

绿原酸对黄喉拟水龟总蛋白、甘油三酯及相关基因表达的影响

张洪耀¹, 林开杰¹, 黄小月¹, 李玉函¹, 詹裕添¹, 高铭佐¹, 严子科¹, 黄德生², 梁静真^{1*}

¹广西大学动物科学技术学院, 广西水生动物病害诊断实验室, 广西高校水生生物健康养殖与营养调控重点实验室, 广西 南宁

²合浦县水产技术推广站, 广西 北海

收稿日期: 2025年2月13日; 录用日期: 2025年3月6日; 发布日期: 2025年3月17日

摘要

本研究讨论了绿原酸(CGA)对黄喉拟水龟总蛋白(TP)、甘油三酯(TG)含量及代谢相关基因表达的影响。将450只健康无损伤的黄喉拟水龟(初始体重为 125.47 ± 5.13 g)随机分成5组, 每组3个重复, 每个重复30只龟, 在基础饲料中分别添加0 mg/kg (Con)、100 mg/kg (CGA1)、200 mg/kg (CGA2)、400 mg/kg (CGA4)、800 mg/kg (CGA8)的CGA, 实验周期为60 d。结果表明, 与对照组(Con)相比, 200 mg/kg的CGA可显著提高血清和肝脏的TP含量、降低血清TG含量, 400 mg/kg的CGA可以显著减少血清和肝脏中的TG含量。RT-qPCR的结果显示, 200 mg/kg的CGA可以显著降低肝脏AKR1D1的基因表达, 并显著提高PDIA4、DERL3、CAPN9基因的表达; 400 mg/kg的CGA可以显著降低肝脏AKR1D1、P450基因的表达, 并显著提高DERL3基因的表达; 800 mg/kg的CGA可以显著提高DERL3基因的表达。综上所述, 绿原酸可提高黄喉拟水龟肝脏合成TP的能力、降低血清和肝脏中的TG含量, 上调PDIA4、DERL3、CAPN9基因的表达、下调AKR1D1、P450基因的表达。绿原酸在黄喉拟水龟饲料中最适添加量为200~400 mg/kg。

关键词

绿原酸, 黄喉拟水龟, 总蛋白, 甘油三酯

Effect of Chlorogenic Acid on Levels of Total Protein and Triglycerides, and Related Gene Expressions in Yellow Pond Turtle

Hongyao Zhang¹, Kaijie Lin¹, Xiaoyue Huang¹, Yuhan Li¹, Yutian Zhan¹,
Mingzuo Gao¹, Zike Yan¹, Desheng Huang², Jingzhen Liang^{1*}

*通讯作者。

文章引用: 张洪耀, 林开杰, 黄小月, 李玉函, 詹裕添, 高铭佐, 严子科, 黄德生, 梁静真. 绿原酸对黄喉拟水龟总蛋白、甘油三酯及相关基因表达的影响[J]. 水产研究, 2025, 12(1): 65-72. DOI: 10.12677/ojfr.2025.121008

¹Key Laboratory of Aquatic Organism Health Farming and Nutritional Regulation, Guangxi Aquatic Animal Disease Diagnosis Laboratory, College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning Guangxi
²Hepu County Aquatic Technology Extension Station, Beihai Guangxi

