

饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤鱼体成分、肌肉氨基酸组成和生理指标的影响

李海洁 郭国军 郭朝辉 王林枫 王春秀 李明 李国喜 刘变枝

EFFECTS OF DIETARY *EUCOMMIA ULMOIDES* LEAF POWDER ON BODY COMPOSITION, MUSCLE AMINO ACID COMPOSITION, PHYSIOLOGICAL INDEXES OF YELLOW RIVER CARP

LI Hai-Jie, GUO Guo-Jun, GUO Chao-Hui, WANG Lin-Feng, WANG Chun-Xiu, LI Ming, LI Guo-Xi, LIU Bian-Zhi

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2021.2020.295>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

白藜芦醇对高脂胁迫团头鲂抗氧化能力、非特异免疫机能和抗病力的影响

EFFECTS OF RESVERATROL SUPPLEMENTATION ON GROWTH PERFORMANCE, IMMUNITY, ANTIOXIDANT CAPABILITY AND DISEASE RESISTANCE OF BLUNT SNOUT BREAM FED HIGH-FAT DIET

水生生物学报. 2017, 41(1): 155-164 <https://doi.org/10.7541/2017.20>

低磷饲料中添加 $\alpha$ -酮戊二酸对松浦镜鲤生长性能、体成分和血清生化指标的影响

EFFECTS OF  $\alpha$ -KETOGLUTARATE SUPPLEMENTATION IN LOW-PHOSPHOROUS DIETS ON GROWTH PERFORMANCE, BODY COMPOSITION AND SERUM BIOCHEMICAL INDEXES OF SONGPU MIRROR CARP

水生生物学报. 2018, 42(3): 525-532 <https://doi.org/10.7541/2018.066>

VE和L-肌肽对大菱鲆幼鱼生长、抗氧化、非特异性免疫及血清生化指标的影响

EFFECTS OF DIETARY VITAMIN E AND L-CARNOSINE ON GROWTH PERFORMANCE, ANTIOXIDANT STATUS, NON-SPECIFIC IMMUNITY AND SERUM BIOCHEMICAL INDICES IN JUVENILE TURBOT (*SCOPHTHALMUS MAXIMUS*)

水生生物学报. 2017, 41(1): 86-94 <https://doi.org/10.7541/2017.11>

饲料中添加雨生红球藻粉对三疣梭子蟹雌体卵巢发育、色泽、抗氧化能力和生化组成的影响

EFFECTS OF DIETARY SUPPLEMENTATION WITH *HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS* POWDER ON OVARIAN DEVELOPMENT, COLORATION, ANTIOXIDANT CAPACITY AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF ADULT FEMALE SWIMMING CRAB, *PORTUNUS TRITUBERCULATUS*

水生生物学报. 2018, 42(4): 698-708 <https://doi.org/10.7541/2018.086>

饲料蛋白质水平对洛氏生长、非特异性免疫及蛋白质合成的影响

EFFECTS OF DIETARY PROTEIN LEVELS ON THE GROWTH PERFORMANCE, ACTIVITY OF NON-SPECIFIC IMMUNITY AND PROTEIN SYNTHESIS CAPACITY OF *RHYNCHOCYPRIS LAGOWSKII* DYBOWSKI

水生生物学报. 2018, 42(4): 709-718 <https://doi.org/10.7541/2018.087>

饲料中添加谷胱甘肽对黄颡鱼幼鱼组织谷胱甘肽含量、免疫及抗氧化性能的影响

EFFECTS OF DIETARY SUPPLEMENTATION WITH GLUTATHIONE ON TISSUE GSH LEVEL, IMMUNITY, AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF JUVENILE YELLOW CATFISH (*PELTEOBAGURUS FULVIDRACO*)

水生生物学报. 2018, 42(4): 728-735 <https://doi.org/10.7541/2018.089>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2021.2020.295

## 饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤鱼体成分、肌肉氨基酸组成和生理指标的影响

李海洁<sup>1</sup> 郭国军<sup>2</sup> 郭朝辉<sup>1</sup> 王林枫<sup>1</sup> 王春秀<sup>1</sup> 李明<sup>1</sup> 李国喜<sup>1</sup> 刘变枝<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学动物科技学院, 郑州 450046; 2. 河南牧业经济学院, 郑州 450046)

**摘要:** 试验以黄河鲤(*Cyprinus carpio*)为研究对象, 以饲料中杜仲(*Eucommia ulmoides*)叶粉0添加组为对照组, 2%、4%、6%和8%添加组为实验组, 每组3个平行, 对黄河鲤[体重: (505.13±1.37) g]进行55d的投喂试验, 旨在探讨杜仲叶粉在黄河鲤饲料中的应用效果。结果表明: (1)黄河鲤背肌脂肪含量随饲料中杜仲叶粉添加量升高显著下降, 粗蛋白含量显著上升( $P<0.05$ )。除6%添加组外, 鱼体粗灰分、粗蛋白和粗脂肪鲜重含量随杜仲叶粉添加量升高呈上升趋势( $P<0.05$ ), 鱼体鲜重水分含量呈显著下降趋势( $P<0.05$ ); (2)在黄河鲤肌肉中检出16种氨基酸, 杜仲叶粉添加显著影响肌肉中苏氨酸、丝氨酸和组氨酸含量( $P<0.05$ )。酸味氨基酸总量与总氨基酸比值在2%添加组显著高于其他处理组, 药效氨基酸总量与总氨基酸比值则在2%添加组显著低于其他处理组( $P<0.05$ ); (3)黄河鲤血浆和肝脏中GSH-PX、MDA、AKP和ACP活性随饲料中杜仲叶粉添加量增加整体呈先升高后降低趋势, 血浆和肝脏中SOD活性呈显著上升趋势( $P<0.05$ )。血浆GSH-PX活性和MDA含量在6%处理组显著最高( $P<0.05$ ), AKP活性在4%处理组、ACP活性在8%添加组显著最高( $P<0.05$ ), SOD活性至8%处理组升至对照水平。肝脏GSH-PX活性和MDA含量在4%处理组显著最高( $P<0.05$ ), AKP活性则在6%处理组显著最高( $P<0.05$ ), ACP活性在4%处理组显著升至最高后维持在此水平( $P<0.05$ ), 肝脏SOD活性至8%处理组显著高于其他处理组( $P<0.05$ )。综上, 综合考虑鱼体肌肉和全鱼营养成分、肌肉氨基酸组成及血液和肝脏生理指标, 推荐黄河鲤成鱼饲料中杜仲叶粉添加量在4%—6%。

**关键词:** 杜仲叶粉; 黄河鲤; 肌肉氨基酸; 抗氧化; 非特异性免疫

**中图分类号:** S965.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3207(2021)06-1222-10



杜仲(*Eucommia ulmoides*)是我国特有名贵药用落叶乔木, 传统以皮入药。随着对杜仲资源利用的深入挖掘, 现有研究发现杜仲叶同样含有木脂素类、黄酮类和苯丙素类等成分, 其化学组成和药理作用与杜仲皮所含物质相似, 具抑菌、抗氧化、调节机体免疫力和抗感染的作用。杜仲叶还具有脂肪和蛋白质含量高, 含有多种氨基酸、微量元素及维生素等特点<sup>[1-3]</sup>。畜禽中的研究已经证实在饲料中添加适量杜仲叶粉或其提取物可有效提高机体生产性能、免疫及抗氧化能力, 改善肉质品质<sup>[4]</sup>。

