28 ± 0.47
血钙 Ca	4.99 ± 0.30	6.22 ± 0.38 <sup>a</sup>	6.67 ± 0.99 <sup>*</sup>	5.81 ± 0.23
血清无机磷 P	1.98 ± 0.20	4.70 ± 0.12 <sup>a*</sup>	4.88 ± 1.94 <sup>*</sup>	2.02 ± 0.49
游离脂肪酸 NEFA	0.42 ± 0.05 <sup>a*</sup>	0.24 ± 0.04	0.15 ± 0.09	0.52 ± 0.10 <sup>A*</sup>
卵黄蛋白原 VTG	0.56 ± 0.04	0.85 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.73 ± 0.10 <sup>*</sup>	0.94 ± 0.04 <sup>A*</sup>

小写字母 a 代表黄鳍金枪鱼 II 期与大眼金枪鱼 II 期存在显著差异( $P < 0.05$ ); 大写字母 A 代表黄鳍金枪鱼 III 期与大眼金枪鱼 III 期存在显著差异( $P < 0.05$ ); \*代表同一种金枪鱼 II 期与 III 期存在显著差异( $P < 0.05$ )。

### 3.2. 卵黄发生期血清性激素含量变化

如表 2 所示, 黄鳍金枪鱼 II 期的血清性激素含量均显著低于大眼金枪鱼 II 期( $P < 0.05$ ), 但黄鳍金枪鱼 III 期仅 FSH 含量显著低于大眼金枪鱼( $P < 0.05$ ); 黄鳍金枪鱼由 II 到 III 期血清性激素含量均有显著提高( $P < 0.05$ ); 大眼金枪鱼由 II 到 III 期血清 E<sub>2</sub> 和 LH 含量变化不大, 但 T 和 FSH 含量显著提高( $P < 0.05$ )。整体来看, 大眼金枪鱼 II 期和 III 期的性激素含量普遍高于黄鳍金枪鱼。

**Table 2.** Content of main Serum sex hormone in serum of yellowfin tuna and bigeye tuna during vitellogenesis

**表 2.** 黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼卵黄发生期血清性激素含量 g/L

	黄鳍金枪鱼 II 期 yellowfin tuna stage II	大眼金枪鱼 II 期 bigeye tuna stage II	黄鳍金枪鱼 III 期 yellowfin tuna stage III	大眼金枪鱼 III 期 bigeye tuna stage III
雌二醇 E <sub>2</sub>	81.86 ± 1.76	103.16 ± 4.30 <sup>a</sup>	118.70 ± 16.96 <sup>*</sup>	118.89 ± 11.04
睾酮 T	2.48 ± 0.08	3.91 ± 0.22 <sup>a</sup>	4.23 ± 0.33 <sup>*</sup>	5.23 ± 0.54 <sup>*</sup>
促卵泡素 FSH	2.40 ± 0.21	3.98 ± 0.21 <sup>a</sup>	3.76 ± 0.48 <sup>*</sup>	4.85 ± 0.22 <sup>A*</sup>
促黄体生成素 LH	2.99 ± 0.12	4.46 ± 0.19 <sup>a</sup>	4.14 ± 0.42 <sup>*</sup>	4.73 ± 0.25

小写字母 a 代表黄鳍金枪鱼 II 期与大眼金枪鱼 II 期存在显著差异( $P < 0.05$ ); 大写字母 A 代表黄鳍金枪鱼 III 期与大眼金枪鱼 III 期存在显著差异( $P < 0.05$ ); \*代表同一种金枪鱼 II 期与 III 期存在显著差异( $P < 0.05$ )。

### 3.3. 卵黄发生期血清代谢水平变化

如表 3 所示, 大眼金枪鱼 II 期的 FAS 酶活力及 T-AOC 显著高于黄鳍金枪鱼 II 期( $P < 0.05$ ), 而黄鳍金枪鱼的 AKP、ACP、LPL 活力显著高于大眼金枪鱼( $P < 0.05$ ); 黄鳍金枪鱼 III 期 FAS 活力及 T-AOC 与大眼金枪鱼 III 期无显著差异, 但黄鳍金枪鱼的 LPL 活力显著高于大眼金枪鱼( $P < 0.05$ ), 大眼金枪鱼的 ACP、AKP 活力显著高于黄鳍金枪鱼( $P < 0.05$ ); 黄鳍金枪鱼由 II 期到 III 期 FAS 活力及 T-AOC 显著提高( $P < 0.05$ ), AKP 活力显著下降( $P < 0.05$ ), LPL 含量出现不同程度的增加, 但不具有显著性; 大眼金枪鱼由 II 期到 III 期 AKP 和 ACP 活力显著提高( $P < 0.05$ )。