Received: Feb. 13th, 2025; accepted: Mar. 6th, 2025; published: Mar. 17th, 2025

Abstract

This study discusses the effects of chlorogenic acid (CGA) on total protein and triglycerides levels, as well as the expression of metabolism-related genes in yellow pond turtle (*Mauremys mutica*). A total of 450 healthy, undamaged yellow pond turtle (initial body weight 125.47 ± 5.13 g) were randomly divided into five groups, with three replicates per group and 30 turtles per replicate. The turtles were fed a basic diet supplemented with 0 mg/kg (Con), 100 mg/kg (CGA1), 200 mg/kg (CGA2), 400 mg/kg (CGA4), or 800 mg/kg (CGA8) of CGA for 60 days. The results showed that 200 mg/kg of CGA significantly increased TP levels in both serum and liver, and reduced TG levels in serum, while 400 mg/kg of CGA significantly reduced TG levels in both serum and liver. RT-qPCR analysis revealed that 200 mg/kg of CGA significantly decreased the expression of the liver AKR1D1 gene, while significantly increasing the expression of PDIA4, DERL3, and CAPN9 genes. Furthermore, 400 mg/kg of CGA significantly downregulated the expression of AKR1D1 and P450 genes, while significantly increasing the expression of DERL3. Additionally, 800 mg/kg of CGA significantly up-regulated the expression of the DERL3 gene. In conclusion, CGA enhances the ability of yellow pond turtle to synthesize TP in the liver, reduces TG levels in both serum and liver, upregulates the expression of PDIA4, DERL3, and CAPN9 genes, and downregulates the expression of AKR1D1 and P450 genes. The optimal addition amount of CGA in the diet of Chinese soft-shelled turtles is 200~400 mg/kg.

Keywords

Chlorogenic Acid, Yellow Pond Turtle, Total Protein, Triglyceride

Copyright © 2025 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

杜仲(*Eucommia ulmoides*)是一种传统中药材,在《神农本草经》中早有记载,已有 2000 年的使用历史[1]。杜仲也是中国卫生部公布的药食两用植物之一,被广泛用作食品和中草药原料[2]。绿原酸(Chlorogenic acid, CGA)是杜仲的主要活性成分之一,具有促生长及抑制脂质沉淀等作用[3]。在水生动物的研究中表明,添加绿原酸可以提高鲫鱼(*Carassius auratus*) [3]、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*) [4]的生长性能。还有研究表明适当浓度的绿原酸可提高大口黑鲈(*Micropterus salmoides*) [5]和鲫鱼[3]肝脏中的脂质代谢基因 SREBP-1c、DGAT2 的表达,降低肝脏中胆固醇和甘油三酯的含量。在畜牧动物中绿原酸也有显著的效果,周昊等人[6]的研究发现在育肥猪的日粮中添加绿原酸可以显著提高其血清中的总蛋白和白蛋白,但对甘油三酯和总胆固醇则无显著影响。在田艳等人[7]的研究中发现绿原酸可以通过提高 HMGCR、ACAT2、ABCA1、ABCG5、APOA1 基因和 SREBF2、ACAT2、ABCA1 蛋白的表达来缓解高胆汁酸环境带来的牛肝细胞胆汁酸蓄积的问题。目前,在动物饲料中添加绿原酸来提高机体免疫力、促进动物生长

和改善肝肠健康已成为一种趋势。但绿原酸对硬壳淡水龟蛋白及脂质代谢的影响尚不清楚。

黄喉拟水龟(*Mauremys mutica*)是一种硬壳淡水龟,隶属于龟鳖目(Testudines)、潮龟科(Geoemydidae)、拟水龟属(*Mauremys*),分布于日本、越南以及中国的中南部地区。目前,黄喉拟水龟是中国交易量最大的淡水龟类之一,也是一种重要的新兴水产养殖品种,在营养、药物、观赏和经济方面具有重要价值,市场前景广阔。在养殖过程中,养殖动物常常因为过量食用腐败变质的鱼、猪肠等饵料导致脂肪代谢异常、肝脏存储脂肪过多等问题[8];同时动物血清蛋白水平反映肝脏的蛋白质合成能力[9],血清蛋白水平的提升有利于维持机体的代谢和生理功能[10],因而加强黄喉拟水龟蛋白及脂质代谢能力有利于提高其养殖效益。已知绿原酸对养殖动物具有促生长及抑制脂质沉淀等作用[11],但关于绿原酸在黄喉拟水龟饲料中的添加应用还缺乏研究。本研究以黄喉拟水龟为研究对象,在饲料中添加不同水平的绿原酸,通过对血清及肝脏中总蛋白、甘油三酯含量以及肝脏中蛋白、脂质代谢相关基因的测定,探究在饲料中添加绿原酸对黄喉拟水龟蛋白和脂质沉淀的影响,为黄喉拟水龟绿色饲料开发提供理论依据,助力黄喉拟水龟养殖产业健康发展。