近年来水产品已成为人类动物蛋白质的主要来源, 但随着资源和环境约束的进一步加大, 水体

环境保护和水产品质量安全问题日益突出。在农业农村部第194号公告发布后, 我国稳步推进饲料行业“减抗”行动, 开发绿色、安全、高效和无抗的饲料成为水产饲料从业者的首要工作重点。在“无抗”背景下, 杜仲叶价廉易得、抗菌消炎的特性受到了广泛关注。已有部分研究证实在饲料中添加杜仲叶或者杜仲提取物等可提高水产动物生长性能、免疫应答水平及肌肉品质<sup>[5-9]</sup>, 说明杜仲叶及其提取物可作为潜在的中草药应用到水产养殖中。但鉴于现有研究多以幼鱼为实验对象, 缺乏大规模鱼种和成鱼阶段的实验数据, 鱼类对饲料物质的利用效率又受种属和食性等的影响, 即使同种鱼,

**收稿日期:** 2021-01-07; **修订日期:** 2021-08-12

**基金项目:** 国家自然科学基金(31702359); 河南省科技攻关(172102110047); 河南农业大学科技创新基金(KJ CX2017A07)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31702359); the Science and Technology Research Key Project of Henan Province (172102110047); Science and Technology Innovation Fund of Henan Agricultural University (KJ CX2017A07)]

**作者简介:** 李海洁(1995—), 女, 硕士研究生; 研究方向为特种经济动物饲养。E-mail: 2875122365@qq.com

**通信作者:** 刘变枝(1981—), 女, 硕士生导师, 博士; 研究方向为鱼类营养与免疫。E-mail: liubianzhi@126.com

不同品种和不同规格间也存在物质利用效率的差异<sup>[10, 11]</sup>。因此, 开展杜仲叶粉在大规格鱼种和成鱼阶段鱼类饲料中的应用评估, 将为更有效地利用杜仲叶这一生物资源提供有效数据支撑。

黄河鲤(*Cyprinus carpio*)是黄河流域主要优质鱼类, 因金鳞赤尾、肉质鲜美闻名, 是我国内陆水域重要养殖品种, 深受广大消费者欢迎。目前有关饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤影响的报道较少, 为满足不同生长阶段鱼类对营养素利用差异性和集约化规模养殖下对精准营养饲喂的需求, 本实验以黄河鲤成鱼为实验对象研究不同添加水平杜仲叶粉对黄河鲤成鱼生长、体成分、血液及肝脏抗氧化能力等方面的影响, 以期为黄河鲤成鱼新型健康饲料的配制提供有效的数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验用鱼和试验分组管理

试验用鱼来源于河南省水产研究院黄河鲤育种中心, 正式试验前入圆形暂养缸(直径2.00 m, 高0.75 m, 有效水体积1.88 m<sup>3</sup>)暂养2星期, 以适应实验环境。在暂养结束后, 挑选表观健康, 规格一致的试验鱼[初始规格: (505.13±1.37) g], 分别放入15个(直径0.80 m, 高0.72 m, 有效水体积: 0.30 m<sup>3</sup>)水族缸内, 每缸放鱼15尾。

试验共分5个处理组, 以0添加组为对照, 以

2%、4%、6%和8%杜仲叶粉添加组为试验组, 每组3个平行。养殖系统为室内循环水系统, 试验用水为曝气24h的自来水, 实验期间水温维持在29—32℃, 光照周期12L:12D(光照时间8:00—20:00), 溶氧量≥6.00 mg/L, 氨氮≤0.70 mg/L。

实验期间, 每天上午9:00、下午15:00各饱食投喂1次, 每次少量多次循环投喂1h, 投喂结束记录每缸残饵颗粒数, 用以计算摄食数据。每天投喂量为鱼体体重的2%—3%, 具体视鱼的摄食情况适当调整。

### 1.2 试验饲料配置

试验饲料以鱼粉和豆粕为主要蛋白源, 以豆油和玉米油为脂肪源, 配制蛋白含量30.05%—31.27%, 脂肪含量5.71%—7.27%的试验饲料。试验用杜仲叶粉(由国家林业局泡桐研究开发中心提供)来自河南省汝阳县杜仲种植基地, 为秋后采集的鲜叶经晒干和粉碎, 过40目筛制成, 其常规营养成分为干物质(Dry matter, DM)89.46%、总能(Gross energy, GE)19.47 MJ/kg、粗蛋白质(Crude protein, CP)12.38%、粗灰分(Crude ash)12.79%、钙(Ca)2.06%和磷(P)0.05%。

所有原料经粉碎机粉碎后, 过40目筛并充分混匀后加水, 制成粒径大小2.50 mm左右的湿颗粒, 自然风干后保存于-4℃冰箱备用。试验饲料配方及成分组成见表1。

表1 黄河鲤试验饲料配方及营养组成

Tab. 1 Formulation and nutrition composition of the experimental diet of yellow river carp

原料Ingredient	杜仲添加量Dietary of <i>Eucommia ulmoides</i> leaf powder				
	0	2%	4%	6%	8%
鱼粉Fish meal	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
豆粕Soybean meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
菜籽粕Rapeseed dregs	16.50	16.50	16.50	16.50	16.50
玉米蛋白粉Corn flour	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
面粉Flour	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
麦麸Wheat bran	10.00	8.00	6.00	4.00	2.00
杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i>	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00
维生素矿物质预混物Vitamin and mineral premix <sup>*</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
豆油Soybean oil	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
玉米油Corn oil	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
氯化胆碱Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
磷酸二氢钙Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
营养组成Nutrition composition (%)					
粗蛋白Crude protein	30.05	31.27	31.20	31.10	30.60
粗脂肪Crude lipid	5.96	5.71	5.97	6.83	7.27
粗灰分Crude ash	10.83	10.09	12.28	14.40	13.87

注: %干物质; \*维生素矿物质预混物购自广东德宁水产科技有限公司生产的鲤鱼复合预混合料(货号, Dn698)

Note: % dry matter; \*Vitamin and mineral premix was purchased from Guangdong Daynew Aquatic Sci-Tech Co, Ltd (item number: Dn698)

### 1.3 取样方法

试验结束时整缸称重并计数,用以计算生长性能;每缸取样5尾鱼,经间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐(3-Aminobenzoic acid ethyl ester methanesulfonate, MSS-22, 50 mg/L)麻醉后,3尾用肝素钠润洗后的注射器在尾静脉处采血,转入肝素钠润洗过的EP管中,4000 r/min离心15min,取上清液置于新的EP管中,液氮速冻后转入-80℃冰箱中冷冻保存,用于血液生理指标测定;抽过血的黄河鲤于冰上解剖,取其肝脏,预冷生理盐水冲洗干净后,滤纸吸干水分,放入EP冻存管中,用于肝脏生理指标测定;同时解剖刀取背脊以下、侧线以上肌肉放入样品袋中,液氮速冻后转入-80℃冰箱中冷冻保存,用于分析肌肉常规营养成分和氨基酸组成。剩余2尾称重并记录抹干重用于体成分分析。

### 1.4 样品分析

试验饲料、鱼体背肌和全鱼体成分组成采用AOAC(1995)方法进行测定,具体方法如下:水分(Moisture)含量在105℃烘箱中烘至恒定进行测定;粗蛋白质(Crude protein)含量按照凯氏定氮法测定样品中氮的含量后,乘以系数6.25计算得出;粗脂肪(Crude lipid)含量采用索氏抽提仪测定;粗灰分(Crude ash)含量用马弗炉550℃度灼烧至恒重测定。

鱼体肌肉氨基酸组成测定根据GB5009.124-2016标准由农业农村部农产品质量监督检验测试中心(郑州)检测。血液和肝脏谷胱甘肽过氧化物酶(Glutathione peroxidase, GSH-PX)、超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、丙二醛(Malondialdehyde, MDA)、碱性磷酸酶(Alkaline phosphatase, AKP)和酸性磷酸酶(Acid phosphatase, ACP)等用购自南京建成科技有限公司的试剂盒测定。