**Table 3.** Metabolic levels of yellowfin tuna and bigeye tuna during vitellogeny

**表 3.** 黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼卵黄发生期机体代谢水平 g/L

	黄鳍金枪鱼 II 期 yellowfin tuna stage II	大眼金枪鱼 II 期 bigeye tuna stage II	黄鳍金枪鱼 III 期 yellowfin tuna stage III	大眼金枪鱼 III 期 bigeye tuna stage III
碱性磷酸酶 AKP	3.70 ± 0.49 <sup>a*</sup>	1.51 ± 0.08	2.33 ± 0.64	4.59 ± 0.35 <sup>A*</sup>
酸性磷酸酶 ACP	2.00 ± 0.25 <sup>a</sup>	1.24 ± 0.38	2.12 ± 0.93	4.39 ± 0.19 <sup>A*</sup>
总抗氧化能力 T-AOC	0.45 ± 0.04	0.83 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.82 ± 0.25 <sup>*</sup>	0.80 ± 0.02
脂蛋白酯酶 LPL	1.04 ± 0.32 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.14	1.10 ± 0.52 <sup>A</sup>	0.51 ± 0.07
脂肪酸合成酶 FAS	15.89 ± 0.13	18.01 ± 0.52 <sup>a</sup>	19.41 ± 1.27 <sup>*</sup>	19.88 ± 1.67

小写字母 a 代表黄鳍金枪鱼 II 期与大眼金枪鱼 II 期存在显著差异( $P < 0.05$ ); 大写字母 A 代表黄鳍金枪鱼 III 期与大眼金枪鱼 III 期存在显著差异( $P < 0.05$ ); \*代表同一种金枪鱼 II 期与 III 期存在显著差异( $P < 0.05$ )。

## 4. 讨论

### 4.1. 卵黄发生期血清主要营养因子含量变化

蛋白质、糖和脂肪是鱼类能量的根本来源, 血糖浓度的稳定对动物正常的生命活动有着十分重要的作用[11]。血清中蛋白含量的变化一定程度上反映了生物体蛋白代谢是否旺盛[12]。在本研究中黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼 III 期 TP 含量均显著高于 II 期, 蒋天宝[13]对日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)的研究中同样发现血清 TP 含量随卵黄发生呈升高趋势。Glu 是鱼类各种活动所需能量的直接来源, 受神经和激素的共同调节, 并与肝糖元分解有密切关系[14]。本研究发现, 金枪鱼血清 Glu 含量的变化在卵黄发生过程中没有呈现出稳定的变化规律, 这与刘涛[12]对中华鲟(*Acipenser sinensis*)的研究结果类似, 即 Glu 含量具有波动性的变化规律。

海水鱼类胚胎和卵黄囊仔鱼的发育和生长依赖卵内的内源性营养储备, 因此亲鱼性腺的营养物质水平对于胚胎和仔鱼的存活至关重要。脂类是鱼类胚胎和早期仔鱼发育的主要能量来源和重要结构组分, TG 和 TC 是鱼类脂类代谢的主要物质, 其中 TG 是性腺发育所需的主要物质之一[15]。在本研究中随着性腺自 II 期发育至 III 期, TG 和 TC 含量均呈现出升高的趋势。齐茜[16]在对小体鲟研究中发现, 小体鲟卵黄生成期血清中  $Ca^{2+}$  浓度增大, 且血清中  $Ca^{2+}$  浓度随着小体鲟卵巢发育时期的变化而变化。这与本研究发现相同, 黄鳍金枪鱼 III 期的钙含量比 II 期显著升高。本研究还发现黄鳍金枪鱼 III 期的 P 含量较 II 期显著提升, 这与姚珺[17]对红鲫(*Carassius auratus*)研究结果相同, 其在繁殖期血清 P 含量增长迅速。然而, 大眼金枪鱼 III 期的 P 含量较 II 期却明显降低, 表明金枪鱼卵黄发期间血清 P 含量可能存在波动性的变化规律。鱼类的 VTG 是其卵黄蛋白的前体, 而卵黄蛋白是雌性鱼类卵黄的主要成分, 在卵黄发生期迅速积累, 是鱼类胚胎和幼体发育的主要营养物质, 对鱼的繁殖和发育的作用起着至关重要的作用。