2. 材料与方法

2.1. 实验材料

2.1.1. 实验龟

实验中使用的 450 只黄喉拟水龟购自中国南宁市碧艳龟鳖经营部,初始体重为 125.47 ± 5.13 g。

2.1.2. 实验饲料

实验所需的基础饲料原料购自佛山市顺德区全兴水产饲料有限公司。在饲料中分别添加 0 (对照组, Con)、100 (CGA1)、200 (CGA2)、400 (CGA4)和 800 (CGA8) mg/kg 的 CGA,制成 5 组饲料,每组饲料营养成分如表 1 所示。

Table 1. Feed ingredients and conventional nutritional composition
表 1. 饲料原料及常规营养组成

原料组成(%)	Con	CGA1	CGA2	CGA4	CGA8
鱼粉	38	38	38	38	38
豆粉	10	10	10	10	10
花生饼	11	11	11	11	11
鱼油	4	4	4	4	4
磷脂	1	1	1	1	1
小麦粉	15	14.99	14.98	14.96	14.92
玉米粉	15	15	15	15	15
血粉	5	5	5	5	5
预混料	1	1	1	1	1
绿原酸 mg/kg	0	0.01	0.02	0.04	0.08
营养成分组成(干物质)					
粗蛋白(%)	45.34 ± 1.23	45.51 ± 2.01	46.09 ± 1.88	45.18 ± 1.72	45.64 ± 2.31
粗脂肪(%)	8.35 ± 0.95	8.76 ± 0.73	8.19 ± 1.06	8.59 ± 0.67	8.81 ± 0.84
粗灰分(%)	10.43 ± 1.03	10.38 ± 1.48	10.29 ± 0.96	10.51 ± 1.35	10.49 ± 1.58

2.1.3. 实验龟饲养及日常管理

喂食试验前 7 d, 所有黄喉拟水龟均暂时驯养在一个水泥池中, 使其适应饲料和养殖环境。实验开始时, 黄喉拟水龟禁食 24 小时。随机挑选健康无损伤、体重相近的黄喉拟水龟($n = 450, 125.47 \pm 5.13 \text{ g}$), 将其分批称重并按每箱 30 只的密度装入塑料箱($135 \times 70 \times 18$ 厘米)中。试验期间, 水温为(27.30 ± 1.10) $^{\circ}\text{C}$ 。每次投喂量为黄喉拟水龟平均体重的 2%, 每天中午 12:00 投喂一次。投喂 1 h 后清理残余饲料, 记录发病和死亡数。每个实验组依次投喂表 1 所示的 5 组饲料, 每组 3 个重复, 每个重复 30 只龟。饲养试验持续 60 d。本研究涉及的所有动物实验均已通过广西大学动物伦理委员会审查批准, 所有实验过程均遵照中国实验动物相关法律法规条例要求进行, 伦理批号为 GXU-2024-208。

2.1.4. 样品采集与测定

每组随机选取 10 只龟, 冷冻麻醉后采集尾静脉血, 将血在 4 $^{\circ}\text{C}$ 下放置 5 h 直至析出血清, 然后在 3000 $\times\text{g}$ 下离心 10 min。收集血清样本并放置在 -20 $^{\circ}\text{C}$ 保存。同时, 解剖并快速取出肝脏样本, 然后立即用液氮冷冻并在 -80 $^{\circ}\text{C}$ 保存。