### 1.5 数据处理

试验鱼的增重率(Weight gain rate, *WGR*)、特定生长率(Specific growth rate, *SGR*)和饲料转化率(Feed conversion rate, *FCR*)的计算公式如下:

增重率(*WGR*, %)=100×(终末体重-初始体重)/初始重量

特定生长率(*SGR*, %/d)=100×(ln鱼体末重-ln鱼体初重)/饲养天数

饲料转化效率(*FCR*, %)=100×增重/投喂量

数据以“平均值±标准误(mean±SE)”表示,利用SPSS 25.0软件进行分析处理。数据经齐性检验后(Homogeneity of variances),进行单因素方差分析(One-way ANOVA),如果数据差异显著( $P<0.05$ ),进行Duncan's多重比较(Duncan's multiple range test)。

## 2 结果

### 2.1 饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤生长性能和饲料利用的影响

由表2可知,在饲料中添加不同含量杜仲叶粉对黄河鲤的增重率、特定生长率及饲料转化效率均无显著性差异影响( $P>0.05$ )。

### 2.2 饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤肌肉和鱼体成分组成的影响

由表3可知,黄河鲤肌肉中水分含量以6%杜仲叶粉添加组最低,显著低于其他处理组( $P<0.05$ ),肌肉粗灰分含量在各处理组间无显著差异( $P>0.05$ )。肌肉中粗脂肪含量随着饲料中杜仲叶粉的添加量升高显著下降,以8%杜仲叶粉添加组最低,显著低于0添加组和2%添加组( $P<0.05$ );粗蛋白含量则随着饲料中杜仲叶粉的添加呈显著上升趋势,于6%杜仲叶粉添加组鱼体肌肉粗蛋白含量最高,显著高于对照组( $P<0.05$ )。

由表4可知,在饲料中添加杜仲叶粉显著影响黄河鲤鱼体粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和水分含量( $P<0.05$ )。鱼体水分含量随饲料中杜仲叶粉含量的增加整体呈显著下降趋势,以8%添加组水分含量最低( $P<0.05$ )。除6%添加组外,鱼体粗灰分、粗蛋白和粗脂肪含量均表现出随饲料中杜仲叶粉含量升高而上升趋势,均以8%处理组最高( $P<0.05$ )。

### 2.3 饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤肌肉氨基酸组成的影响

对黄河鲤肌肉中16种氨基酸含量进行检测发现,黄河鲤肌肉中苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)和组氨

表2 饲料中杜仲叶粉不同添加水平对黄河鲤生长性能和饲料利用的影响

Tab. 2 Effects of dietary of *Eucommia ulmoides* leaf powder on growth and feed utilization of yellow river carp

指标Index	杜仲添加量Dietary of <i>Eucommia ulmoides</i> leaf powder				
	0	2%	4%	6%	8%
增重率 <i>WGR</i> (%)	39.60±3.76	34.54±6.54	30.95±5.00	35.52±5.44	34.64±2.69
特定生长率 <i>SGR</i> (%/d)	0.69±0.06	0.61±0.10	0.56±0.08	0.63±0.08	0.62±0.04
饲料转化效率 <i>FCR</i> (%)	78.56±7.27	66.00±10.81	61.74±9.95	74.70±6.49	73.17±4.41

注:同行数据不同字母上标表示差异显著( $P<0.05$ ); mean±SE,  $n=3$ ; 下同

Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ ); mean±SE,  $n=3$ ; The same applies below

酸(His)的含量随饲料中杜仲叶粉含量的增加整体呈先升高后降低趋势( $P<0.05$ ; 表 5)。苏氨酸(Thr)含量在4%和6%添加组显著高于对照组( $P<0.05$ ); 丝氨酸(Ser)含量则在4%杜仲叶粉添加组最高

( $P<0.05$ ), 显著高于对照组( $P<0.05$ ); 组氨酸(His)含量在2%处理组显著最高( $P<0.05$ )。各处理组总氨基酸含量、总必需氨基酸占总氨基酸比值、总非必需氨基酸占总氨基酸比值均无显著性差异( $P>0.05$ )。

表 3 饲料中杜仲叶粉不同添加水平对黄河鲤鱼肌肉成分的影响

Tab. 3 Effects of dietary of *Eucommia ulmoides* leaf powder on muscle composition of yellow river carp

成分Composition	杜仲添加量Dietary of <i>Eucommia ulmoides</i> leaf powder				
	0	2%	4%	6%	8%
水分Moisture	78.48±0.10 <sup>ab</sup>	78.65±0.09 <sup>ab</sup>	78.69±0.14 <sup>a</sup>	77.91±0.15 <sup>b</sup>	78.74±0.19 <sup>a</sup>
粗灰分Crude ash	1.30±0.02	1.30±0.03	1.31±0.01	1.38±0.03	1.33±0.02
粗脂肪Crude lipid	1.95±0.07 <sup>a</sup>	1.65±0.05 <sup>ab</sup>	1.35±0.08 <sup>bc</sup>	1.25±0.18 <sup>bc</sup>	1.08±0.05 <sup>c</sup>
粗蛋白Crude protein	18.64±0.10 <sup>b</sup>	18.56±0.23 <sup>b</sup>	18.99±0.15 <sup>ab</sup>	19.76±0.11 <sup>a</sup>	19.05±0.08 <sup>ab</sup>

注: %鲜物质基础; 下同

Note: % wet-basis; The same applies below

表 4 饲料中杜仲叶粉不同添加水平对黄河鲤鱼体成分的影响

Tab. 4 Effects of dietary of *Eucommia ulmoides* leaf powder on body composition of yellow river carp

成分Composition	杜仲添加量Dietary of <i>Eucommia ulmoides</i> leaf powder				
	0	2%	4%	6%	8%
水分Moisture	68.20±1.07 <sup>a</sup>	64.90±0.61 <sup>ab</sup>	62.18±1.05 <sup>bc</sup>	67.18±0.64 <sup>ab</sup>	58.52±2.88 <sup>c</sup>
粗灰分Crude ash	4.32±0.19 <sup>b</sup>	4.93±0.21 <sup>ab</sup>	5.55±0.38 <sup>ab</sup>	4.35±0.33 <sup>b</sup>	6.18±0.64 <sup>a</sup>
粗脂肪Crude lipid	6.22±0.41 <sup>b</sup>	6.67±0.35 <sup>b</sup>	7.66±0.58 <sup>ab</sup>	6.17±0.05 <sup>b</sup>	9.83±1.45 <sup>a</sup>
粗蛋白Crude protein	18.76±1.10 <sup>c</sup>	21.44±0.16 <sup>abc</sup>	23.16±0.53 <sup>ab</sup>	20.60±0.31 <sup>bc</sup>	24.05±1.69 <sup>a</sup>

表 5 不同杜仲叶粉添加水平对黄河鱼肌肉氨基酸组成的影响

Tab. 5 Effects of dietary of *Eucommia ulmoides* leaf powder on muscle amino acid composition of yellow river carp