鱼类中 VTG 在肝脏中合成, 分泌到血液中, 再经血液运送至卵巢后, 被卵细胞吸收后裂解为卵黄蛋白储存下来[18], 其积累过程是鱼类性腺发育中的重要生理过程, 卵黄的积累反映性腺发育情况, 而在卵黄发生前期和初级卵黄发生期合成较快, 次级卵黄发生期较慢[19]。本研究中, 大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼 III 期的 VTG 含量比 II 期显著提升, 这进一步证实了上述的结论。同样, 在中华鲟的研究也得出, 雌性个体在性腺发育过程中 VTG 含量自 II 期起上升趋势明显, 且 II~III 期段增加速率较快[20]。

#### 4.2. 卵黄发生期血清性激素含量变化

研究表明 T 是雌激素前体[21], 雌雄亲鱼血液中 T 含量均很高, 这是因为硬骨鱼类能够合成 T, 并将 T 转变成  $E_2$  [22]。Crim 等[23]认为在未成熟的虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)中雄激素能促使脑垂体 GtH 合成芳化酶, 将 T 芳化为  $E_2$ 。大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼性腺 III 期时血清中 T 含量显著高于 II 期, 这与章龙珍等[24]对施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)的研究相似, 其血清中 T 含量在 III-B 期前的各期缓慢上升, IV-A 期和 IV-B 期快速上升, 并在 IV-B 期时达到最高值。鲈鱼(*Miichthys miiuy*)亲鱼性腺发育也有此特点, 其 II 期时血清中 T 含量逐渐上升, III 期时含量急剧上升[25]。雌激素在卵母细胞发育各阶段都发挥着重要作用, 在卵黄生成期  $E_2$  控制肝脏卵黄蛋白原和卵黄蛋白的合成, 促进卵黄发生的同时  $E_2$  还参与碳水化合物和脂类代谢的调节[26]。在本研究中, 黄鳍金枪鱼 III 期  $E_2$  含量较 II 期显著提升, 但是大眼金枪鱼 III 期含量平均值较 II 期差别不大。此结果和张艳珍[20]对中华鲟的研究结果类似, 雌鱼  $E_2$  含量在发育初期至 VI 期也未存在显著差异。T 的变化与  $E_2$  的变化相似, 这可能与 T 是  $E_2$  的前体有关[24]。黄鳍金枪鱼 III 期 FSH 和 LH 含量均显著高于 II 期, 大眼金枪鱼 III 期 FSH 含量显著高于 II 期, LH 也略有提升, 性激素含量的升高促使金枪鱼性腺发育逐步成熟, 这与陈圣毅[27]对条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)的研究结果相同, 其在发育中期 FSH 和 LH 含量显著升高, 林静[28]对花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)的研究也发现 LH 含量随着生长发育而逐渐升高。