依照南京建成生物研究所提供试剂盒测定血清及肝脏中的总蛋白(Total Protein, TP)、甘油三酯(Triglyceride, TG)。用动物组织总 RNA 提取试剂盒(RNAPrep Pure Tissue Kit, 天根)提取肝脏总 RNA, 随后用 FastKing cDNA 第一链合成试剂盒(FastKing gDNA Dispelling RT SuperMix, 天根)将 RNA 反转录为 cDNA。根据 NCBI 发布的黄喉拟水龟 β -actin 序列(登录号: HQ244396.1)设计荧光定量 PCR 内参基因 β -actin 引物; 基于黄喉拟水龟转录组分析获得的部分 cDNA 序列, 使用引物设计网站 (<https://www.primer3plus.com/>)设计了醛酮还原酶家族 1 成员 D1 (AKR1D1)、细胞色素 P450 (P450)、乙酰辅酶 A 羧化酶 α (ACACA)、蛋白质二硫键异构酶 A 家族 4 (PDIA4)、Der1 样域家族成员 3 (DERL3)和钙蛋白酶 9 (CAPN9)基因的荧光定量 PCR 引物(表 2)。参照 FastReal 快速荧光定量 PCR 预混试剂(FastReal qPCR PreMix, 天根)说明书, 在 LightCycle96 实时荧光定量 PCR 仪上选择 20 μL 体系进行荧光定量 PCR 反应, 体系如下, 95 $^{\circ}\text{C}$ 2 min, 循环程序为 95 $^{\circ}\text{C}$ 5 s、60 $^{\circ}\text{C}$ 15 s, 循环次数为 40 次。反应设 3 个重复。溶解曲线分析显示引物扩增产物均形成单一曲线。根据由 2 倍梯度稀释产生的标准曲线计算目的基因和内参基因的扩增效率, 引物效率扩增接近 100%, 用 $2^{-\Delta\Delta\text{Ct}}$ 法计算 mRNA 的相对表达量。

Table 2. Real-time quantitative PCR (qPCR) primer sequences

表 2. 荧光定量引物序列

Gene symbol	Forward primer sequence (5'-3')	Reverse primer sequence (5'-3')
β -actin	TCGGGAATGAAAGGTTCCGG	CTGCATTCTGTCAGCGATGC
AKR1D1	TCTTCTTGCCGCTTTCATTTCAGG	TTCCCATCGCTCAGAGGTATGC
P450	AGAGCATCCTCACCTTTCATTTATCC	CTAGACCATTCACCACCACAACAG
ACACA	ACAGGCACCTTACCACAGATCC	GGCAGGCAGTAACCATTCATCAC
PDIA4	AGTCTGCCTGTTAGTGCTCCTC	CACCTTCTTCTTCTTCTCTCCTTGG
DERL3	CAGCCGCCGCTCAGTAG	GACCAAAGCCGTTCTTCAGACAG
CAPN9	GCGTTATAGAAGAGCATCCCAGAG	GAGCAAGCCAGAATCACAGTCC

2.1.5. 数据分析

实验数据采用 Excel 和 SPSS 27.0 软件进行统计分析, 数据采用单因素方差分析, 数据值以均数 $\pm$ 标准误(mean $\pm$ SEM)表示, 采用 LSD 法进行多重检验比较差异显著性, $P < 0.05$ 表示差异显著。

3. 结果与分析

3.1. 不同浓度绿原酸对黄喉拟水龟血清及肝脏蛋白和甘油三酯的影响

如表 3 所示, 投喂绿原酸的实验龟血清中的总蛋白除 CGA2 组显著高于对照组外, 其余实验组相比对照组没有显著性差异。CGA2、CGA4 两组血清甘油三酯含量显著低于对照组, CGA1、CGA8 组血清甘油三酯含量相比对照组没有显著性差异。

Table 3. The effects of chlorogenic acid on serum TP and TG levels in yellow pond turtle