氨基酸种类Kinds of amino acid	杜仲添加量Dietary of <i>Eucommia ulmoides</i> leaf powder				
	0	2%	4%	6%	8%
总必需氨基酸TEAA	7.73±0.11	7.68±0.26	7.94±0.12	8.05±0.13	7.79±0.09
苏氨酸Thr	0.82±0.01 <sup>b</sup>	0.86±0.03 <sup>ab</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>	0.85±0.01 <sup>ab</sup>
缬氨酸Val	0.94±0.01	0.91±0.03	0.92±0.01	0.94±0.01	0.91±0.01
蛋氨酸Met	0.61±0.01	0.60±0.03	0.65±0.02	0.65±0.01	0.62±0.01
异亮氨酸Ile	0.89±0.02	0.87±0.03	0.89±0.01	0.92±0.01	0.89±0.01
亮氨酸Leu	1.57±0.03	1.56±0.06	1.63±0.02	1.65±0.03	1.60±0.02
苯丙氨酸Phe	0.92±0.01	0.90±0.03	0.92±0.02	0.94±0.02	0.91±0.01
赖氨酸Lys	1.98±0.04	1.97±0.07	2.03±0.02	2.07±0.04	2.01±0.02
总非必需氨基酸TNEAA	11.06±0.24	11.14±0.31	11.45±0.15	11.48±0.15	11.11±0.10
组氨酸His	0.65±0.01 <sup>cd</sup>	0.73±0.01 <sup>a</sup>	0.69±0.01 <sup>b</sup>	0.68±0.01 <sup>bc</sup>	0.63±0.01 <sup>d</sup>
精氨酸Arg	1.22±0.03	1.21±0.04	1.27±0.01	1.30±0.03	1.25±0.02
天冬氨酸Asp	2.00±0.04	1.98±0.06	2.04±0.03	2.07±0.03	2.00±0.02
丝氨酸Ser	0.70±0.02 <sup>b</sup>	0.74±0.03 <sup>ab</sup>	0.78±0.02 <sup>a</sup>	0.76±0.01 <sup>ab</sup>	0.71±0.01 <sup>b</sup>
谷氨酸Glu	3.08±0.09	3.10±0.12	3.19±0.04	3.20±0.06	3.12±0.04
甘氨酸Gly	0.91±0.02	0.89±0.01	0.91±0.01	0.91±0.01	0.90±0.00
丙氨酸Ala	1.19±0.02	1.17±0.03	1.20±0.02	1.23±0.02	1.18±0.01
酪氨酸Tyr	0.72±0.02	0.74±0.03	0.78±0.02	0.76±0.01	0.74±0.01
脯氨酸Pro	0.60±0.02	0.58±0.00	0.58±0.01	0.58±0.01	0.56±0.01
总氨基酸TAA	18.79±0.36	18.82±0.57	19.39±0.27	19.54±0.28	18.90±0.19
总必需氨基酸/总氨基酸TEAA/TAA	41.16±0.18	40.79±0.17	40.93±0.08	41.22±0.11	41.21±0.04
总非必需氨基酸/总氨基酸TNEAA/TAA	58.84±0.18	59.21±0.17	59.07±0.08	58.78±0.11	58.79±0.04

黄河鲤鱼肌肉中呈味氨基酸总量、甜味氨基酸总量、苦味氨基酸总量、酸味氨基酸总量及鲜味氨基酸总量在各处理组间无显著性差异( $P>0.05$ ),但均在4%—6%杜仲叶粉添加组较高(表6)。

将各处理组呈味氨基酸与黄河鲤鱼肌肉中氨基酸总量比较分析发现,酸味氨基酸与总氨基酸比值在2%添加组显著高于其他处理组,药效氨基酸与总氨基酸的比值则在2%添加组最低,显著低于其他处理组( $P<0.05$ ),以6%添加组最高(表7)。

#### 2.4 饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤鱼血浆生理指标的影响

由表8可知,在饲料中添加杜仲叶粉显著影响黄河鲤鱼血浆GSH-PX、SOD、ACP、AKP的活性和MDA含量( $P<0.05$ )。血浆GSH-PX、MDA和AKP随饲料中杜仲叶粉含量的添加整体呈先升高后降

低的趋势,GSH-PX活性和MDA含量均在6%处理组显著最高( $P<0.05$ )。ACP活性在8%添加组最高( $P<0.05$ ),显著高于其他处理组( $P<0.05$ )。AKP活性在4%处理组显著最高( $P<0.05$ ),SOD活性则随饲料中杜仲叶粉含量增加显著,以2%处理组显著最低( $P<0.05$ ),至8%处理组升至对照水平。

#### 2.5 饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤鱼肝脏生理指标的影响

由表9可知,肝脏中GSH-PX、AKP、ACP活性及MDA的含量均随饲料中杜仲叶粉含量的增加呈先上升后下降的趋势,其中GSH-PX活性和MDA含量在4%处理组显著最高( $P<0.05$ ),ACP活性在4%处理组显著升至最高后维持在此水平( $P<0.05$ ),AKP活性则在6%处理组显著最高( $P<0.05$ )。肝脏SOD含量则随着杜仲叶粉的添加持续上升,至

表6 不同杜仲叶粉添加水平对黄河鲤鱼肌肉中功能氨基酸含量的影响

Tab. 6 Effects of dietary of *Eucommia ulmoides* leaf powder on function amino acid composition of yellow river carp muscle

氨基酸分类Classify of amino acid		杜仲添加量Dietary of <i>Eucommia ulmoides</i> leaf powder				
		0	2%	4%	6%	8%
呈味氨基酸Flavor amino acid	Gly, Ala, Pro, Thr, Ser, Lys, Glu, Phe, Arg, Ile, Val, Leu, Met, His, Asp	18.07±0.34	18.08±0.54	18.61±0.24	18.77±0.28	18.16±0.18
甜味氨基酸Sweetness amino acid	Gly, Ala, Pro, Thr, Ser, Lys, Glu	9.28±0.20	9.30±0.27	9.58±0.13	9.64±0.14	9.34±0.09
苦味氨基酸Bitterness amino acid	Phe, Arg, Ile, Val, Leu, Met, His	6.79±0.11	6.80±0.20	6.98±0.08	7.07±0.11	6.81±0.06
酸味氨基酸Tartness amino acid	His, Asp, Glu	5.73±0.12	5.82±0.18	5.92±0.07	5.95±0.09	5.76±0.06
鲜味氨基酸Umami amino acid	Asp, Glu	5.08±0.13	5.08±0.18	5.23±0.07	5.27±0.09	5.13±0.06
药效氨基酸Drug-effective amino acid	Gly, Lys, Glu, Leu, Met, Phe, Tyr, Asp, Arg	13.01±0.29	12.96±0.43	13.43±0.19	13.56±0.21	13.16±0.15

表7 不同杜仲叶粉添加水平对黄河鲤鱼肌肉中各功能氨基酸含量占肌肉总氨基酸百分比的影响

Tab. 7 Effects of dietary of *Eucommia ulmoides* leaf powder on the rate of function amino acid to total amino acid of yellow river carp muscle

氨基酸分类Classify of amino acid	杜仲添加量Dietary of <i>Eucommia ulmoides</i> leaf powder				
	0	2%	4%	6%	8%
呈味氨基酸Flavor amino acid					
甜味氨基酸Sweetness amino acid	49.36±0.15	49.45±0.07	49.44±0.01	49.34±0.06	49.43±0.03
苦味氨基酸Bitterness amino acid	36.15±0.14	36.12±0.04	36.00±0.09	36.17±0.04	36.04±0.03
酸味氨基酸Tartness amino acid	30.47±0.07 <sup>b</sup>	30.91±0.14 <sup>a</sup>	30.55±0.08 <sup>b</sup>	30.44±0.05 <sup>b</sup>	30.47±0.02 <sup>b</sup>
鲜味氨基酸Umami amino acid	27.04±0.18	27.01±0.18	26.97±0.04	26.97±0.11	27.12±0.08
药效氨基酸Drug-effective amino acid	69.24±0.21 <sup>ab</sup>	68.86±0.18 <sup>b</sup>	69.26±0.05 <sup>ab</sup>	69.39±0.10 <sup>a</sup>	69.62±0.09 <sup>a</sup>