#### 4.3. 卵黄发生期血清代谢水平变化

AKP 和 ACP 在生物体内的物质代谢中具有重要的作用, 同时也在免疫反应中发挥作用[29]。黄鳍金枪鱼 III 期的 ACP 含量比 II 期略有提升, 大眼金枪鱼 III 期 AKP 和 ACP 的含量相比较 II 期显著提升, 表明在 III 期金枪鱼体内营养蓄积速度明显提高, 代谢水平更为旺盛。也有研究表明 AKP 和 ACP 酶随着鱼体生长, 酶的活力不断增强, 当免疫机能发育成熟后, 酶活力趋于稳定[11]。鱼类 T-AOC 的高低是衡量鱼体健康状况的重要指标之一, 因此有关营养素与鱼类抗氧化水平之间关系的研究一直以来是水产动物营养学研究的重点内容之一[30]。鱼类的抗氧化系统主要由酶系统(超氧化物歧化酶、过氧化氢酶等)和非酶系统(维生素、氨基酸等)组成, 而 T-AOC 则反映的是这两者的综合体现[31]。在本研究中, 黄鳍金枪鱼 III 期的 T-AOC 相较于 II 期显著提升, 这与银鲳(*Pampus argenteus*)卵黄发生时期一致, 其组织中 T-AOC 呈现逐步升高的趋势, 推测在进入性腺快速发育阶段, 组织抗氧化能力明显增强, 可消除组织中随之而来的由于脂质过氧化所造成的细胞损伤, 确保性腺的正常发育成熟[10]。LPL 是脂质吸收、转运、清除及代谢的关键酶, 对清除体内过多的甘油三酯发挥重要作用[32]。FAS 是一种多功能的复合酶, 是合成脂肪酸的关键酶[33], 其活力高低将直接控制着体内脂肪合成的强弱, 从而影响整个机体中脂肪含量[34]。研究表明抑制 FAS 活力可以降低体脂含量[35]。本研究中黄鳍金枪鱼 II 期 FAS 活力显著低于大眼金枪鱼 II 期, LPL 活力仍显著高于大眼金枪鱼 II 期, 但黄鳍金枪鱼 III 期的 LPL 活力显著高于大眼金枪鱼 III 期, 且 FAS 含量与大眼金枪鱼 III 期无显著差异, 表明在卵黄发生过程中金枪鱼体内脂类营养的转运和合成一直处于一个动态平衡的状态, 酶活力的变化因此会呈现出波动性的动态变化。同时研究还发现, III 期的 LPL 和 FAS 活力相比较 II 期均有升高趋势, 且黄鳍金枪鱼 III 期的 FAS 含量显著高于 II 期,

表明随着性腺的不断发育, 金枪鱼机体脂类营养的转运和合成能力也在不断提高, 为其性腺的最终发育成熟提供营养物质基础。

## 5. 结论

本文比较分析了雌性黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼在卵黄发生期(性腺 II 期和 III 期)血清中主要营养因子含量, 性激素分泌情况及机体代谢水平, 发现金枪鱼卵黄发生期间营养因子大量蓄积、性激素含量及机体代谢水平均有明显提高。其中, 大眼金枪鱼在 II、III 期的性激素都高于黄鳍金枪鱼, II 期黄鳍金枪鱼的代谢能力强于大眼金枪鱼, 但 III 期时大眼金枪鱼营养因子增长程度不如黄鳍金枪鱼。通过比较黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼之间在营养素蓄积、性激素分泌及代谢水平的差异, 以期为两种金枪鱼人工繁育技术的研发提供参考数据。

## 基金项目

财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助(CARS 47)。

## 参考文献

- [1] Masuma, S., Miyashita, S., Yamamoto, H., *et al.* (2008) Status of Bluefin Tuna Farming, Broodstock Management, Breeding and Fingerling Production in Japan. *Reviews in Fisheries Science*, **16**, 385-390. <https://doi.org/10.1080/10641260701484325>
- [2] 宋利明, 高攀峰. 马尔代夫海域金枪鱼延绳钓渔场大眼金枪鱼生物学特性[J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 674-678.
- [3] 王修国. 东太平洋大眼金枪鱼, 黄鳍金枪鱼生殖特征研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2010.
- [4] 李忠炉. 南沙群岛海域大眼金枪鱼繁殖生物学特性研究[C]//中国水产学会. 2012 年中国水产学会学术年会论文摘要集. 北京: 海洋出版社, 2012: 248.
- [5] 戴小杰. 东太平洋大眼金枪鱼产卵场环境及生物学特征分析[C]//中国水产学会. 中国水产学会第五届青年学术年会摘要集. 北京: 海洋出版社, 2004: 106-107.
- [6] 翟天晨. 南太平洋雌性大眼金枪鱼繁殖生物学研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- [7] Schaefer, K.M. (2001) Reproductive Biology of Tunas. *Fish Physiology*, **19**, 225-270. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(01\)19007-2](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(01)19007-2)
- [8] Hisada, K. and Green, R. (1987) Investigation of the Tuna Hand-Line Fishing Grounds and Some Biological Observations on Yellowfin and Bigeye Tunas Caught in the North Western Coral Sea. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Division of Fisheries Research, Canberra.
- [9] Schaefer, K.M., Fuller, D.W. and Miyabe, N. (2005) Reproductive Biology of Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*) in the Eastern and Central Pacific Ocean. Inter-American Tropical Tuna Commission, San Diego, 1-31.
- [10] 彭士明, 施兆鸿, 高权新, 等. 银鲳卵黄发生期间组织中抗氧化水平的变化及饲料 n-3LC-PUFA 对其的影响[J]. 中国水产科学, 2016, 23(2): 263-273.
- [11] 孟繁伊. 不同生长阶段花羔红点鲑肌肉成分、血液指标及免疫机能的比较研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林农业大学, 2006.
- [12] 刘涛. 埋植雌二醇对雌性中华鲟幼鱼血清生理指标及卵巢发育的影响[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [13] 蒋天宝. 日本鳗鲡人工繁殖技术优化及雌鳗卵巢发育相关生理生化因子的变化[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [14] 祝尧荣, 沈文英. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种糖代谢的影响[J]. 绍兴文理学院学报, 2002, 22(4): 23-25.
- [15] Norton, E.C. and Macfarlane, B.R. (1999) Lipid Class Composition of the Viviparous Yellowtail Rockfish over a Reproductive Cycle. *Journal of Fish Biology*, **54**, 1287-1299. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb02055.x>
- [16] 齐茜, 曲秋芝, 张颖, 等. 小体鲟血清卵黄蛋白原和  $Ca^{2+}$  浓度与卵巢发育的关系[J]. 中国水产科学, 2009, 16(6): 967-974.