表 3. 绿原酸对黄喉拟水龟血清总蛋白及甘油三酯含量的影响

组别	Con	CGA1	CGA2	CGA4	CGA8
TP/(g/L)	1.62 ± 0.22	2.51 ± 0.16	2.71 ± 0.12	2.36 ± 0.45	2.49 ± 0.41
TG/(mmol/L)	1.13 ± 0.04 ^a	1.07 ± 0.07 ^{ab}	0.94 ± 0.05 ^{bc}	0.84 ± 0.04 ^c	1.04 ± 0.05 ^{ab}

注: 同列中标有不同字母者表示组间有显著性差异($P < 0.05$), 标有相同字母者表示组间无显著性差异($P > 0.05$), 下同。

肝脏总蛋白及甘油三酯含量如表 4 所示, CGA1、CGA2、CGA8 组肝脏总蛋白含量显著高于对照组。甘油三酯含量方面, 绿原酸添加组中仅有 CGA4 组肝脏甘油三酯含量显著低于对照组, 其它组甘油三酯含量与对照组相比差异不显著。

Table 4. The effects of chlorogenic acid on liver TP and TG levels in yellow pond turtle

表 4. 绿原酸对黄喉拟水龟肝脏总蛋白及甘油三酯的影响

组别	Con	CGA1	CGA2	CGA4	CGA8
TP/(g/L)	4.02 ± 0.11 ^b	4.57 ± 0.21 ^a	4.69 ± 0.11 ^a	4.34 ± 0.14 ^{ab}	4.61 ± 0.16 ^a
TG/(mmol/gprot)	1.18 ± 0.05 ^a	1.16 ± 0.03 ^a	1.07 ± 0.05 ^{ab}	0.93 ± 0.06 ^b	1.17 ± 0.08 ^a

3.2. 不同浓度绿原酸对黄喉拟水龟肝脏脂质及蛋白合成基因的影响

绿原酸对黄喉拟水龟肝脏蛋白合成基因的影响如图 1 所示, CGA2 组的三个蛋白代谢相关基因 PDIA4、DERL3 及 CAPN9 基因表达量均有显著提升, CGA4、CGA8 组仅有 DERL3 基因表达显著提高。CGA1 组的 3 个被测基因, 以及 CGA4、CGA8 组的 PDIA4、CAPN9 基因表达量与对照组相比均无显著差异。

由图 2 可见, 在饲料中添加绿原酸后, CGA2 和 CGA4 组的黄喉拟水龟 AKR1D1 基因表达量显著降低。CGA4 组的 P450 基因表达显著降低。所有绿原酸添加组 ACACA 基因表达量与对照组相比均无显著差异。

4. 讨论

目前, 绿原酸对动物血清及肝脏 TP 含量影响的报道较少。本研究结果表明, 在饲料中添加绿原酸后, CGA2 组实验龟血清 TP 含量显著提高, CGA1、CGA2、CGA8 组肝脏 TP 含量相较对照组均有显著提升, 表明在饲料中添加绿原酸可提高黄喉拟水龟肝脏合成蛋白质的能力, 有利于维持黄喉拟水龟正常的代谢和生理功能。TG 含量是鉴定动物脂质代谢能力的关键生化指标, 而在本研究中 CGA2、CGA4 组血清中的甘油三酯含量相较对照组显著下降, CGA4 组肝脏中的甘油三酯含量相较对照组显著减少。该结果与以往的报道相似, 如马建茸等的研究发现在高脂饲料中添加绿原酸可以显著减少花鲈(*Lateolabrax maculatus*)血清中 TG 的含量[12]; 扬天俊等[13]的研究显示, 在饲料中添加 400 mg/kg 浓度的绿原酸可以降低草鱼血清及肝脏中的 TG 含量从而减少肝脏细胞内的脂质沉淀; 温安祥等[14]的研究显示绿原酸可以