表8 饲料中不同添加水平杜仲叶粉对黄河鲤鱼血浆生理指标的影响

Tab. 8 Effects of dietary of *Eucommia ulmoides* leaf powder on plasma physiological indexes of yellow river carp

指标Index	杜仲添加量Dietary of <i>Eucommia ulmoides</i> leaf powder				
	0	2%	4%	6%	8%
谷胱甘肽过氧化物酶GSH-PX (U/mL)	178.67±9.40 <sup>b</sup>	136.67±26.03 <sup>b</sup>	254.00±50.00 <sup>b</sup>	385.00±45.00 <sup>a</sup>	210.00±62.00 <sup>b</sup>
超氧化物歧化酶SOD (U/mL)	3.19±0.16 <sup>a</sup>	2.38±0.21 <sup>b</sup>	2.76±0.16 <sup>ab</sup>	2.99±0.02 <sup>a</sup>	3.26±0.08 <sup>a</sup>
丙二醛MDA (nmol/mL)	3.10±0.12 <sup>b</sup>	3.27±0.25 <sup>b</sup>	3.35±0.27 <sup>b</sup>	4.17±0.43 <sup>a</sup>	3.48±0.25 <sup>ab</sup>
碱性磷酸酶AKP (U/mg prot)	1.69±0.11 <sup>b</sup>	4.56±0.46 <sup>a</sup>	5.35±0.69 <sup>a</sup>	1.47±0.19 <sup>b</sup>	1.11±0.11 <sup>b</sup>
酸性磷酸酶ACP (U/mg prot)	4.03±0.46 <sup>b</sup>	4.22±0.22 <sup>b</sup>	3.73±0.47 <sup>b</sup>	3.86±0.32 <sup>b</sup>	14.87±1.24 <sup>a</sup>

8%处理组升至最高, 显著高于其他处理组( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤鱼生长性能和饲料利用的影响

现有研究表明, 在饲料中添加杜仲叶粉、杜仲提取物或杜仲活性成分等并不都能改善鱼类生长性能、降低饲料系数<sup>[6-9, 12-15]</sup>, 如冷向军等<sup>[13]</sup>在饲料中添加4%的杜仲叶粉显著提高规格为(425.8±37.6)g的草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)增重率、降低饲料系数, 但许晓莹等<sup>[14]</sup>在饲料中添加2%的杜仲却对规格为(215±0.4)g的草鱼生长无显著影响。饲料中添加20 g/kg的杜仲可显著提高规格为(95.1±0.3)g的草鱼增重率, 但对规格为(47.1±0.8)g的草鱼生长无显著促进作用<sup>[6, 7]</sup>。饲料中添加0.5%—4.0%杜仲皮水提取物也未能显著提高虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) [规格: (145.56±4.12)g]的生长效率<sup>[9]</sup>。饲料中添加5和20 g/kg的杜仲叶粉甚至显著降低大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)的摄食率、终末体重和特定生长率<sup>[15]</sup>。这种不一致性可能与实验鱼种属、规格、杜仲添加浓度及活性成分等直接相关。已有数据表明杜仲不同活性成分引起鱼类生长效果差异显著: 如与绿原酸相比, 杜仲提取物京尼平苷酸和京尼平苷对草鱼鱼种生长无促进作用<sup>[16]</sup>, 在大鼠(*Rattus norvegicus*)饲料中添加京尼平苷酸甚至抑制其摄食, 导致体重下降<sup>[17]</sup>; 即使同一杜仲提取物对同一物种不同规格鱼类也可能产生不同的生长效果, 如杜仲提取物绿原酸对小规格草鱼(3—40 g)的生长有促进作用<sup>[18]</sup>, 但对较大规格草鱼鱼种[(95.1±0.3)g]作用不明显<sup>[6]</sup>。与上述文献报道相比, 本试验中添加不同含量杜仲叶粉对黄河鲤鱼生长性能及饲料利用均无显著作用, 推测可能因实验鱼种属、规格或者不同来源杜仲产品成分差异所致。

#### 3.2 饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤鱼体成分和氨基酸组成的影响

本实验中添加适量杜仲叶粉可有效降低黄河

鲤背肌粗脂肪含量, 提高背肌粗蛋白含量, 这和杨航等<sup>[5]</sup>、冷向军等<sup>[13]</sup>、罗庆华等<sup>[19]</sup>的实验结果相一致。也有研究表明在饲料中添加杜仲叶粉、杜仲皮或其提取物对鱼类肌肉常规营养成分无显著影响<sup>[9, 14, 20]</sup>。在虹鳟饲料中添加杜仲皮水提取物显著提高其肌肉中粗脂肪含量<sup>[21]</sup>。杜仲叶粉引起机体肌肉常规营养成分含量变化趋势不一致的现象在哺乳类中也有报道<sup>[22]</sup>。这种不一致性可能受实验动物物种、实验条件和杜仲活性成分组成等影响, 如Sun等<sup>[7]</sup>研究发现绿原酸和京尼平苷可显著降低草鱼[规格: (47.1±0.6)g]肌肉脂肪含量, 但相同添加浓度(400 mg/kg)的京尼平苷酸却对草鱼肌肉脂肪含量无显著影响。在规格为(18.50±0.40)g的草鱼实验中, 肌肉常规营养成分未受饲料中京尼平苷酸(400 mg/kg)和京尼平苷(400 mg/kg)的影响<sup>[5]</sup>。摄食不同杜仲提取物的草鱼肌肉转录组学分析结果显示, 杜仲活性成分显著影响草鱼肌肉代谢通路, 槲皮素处理组、京尼平苷酸处理组和京尼平苷处理组显著富集的KEGG通路分别为37条、4条和5条, 其中槲皮素处理组37条通路中大部分参与肌肉收缩、脂质代谢、免疫和抗氧化, 京尼平苷酸处理组的4条通路中有3条与脂质代谢相关, 而京尼平苷处理组的5条通路有4条与免疫相关。哺乳类的研究也表明杜仲叶或者杜仲成分可通过影响机体血液代谢组学、脂肪和糖类代谢相关基因mRNA的表达水平影响营养物质在生物体内的分配<sup>[23, 24]</sup>。在本试验饲料中添加一定量杜仲叶粉显著降低黄河鲤鱼肌肉粗脂肪的蓄积, 显著提高肌肉粗蛋白及全鱼鱼体粗蛋白和粗脂肪含量, 应该是杜仲叶中各活性成分共同作用调控营养物质在黄河鲤体内分配的结果。

氨基酸是维持机体生命机能的重要物质, 大都因具有酸、甜、苦和鲜等味道决定了食物的风味和营养功效, 部分氨基酸如Asp、Glu、Arg、Gly和Met等还因具有特殊功效被称为药效氨基酸。肌肉中氨基酸种类、含量和比例等是肉类营养价值评价的重要指标和影响肉类风味的重要因素。在本

表9 饲料中杜仲叶粉不同添加水平对黄河鲤鱼肝脏生理指标的影响

Tab. 9 Effects of dietary of *Eucommia ulmoides* leaf powder on liver physiological indexes of yellow river carp