- [17] 姚珺. 红鲫繁殖周期与内分泌生理功能研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [18] Chen, J.S., Sappington, T.W. and Raikhel, A.S. (1997) Extensive Sequence Conservation among Insect, Nematode, and Vertebrate Vitellogenins Reveals Ancient Common Ancestry. *Molecular Biology and Evolution*, **44**, 440-451. <https://doi.org/10.1007/PL00006164>
- [19] 张成锋, 刘红, 高祥刚, 蔡生力. 中国对虾卵黄蛋白原合成部位的研究[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(6): 7-13.
- [20] 张艳珍. 养殖中华鲟性腺发育及血液相关生理指标变化的观察[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [21] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 广东省高等教育出版社, 1999: 190-193.
- [22] Fostier, A., Jalabert, B., Billard, R., *et al.* (1983) The Gonadal Steroids. In: *Fish Physiology*, Academic Press, New York, Vol. 9, 277-372. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60291-5](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60291-5)
- [23] Crim, L.W., Peter, R.E. and Billard, R. (1981) Onset of Gonadotropic Hormone Accumulation in the Immature Trout Pituitary Gland in Response to Estrogen or Aromatizable Androgen Steroid Hormones. *General and Comparative Endocrinology*, **44**, 374-381. [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(81\)90015-0](https://doi.org/10.1016/0016-6480(81)90015-0)
- [24] 章龙珍, 张涛, 庄平, 等. 不同性别和性腺发育阶段施氏鲟血清性类固醇激素含量变化[J]. 复旦学报(自然科学版), 2011, 50(3): 360-365.
- [25] 罗海忠, 施兆鸿, 柳敏海, 等. 春季繁殖鮰鱼亲鱼血清中雌二醇、孕酮和睾酮水平变化分析[J]. 海洋渔业, 2008, 30(2): 152-156.
- [26] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 2004.
- [27] 陈圣毅. 条石鲷促性腺激素基因的克隆、表达和性类固醇激素分析[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- [28] 林静. 人工催产花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)卵巢发育过程中性类固醇激素含量影响[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- [29] 黄周英, 陈奕欣, 赵扬, 等. 三丁基锡对文蛤鳃酸性磷酸酶、碱性磷酸酶和 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATP 酶活性的影响[J]. 海洋环境科, 2005, 24(3): 56-59.
- [30] 张春暖, 王爱民, 等. 饲料脂肪水平对梭鱼脂肪沉积、脂肪代谢酶及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2013, 20(1): 108-115.
- [31] 吉红, 曹艳姿, 等. 饲料中 HUFA 影响草鱼脂质代谢的研究[J]. 水生生物学报, 2009, 33(5): 881-889.
- [32] 叶琼, 田国平, 唐朝克. miRNAs 与脂蛋白酯酶[J]. 生理科学进展, 2017, 48(4): 283-287.
- [33] 卢辰, 羊惠君, 史恺. 脂肪酸合成酶基因表达调控[J]. 四川解剖学杂志, 2009, 17(2): 31-35.
- [34] 田娟. 脂肪和肉碱水平对草鱼生长性能、脂肪代谢酶和瘦素表达的影响[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2009.
- [35] Tian, W.X. (1994) The Control of Animal Fat Level and Fatty Acid Synthase Activity. *Chemistry of Life*, **14**, 1-5.