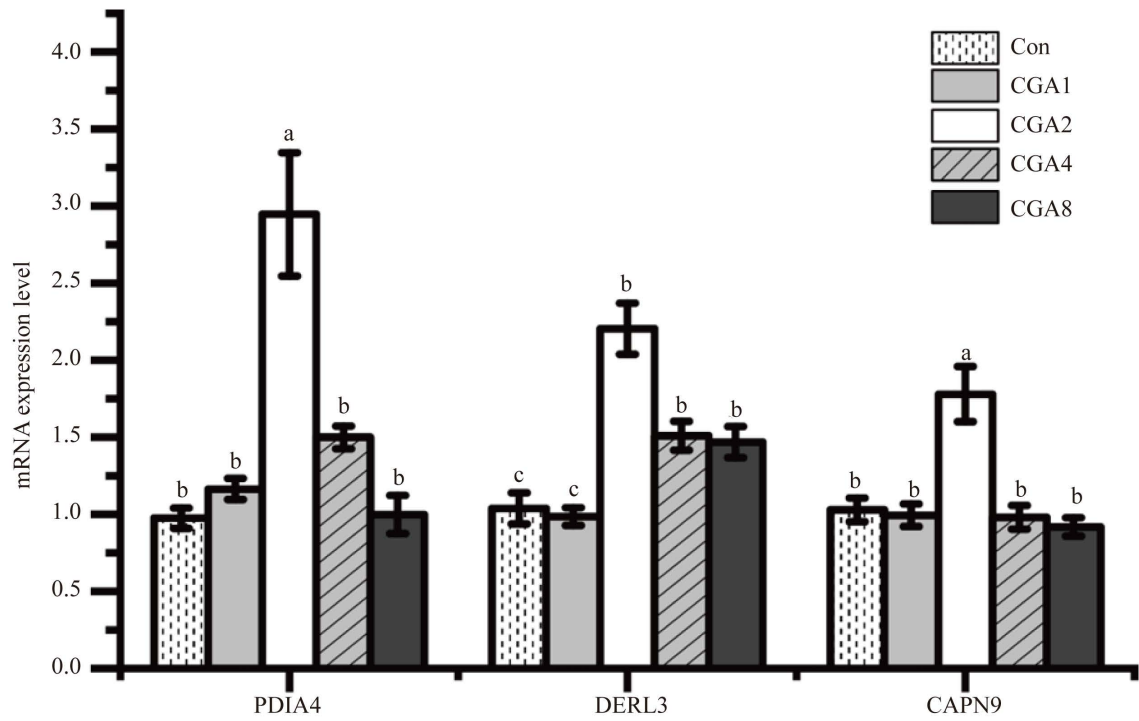


Figure 1. The effects of chlorogenic acid on the expression of liver protein metabolism-related genes in yellow pond turtle
图 1. 绿原酸对黄喉拟水龟肝脏蛋白代谢相关基因表达的影响