指标Index	杜仲添加量Dietary of <i>Eucommia ulmoides</i> leaf powder				
	0	2%	4%	6%	8%
谷胱甘肽过氧化物酶GSH-PX (U/mg prot)	18.60±1.60 <sup>bc</sup>	22.55±1.50 <sup>b</sup>	28.39±1.96 <sup>a</sup>	16.67±0.46 <sup>c</sup>	21.30±2.23 <sup>bc</sup>
超氧化物歧化酶SOD (U/mg prot)	39.39±0.46 <sup>bc</sup>	38.05±0.31 <sup>c</sup>	39.34±0.66 <sup>bc</sup>	40.76±0.68 <sup>b</sup>	42.61±0.37 <sup>a</sup>
丙二醛MDA (nmol/mg prot)	0.71±0.05 <sup>c</sup>	1.01±0.09 <sup>c</sup>	2.72±0.27 <sup>a</sup>	2.07±0.21 <sup>b</sup>	1.59±0.16 <sup>b</sup>
碱性磷酸酶AKP (U/mg prot)	12.52±0.97 <sup>b</sup>	10.97±0.55 <sup>b</sup>	14.01±1.17 <sup>b</sup>	22.58±1.50 <sup>a</sup>	12.98±1.87 <sup>b</sup>
酸性磷酸酶ACP (U/mg prot)	133.00±5.24 <sup>b</sup>	117.75±7.66 <sup>b</sup>	221.56±10.94 <sup>a</sup>	238.51±14.45 <sup>a</sup>	223.35±16.37 <sup>a</sup>



研究中,饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤肌肉中人体必需氨基酸总量、非必需氨基酸总量、总氨基酸含量、甜味氨基酸总量、苦味氨基酸总量、酸味氨基酸总量及药效氨基酸总量无显著影响,但显著影响黄河鲤肌肉中Thr、Ser、His的含量及酸味氨基酸和药效氨基酸与黄河鲤肌肉中总氨基酸的比值。黄河鲤肌肉Thr含量在4%—6%杜仲叶粉添加组、Ser含量在2%—4%添加组显著高于对照组,说明在饲料中添加一定量的杜仲叶粉可显著提高肌肉中Thr和Ser的含量。杨航等<sup>[5]</sup>、Sun等<sup>[7]</sup>在草鱼同样观察到杜仲产物促进肌肉中Thr和Ser含量的蓄积。张安青等<sup>[9]</sup>在虹鳟中也报道了杜仲水提物提高了虹鳟肌肉中Ser和His含量。本试验中黄河鲤肌肉His含量随杜仲叶粉添加显著上升后又显著下降,说明添加一定量杜仲叶粉对黄河鲤肌肉His沉积有促进作用,添加量过高则降低黄河鲤肌肉中His的含量,这与Sun等<sup>[7]</sup>在草鱼中的研究结果相一致。杜仲产物促进肌肉Ser合成的现象在鸡中也有报道<sup>[25]</sup>。也有文献报道显示在饲料中添加杜仲叶粉对肌肉Thr和Ser含量无显著影响,如张青红<sup>[8]</sup>研究发现饲料中添加杜仲叶粉对青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)肌肉Gly、Asp、Ala和Glu四种呈鲜味氨基酸及Lys、Ile、Val和Met的合成有显著促进作用,但对Thr和Ser含量无显著促进作用。在本试验中,黄河鲤肌肉中呈味氨基酸总量和各呈味氨基酸在各处理组间均无显著差异,但均以4%—6%添加组略高。酸味氨基酸总量与总氨基酸之比在2%处理组显著最高,药效氨基酸总量与总氨基酸之比随着杜仲叶粉添加量显著上升,说明杜仲叶粉添加对黄河鲤肌肉中呈味氨基酸有一定影响。但不同文献报道间肌肉氨基酸数据受杜仲叶粉影响的差异性提示杜仲或其活性成分对机体肌肉氨基酸沉积的影响需进行更为深入和精准的研究。

### 3.3 饲料中添加杜仲叶粉对黄河鲤血液和肝脏生理指标的影响

血液是维持生物体内环境稳定的重要组成部分,肝脏是生命体物质代谢的重要器官,血液和肝脏生理指标可直观反应生物体健康程度。GSH-PX和SOD是机体内2种重要的抗氧化酶,是机体抵抗外界应激的重要屏障。AKP和ACP作为溶酶体的重要组成部分,可作用于病原体表面结构进而促进巨噬细胞对病原体的识别和吞噬,在提高机体免疫力、转移磷酸基团和物质消化吸收中发挥重要作用<sup>[26]</sup>。MDA是机体脂质过氧化反应的终产物,反映机体氧化损伤的程度。本试验数据表明随饲料中杜仲叶粉含量增加黄河鲤血浆和肝脏中GSH-

PX和AKP活性均先显著上升后下降。在饲料中添加一定量的杜仲叶粉可显著提高血浆和肝脏中ACP活性和SOD活性,这和张青红等<sup>[8]</sup>、张纯等<sup>[27]</sup>、李军涛等<sup>[28]</sup>、彭密军等<sup>[29]</sup>的研究结果相一致,说明在饲料中添加一定含量的杜仲叶粉有助于促进黄河鲤成鱼机体抗氧化和非特异性免疫力的提升。

在本试验中,黄河鲤血浆和肝脏MDA含量随杜仲叶粉含量呈先显著上升后下降,说明本实验所用杜仲叶粉可在一定程度上引起鱼体脂质过氧化反应,这和Yang等<sup>[20]</sup>在草鱼中的研究结果相异,但和李军涛等<sup>[28]</sup>在凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)中得到的结果相一致。Yang等<sup>[20]</sup>研究发现杜仲叶和杜仲皮提取物显著降低草鱼机体MDA含量,李军涛等<sup>[28]</sup>研究却发现饲料中添加0.1—0.7 g/kg杜仲叶提取物导致凡纳滨对虾血清MDA含量先显著升高后又降至对照水平,肝胰腺中MDA含量则在0.7 g/kg处理组显著高于其他处理组。刘波等<sup>[12]</sup>的研究也发现饲料中杜仲添加量过低或者过高均可导致凡纳滨对虾血清MDA含量升高,这可能和杜仲叶添加水平及其含有的活性成分有关。杜仲和杜仲叶中含有100多种活性物质<sup>[30]</sup>,其药效活性成分因采收季节、产地、生长年限、采收部位和加工贮存方法等而异<sup>[31]</sup>。刘荣华等<sup>[32]</sup>对国内17个不同产地杜仲叶活性成分测定数据表明河南产杜仲叶中京尼平苷酸、桃叶珊瑚苷含量较高,提示河南产杜仲叶中环烯醚萜苷类物质含量较高。哺乳类中的研究已经表明杜仲或其活性成分可致慢性毒性作用<sup>[33]</sup>,杜仲活性成分环烯醚萜苷类物质(京尼平苷、京尼平苷酸等)可能是导致杜仲慢性毒性作用的主要物质<sup>[34,35]</sup>。京尼平苷在体内的代谢产物京尼平可引起HepG2细胞内总活性氧水平明显升高,且呈显著浓度依赖效应<sup>[36]</sup>。本实验所用杜仲叶粉来自河南汝阳县杜仲种植基地,可能含有较多环烯醚萜苷类物质,这或许是导致本试验中黄河鲤血浆和肝脏中MDA含量上升的原因。在本试验中随着杜仲叶粉添加量的进一步增加黄河鲤血浆和肝脏MDA含量下降说明此时杜仲叶粉中活性物质的抗氧化作用超过了氧化作用,这可由黄河鲤血浆和肝脏中GSH-PX及SOD含量随杜仲叶粉添加整体呈上升趋势证实。

整体而言,综合考虑本实验血液和肝脏生理指标,建议黄河鲤成鱼饲料中杜仲叶粉的添加量以4%—6%为宜。

### 致谢:

本实验所用杜仲叶粉和黄河鲤分别由国家林

业局泡桐研究开发中心和河南省水产科学研究院水产养殖与遗传鱼种研究室提供。感谢在实验鱼养殖过程中张言浩、张苗苗、杨奥昆和丁仕萍四位同学给予的帮助!