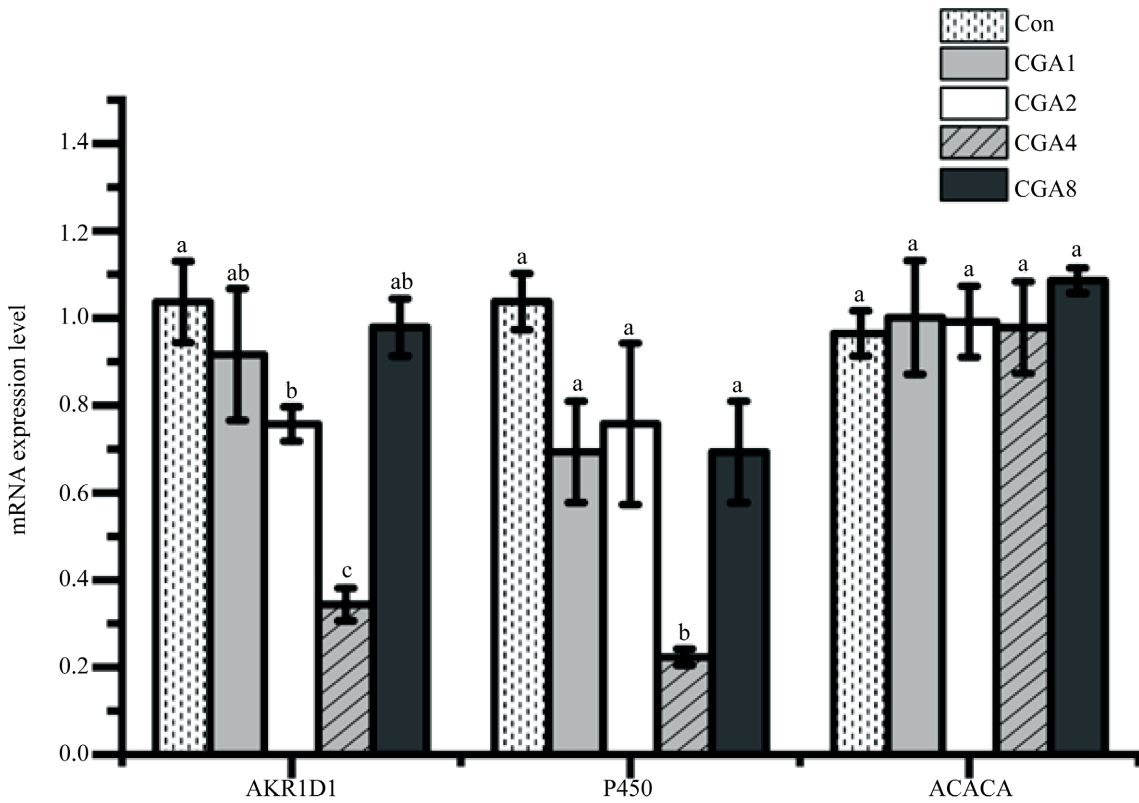


Figure 2. The effects of chlorogenic acid on the expression of liver lipid metabolism-related genes in yellow pond turtle
图 2. 绿原酸对黄喉拟水龟肝脏脂质代谢相关基因表达的影响

提高中华鳖(*Trionyx sinensis*)肌肉中胶原蛋白的含量并降低胆固醇的含量。总之,向饲料中添加适量的绿原酸可以提高黄喉拟水龟血清和肝脏的 TP 并降低 TG 的含量。

肝脏是水生动物重要的代谢器官,参与蛋白质与脂质的代谢,以往研究表明绿原酸可以上调动物肝脏中脂质代谢基因的表达,如 Jin [3]等和 Yin [5]等的研究中发现绿原酸可以通过增强 SREBP-1c、DGAT2 等脂质代谢基因的表达来调控脂质在肝脏中的沉淀水平;马建茸等的研究证实绿原酸主要通过上调肝脏中负责脂质代谢的 FATPs 和 CYP7A1 基因来减少肝脏脂质的沉积[12]。在本研究中,CGA4 组脂质合成的基因 AKR1D1 和 P450 的表达水平均有显著下调,CGA4 组血清和肝脏的甘油三酯含量亦显著低于对照组。AKR1D1 基因编码蛋白主要作用是催化 Delta4-3-氧类甾体 5 β -还原酶、酮类甾体单氧化酶和甾体脱氢酶,而这三种酶主要参与类固醇的合成;P450 基因编码蛋白主要负责催化甾体 17- α -单氧化酶,参与类固醇激素的合成,推测绿原酸可能通过下调脂质合成相关的 AKR1D1 和 P450 基因来减少肝脏脂质的沉淀。同时在本研究中,CGA2 组蛋白合成代谢相关的 PDIA4、DERL3 及 CAPN9 基因表达水平均为各实验组中最高值,CGA2 组血清与肝脏中总蛋白含量亦为最高。PDIA4 基因编码蛋白主要负责激活蛋白质二硫键异构酶,该酶主要负责在内质网中参与蛋白质的折叠,DERL3 基因则具有与错误折叠的蛋白质结合并激活泛素特异性蛋白酶使其降解错误折叠蛋白质的功能,CAPN9 基因主要编码钙依赖性半胱氨酸型内切肽酶,该酶主要参与蛋白质的切割和降解。因此推测绿原酸可能通过上调肝脏中 PDIA4、DERL3 及 CAPN9 基因表达以提高黄喉拟水龟蛋白质合成和降解错误合成的蛋白的能力,但后续仍需深入研究以证实。

5. 结论

绿原酸可提高黄喉拟水龟肝脏合成总蛋白的能力、降低血清和肝脏中的甘油三酯含量,上调 PDIA4、DERL3、CAPN9 等蛋白代谢相关基因的表达、下调 AKR1D1、P450 等脂质代谢相关基因的表达。在本研究条件下,绿原酸在黄喉拟水龟饲料中最适添加量为 200~400 mg/kg。

基金项目

广西水产技术推广站项目(202300180)。

参考文献

- [1] Luo, X., Wu, J., Li, Z., Jin, W., Zhang, F., Sun, H., et al. (2020) Safety Evaluation of Eucommia Ulmoides Extract. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, **118**, Article 104811. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104811>
- [2] 单义民, 石莹莹, 左文青, 等. 药食同源药材治疗高尿酸血症的研究进展[J]. 食品工业, 2024, 45(11): 245-250.
- [3] Jin, X., Su, M., Liang, Y. and Li, Y. (2023) Effects of Chlorogenic Acid on Growth, Metabolism, Antioxidation, Immunity, and Intestinal Flora of Crucian Carp (*Carassius auratus*). *Frontiers in Microbiology*, **13**, Article 1084500. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1084500>
- [4] Sun, W.T., Li, X.Q., Xu, H.B., Chen, J.N., Xu, X.Y. and Leng, X.J. (2017) Effects of Dietary Chlorogenic Acid on Growth, Flesh Quality and Serum Biochemical Indices of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquaculture Nutrition*, **23**, 1254-1263. <https://doi.org/10.1111/anu.12500>
- [5] Yin, P., Xie, S., Zhuang, Z., Fang, H., Tian, L., Liu, Y., et al. (2021) Chlorogenic Acid Improves Health in Juvenile Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) Fed High-Fat Diets: Involvement of Lipid Metabolism, Antioxidant Ability, Inflammatory Response, and Intestinal Integrity. *Aquaculture*, **545**, Article 737169. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737169>
- [6] 周昊, 况丹. 绿原酸对育肥猪生长性能、血清生化及免疫指标的影响[J]. 中国饲料, 2023(16): 25-28.
- [7] 田艳, 刘佳晨, 王爽, 等. 绿原酸对高游离脂肪酸处理犊牛肝细胞胆固醇和胆汁酸代谢的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2024, 51(7): 2766-2775.
- [8] 李顺, 李杰, 瞿启军. 龟鳖脂肪肝病的防治[J]. 渔业致富指南, 2012(19): 62.

- [9] 李文强, 曲洪磊, 董博颖, 等. 杜仲提取物对德州驴生长性能、血清指标及驴皮胶原蛋白含量的影响[J]. 饲料研究, 2019, 42(09): 42-45.
- [10] 孙鹏飞, 王晓涵, 胡云, 等. 饲粮锌对高温应激雪山草鸡生长性能、营养物质表观消化率和血清生化指标的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2024, 51(11): 4732-4742.
- [11] 李美娟, 代国滔, 徐景峨, 等. 绿原酸生物学功能及其对畜禽健康生长的调控作用[J]. 现代畜牧科技, 2024(9): 66-71.
- [12] 马建茸. 高脂饲料中添加绿原酸对花鲈生长、脂代谢及肠道菌群的影响[D]: [硕士学位论文]. 厦门: 集美大学, 2024.
- [13] 杨天俊, 陈彦良, 刘文舒, 等. 高脂饲料中添加绿原酸对草鱼生长性能和脂质代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(8): 3219-3228.
- [14] 温安祥, 舒辉, 肖洋. 绿原酸对中华鳖生产性能及抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(3): 729-733.