### 参考文献:

- [1] Zhou L L, Wang D F, He D L, *et al.* Research progress on the application of plant extracts in aquaculture [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2018, **38**(2): 102-106. [周璐丽, 王定发, 何德林, 等. 植物提取物在养殖业中的应用研究进展 [J]. *热带农业科学*, 2018, **38**(2): 102-106.]
- [2] Wu H Y, Peng C J, Deng H Q. Research progress on chemical constituents of *Eucommia ulmoides* leaves [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, **40**(17): 360-364. [吴红艳, 彭呈军, 邓后勤. 杜仲叶化学成分研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2019, **40**(17): 360-364.]
- [3] Zhao S, Duan M F, Hu H W, *et al.* The function of *Eucommia ulmoides* leaves and its application in farmed animals [J]. *Feed Review*, 2017(3): 27-30. [赵帅, 段明房, 胡红伟, 等. 杜仲叶的功能及在养殖动物中的应用 [J]. *饲料博览*, 2017(3): 27-30.]
- [4] Kobayashi Y, Hiroi T, Araki M, *et al.* Facilitative effects of *Eucommia ulmoides* on fatty acid oxidation in hypertriglyceridaemic rats [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, **92**(2): 358-365.
- [5] Yang H, Xu Z, Tan S M, *et al.* Effects of *Eucommia ulmoides* bark and leaves on growth, muscle quality and collagen related gene expression of grass carp [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2020, **32**(12): 5827-5838. [杨航, 徐祺, 谭素梅, 等. 杜仲皮、叶对草鱼生长、肌肉品质及胶原蛋白相关基因表达的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, **32**(12): 5827-5838.]
- [6] Sun W T, Li X Q, Xu H B, *et al.* Effects of dietary chlorogenic acid on growth, flesh quality and serum biochemical indices of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2017, **23**(6): 1254-1263.
- [7] Sun W T, Xu X Y, Li X Q, *et al.* Effects of dietary geniposidic acid on growth, flesh quality and collagen gene expression of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2018, **24**(3): 1112-1121.
- [8] Zhang Q H. Effects of *Eucommia ulmoides* leaf powder on growth, immunity and meat quality of herring [D]. Guangxi: Guangxi University, 2015: 39-433 [张青红. 饲料中添加杜仲叶粉对青鱼生长、免疫和肉质的影响研究 [D]. 广西: 广西大学, 2015: 39-43.]
- [9] Zhang A Q, Jiang H B, An M, *et al.* Effects of *Eucommia ulmoides* oliver bark aqueous extract on growth and muscle quality and texture characteristics of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2019, **31**(4): 1943-1951. [张安青, 姜海波, 安苗, 等. 杜仲皮水提物对虹鳟生长和肌肉品质、质构特性的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, **31**(4): 1943-1951.]
- [10] Li X S, Zhu X M, Han D, *et al.* Carbohydrate utilization by herbivorous and omnivorous freshwater fish species: a comparative study on gibel carp (*Carassius auratus gibelio. var CAS III*) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Aquaculture Research*, 2016, **47**(1): 128-139.
- [11] Zhou J C, Han D, Jin J Y, *et al.* Compared to fish oil alone, a corn and fish oil mixture decreases the lipid requirement of a freshwater fish species, *Carassius auratus gibelio* [J]. *Aquaculture*, 2014(428-429): 272-279.
- [12] Liu B, Leng X J, Li X Q, *et al.* Effects of *Eucommia ulmoides* on growth, serum non-specific immunity and muscle composition of *Penaeus vannamei* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, **20**(4): 869-875. [刘波, 冷向军, 李小勤, 等. 杜仲对凡纳滨对虾生长、血清非特异性免疫和肌肉成分的影响 [J]. *中国水产科学*, 2013, **20**(4): 869-875.]
- [13] Leng X J, Meng X L, Li J L, *et al.* A preliminary study on the effects of *Eucommia ulmoides* leaves on growth, serum non-specific immune index and meat quality of grass carp [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008, **32**(3): 434-440. [冷向军, 孟晓林, 李家乐, 等. 杜仲叶对草鱼生长、血清非特异性免疫指标和肉质影响的初步研究 [J]. *水产学报*, 2008, **32**(3): 434-440.]
- [14] Xu X Y, Li X Q, Sun W T, *et al.* Effects of *Eucommia ulmoides* on growth, muscle quality and collagen gene expression of grass carp [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, **42**(5): 787-796. [许晓莹, 李小勤, 孙文通, 等. 杜仲对草鱼生长、肌肉品质和胶原蛋白基因表达的影响 [J]. *水产学报*, 2018, **42**(5): 787-796.]
- [15] Zhang B L, Li C Q, Wang X, *et al.* The effects of dietary *Eucommia ulmoides* Oliver on growth, feed utilization, antioxidant activity and immune responses of turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2019, **25**(2): 367-376.
- [16] Sun W T, He M, Xu X Y, *et al.* Comparison study of three compounds in *Eucommia ulmoides* on growth, flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2019, **201**(25): 906-916.
- [17] Li Y, Metorim K, Koike K, *et al.* Improvement in the turnover rate of the stratum corneum in false aged model rats by the administration of geniposidic acid in *Eucommia ulmoides* Oliver leaf [J]. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 1999, **22**(6): 582-585.
- [18] Li N S, Leng X J, Li X Q, *et al.* Effects of chlorogenic acid on growth, non-specific immunity and meat quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, **38**(4): 619-626. [李乃顺, 冷向军, 李小勤, 等. 绿原酸对草鱼鱼种生长、非特异性免疫和肉质的影响 [J]. *水生生物学报*, 2014, **38**(4): 619-626.]

- [19] Luo Q H, Lu X Y, Li W F. Effects of *Eucommia* leaf powder on carp's muscle quality [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Science)*, 2002, **28**(3): 224-226. [罗庆华, 卢向阳, 李文芳. 杜仲叶粉对鲤鱼肌肉品质的影响 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2002, **28**(3): 224-226.]
- [20] Yang H, Xu Z, Li X Q, et al. Influences of dietary *Eucommia ulmoides* extract on growth, flesh quality, antioxidant capacity and collagen-related genes expression in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2021(277): 114965.
- [21] Li L, Jiang H B, Jiang Z Q, et al. Effects of aqueous extract of *Eucommia ulmoides* Oliver bark on growth, and intestinal histology and microbiota diversity in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2020, **35**(4): 481-490. [李礼, 姜海波, 姜志强, 等. 饲料添加杜仲皮水提取物对虹鳟生长、肠道组织学及菌群多样性的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2020, **35**(4): 481-490.]
- [22] Tang A J. Effects of corn silage supplemented with *Eucommia ulmoides* leaves on growth performance, blood indexes and meat quality of sheep [D]. Kaifeng: Henan University, 2020: 22-28. [唐艾嘉. 添加杜仲叶的玉米青贮对绵羊生长性能、血液指标和肉品质的影响 [D]. 开封: 河南大学, 2020: 22-28.]
- [23] Yang G Q, Wang L F, Lian H X, et al. Study on the effect of *Eucommia ulmoides* leaves on serum metabolomics of sheep [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2017, **44**(7): 1915-1924. [杨改青, 王林枫, 廉红霞, 等. 杜仲叶影响绵羊血清代谢组学的研究 [J]. 中国畜牧兽医, 2017, **44**(7): 1915-1924.]
- [24] Zheng G D, Pan Y F, Li D M, et al. Effects of *Eucommia ulmoides* leaves on the activity of lipid metabolic enzymes in the liver of mice [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, **14**(11): 22-26. [郑国栋, 潘永芳, 黎冬明, 等. 杜仲叶对小鼠肝脏脂肪代谢酶活性的影响 [J]. 中国食品学报, 2014, **14**(11): 22-26.]
- [25] Wang Z C, Zhang Z H, Yin D Z, et al. Histological observation of extract development of immune organs in broilers influenced by *Eucommia ulmoides* [J]. *Progress in Veterinary Medicine*, 2007, **28**(12): 36-38. [王正朝, 张正红, 殷定忠, 等. 杜仲提取物对肉仔鸡免疫器官发育影响的组织学观察 [J]. 动物医学进展, 2007, **28**(12): 36-38.]
- [26] Cao X F, Huang H H, Ren Q N, et al. Distribution and tissue localization of peroxidase, adenosine triphosphatase, succinate dehydrogenase, acid phosphatase, alkaline phosphatase and non-specific esterase in digestive tract of *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. *Chinese Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 2018, **27**(5): 453-458. [曹新芳, 黄慧慧, 任秋楠, 等. 泥鳅消化道过氧化物酶、三磷酸腺苷酶、琥珀酸脱氢酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶及非特异性酯酶的分布与组织定位 [J]. 中国组织化学与细胞化学杂志, 2018, **27**(5): 453-458.]
- [27] Zhang C, Wen A X. Effects of chlorogenic acid on growth, non-specific immune function and antioxidant capacity of Jian carp [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2012, **30**(1): 92-97. [张纯, 温安祥. 绿原酸对建鲤生长、非特异性免疫功能和抗氧化能力的影响 [J]. 四川农业大学学报, 2012, **30**(1): 92-97.]
- [28] Li J T, Li J B, Xi J A, et al. Effects of *Eucommia ulmoides* leaves extract on growth, immune enzyme activity and hepatopancreatic tissue of *Penaeus vannamei* [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, **49**(9): 1858-1864. [李军涛, 李金宝, 洗健安, 等. 杜仲叶提取物对凡纳滨对虾生长、免疫酶活性及肝胰腺组织的影响 [J]. 南方农业学报, 2018, **49**(9): 1858-1864.]
- [29] Peng M J, Zhang M L, Wang Z H, et al. Effects of *Eucommia ulmoides* leaves on growth performance, anti-oxidation and immune function of weaned piglets [J]. *Natural Product Research and Development*, 2019, **31**(4): 675-681. [彭密军, 张命龙, 王志宏, 等. 饲料中添加杜仲叶对断奶仔猪生长性能、抗氧化力和免疫功能的影响 [J]. 天然产物研究与开发, 2019, **31**(4): 675-681.]
- [30] He X R, Wang J H, Li M X, et al. *Eucommia ulmoides* Oliv: Ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of an important traditional Chinese medicine [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2014, **151**(1): 78-92.
- [31] Zhang Q, Su Y Q, Zhang J F. Seasonal difference in antioxidant capacity and active compounds contents of *Eucommia ulmoides* oliver leaf [J]. *Molecules*, 2013, **18**(2): 1857-1868.
- [32] Liu R H, Tang F R, Chen L Y, et al. Comparison of contents of five effective components in *Eucommiae folium* from different areas [J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2015, **21**(18): 31-34. [刘荣华, 唐芳瑞, 陈兰英, 等. 不同产地杜仲叶中5种主要有效成分的含量比较 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, **21**(18): 31-34.]
- [33] Hu C H, Huang Y S, Wang X, et al. Toxicity comparative study of *Eucommia ulmoides* seed and bark [J]. *Journal of Jinggangshan University (Natural Science)*, 2015, **36**(1): 95-99. [胡存华, 黄玉珊, 王霞, 等. 杜仲子与杜仲皮的毒性比较研究 [J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2015, **36**(1): 95-99.]
- [34] Tian J, Yi Y, Zhao Y, et al. Oral chronic toxicity study of geniposide in rats [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2018(213): 166-175.
- [35] Cheng L, Yang H J, Liang R X, et al. Pharmacokinetics of geniposide and its metabolite in rat [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2007, **32**(1): 61-63. [成龙, 杨洪军, 梁日欣, 等. 京尼平昔及其代谢物在大鼠体内的药代动力学研究 [J]. 中国中药杂志, 2007, **32**(1): 61-

- 63.]
- [36] Ren Y Q, Tian Y R, Li C, *et al.* Cytotoxic effect of geniposide and its metabolite genipin on HepG2 cells and mechanism [J]. *Chinese Pharmacological Bulletin*, 2016, **32**(12): 1755-1761. [任艳青, 田宇柔, 李琛, 等. 京尼平及其体内代谢产物京尼平对HepG2细胞毒性的比较及机制研究 [J]. *中国药理学通报*, 2016, **32**(12): 1755-1761.]

## EFFECTS OF DIETARY *EUCOMMIA ULMOIDES* LEAF POWDER ON BODY COMPOSITION, MUSCLE AMINO ACID COMPOSITION, PHYSIOLOGICAL INDEXES OF YELLOW RIVER CARP

LI Hai-Jie<sup>1</sup>, GUO Guo-Jun<sup>2</sup>, GUO Chao-Hui<sup>1</sup>, WANG Lin-Feng<sup>1</sup>, WANG Chun-Xiu<sup>1</sup>,  
LI Ming<sup>1</sup>, LI Guo-Xi<sup>1</sup> and LIU Bian-Zhi<sup>1</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China; 2. Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450046, China)

**Abstract:** To study the effects of *Eucommia ulmoides* leaf powder on body composition, muscle amino acid composition, physiological indicators of yellow river carp, the *Eucommia ulmoides* leaf powder were added into the diet at the concentrations of 0, 2%, 4%, 6% and 8%. 225 individuals with an average weight of (505.13±1.37) g were selected and fed for 55 days. The experimental data showed that: (1) Fresh drosal muscle lipid content and fresh body moisture content decreased significant while fresh drosal muscle protein and fresh body contents of crud protein, crud lipid and crud ash were significant improved with the increasing of *Eucommia ulmoides* leaf powder ( $P<0.05$ ). (2) 16 kinds of amino acids were detected in the muscle of yellow river carp. The fresh content of Thr, Ser and His were significantly affected by the adding of *Eucommia ulmoides* leaf powder. The ratio of total acidic amino acids to total amino acids was significantly higher while the ratio of total pharmacodynamic amino acids to total amino acids was significantly lower in the 2% treatment compared with others ( $P<0.05$ ). (3) The activities of GSH-PX, ACP, AKP and MDA content in plasma and liver significantly increased to the highest level and then decreased with the increased addition of *Eucommia ulmoides* leaf powder. SOD activity of Plasma and liver increased significant according with the increasing *Eucommia ulmoides* leaf powder ( $P<0.05$ ). In plasma, the activities of GSH-PX and content of MDA were all significantly higher in 6% treatment. AKP activity showed the highest in 4% treatment while ACP activity showed the highest in 8% treatment, respectively. SOD activity increased significantly to the control level at 8% treatment. In liver, GSH-PX activity and MDA content were the highest in 4% treatment ( $P<0.05$ ). AKP activity and ACP activity were the highest in 6% treatment and 4% treatment respectively ( $P<0.05$ ). SOD activity showed the highest at 8% treatment ( $P<0.05$ ). In conclusion, according to the fish drosal muscle and body composition, muscle amino acid, antioxidant and non-specific immune indexes in plasma and liver, the recommended level of diet *Eucommia ulmoides* in yellow river carp should be at 4%—6%.

**Key words:** *Eucommia ulmoides* leaf powder; Yellow River carp; Muscle amino acid; Antioxidant; Nonspecific immunity