Liu C F, Huang J T, Cai Y S, *et al*. Aqueous extract of pursane (*Portulaca oleracea*) on growth performance, serum, liver and mucus immunity, and inflammatory factor gene expression in common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2026, 50(4): 042613. [刘从富, 黄镜潼, 蔡雨施, 等. 马齿苋水提物对鲤生长性能、血清、肝脏和黏液免疫及炎症因子的影响 [J]. 水生生物学报, 2026, 50(4): 042613.]

马齿苋水提物对鲤生长性能、血清、肝脏和黏液免疫及炎症因子的影响

刘从富 黄镜潼 蔡雨施 李丽芳 赵海涛 王瑞芳 杨艳平 宋 敏

(内蒙古农业大学动物科学学院, 呼和浩特 010018)

摘要: 本实验旨在探究饲料中添加不同水平马齿苋水提物(Aqueous Extract of *Portulaca oleracea*, AEP)对鲤生长性能、血清、肝脏和黏液免疫及免疫器官炎症因子基因表达的影响。选取240尾健康且体重相近(32.60±0.31) g的鲤幼鱼, 随机分为4个组, 每组3个重复, 每个重复20尾, 对照组饲喂不加AEP的基础饲料、实验组饲喂在基础饲料中分别添加0.25% (AEP0.25%组)、0.50% (AEP0.50%组)和1.00% (AEP1.00%组) AEP的饲料, 实验周期为8周。结果表明: (1)与对照组相比, 实验组鲤的终末体重(FBW)、增重率(WGR)、特定生长率(SGR)、饲料系数(FCR)和摄食率(FR)均无显著影响(P>0.05); 其脏体比(VSI)均显著降低, 肥满度(CF)则均显著升高(P<0.05)。(2)与对照组相比, AEP0.25%组鲤血清中酸性磷酸酶(ACP)活性显著增强(P<0.05), 而髓过氧化物酶(MPO)活性显著降低(P<0.05); AEP0.50%组血清中免疫球蛋白(Ig)含量显著升高(P<0.05)。(3)与对照相比, AEP0.25%组和AEP1.00%组鲤肝脏中谷丙转氨酶(GPT)活性显著降低(P<0.05); AEP1.00%组Ig含量和碱性磷酸酶(AKP)的活性均显著升高(P<0.05)。(4)与对照组相比, AEP0.50%组鲤黏液中AKP活性显著增强(P<0.05), 过氧化物酶(POD)和蛋白酶活性均无显著影响(P>0.05)。(5)在脾脏组织中, 与对照组相比, AEP0.25%组和AEP0.50%组*TNF-α*和*TGF-β*表达水平均显著下调(P<0.05); AEP1.00%组的*TNF-α*表达水平显著低于对照组(P<0.05); 在肾脏组织中, 与对照组相比, 各实验组*IL-1β*表达水平均显著下调(P<0.05); AEP0.50%组和AEP1.00%组*IL-10*表达水平显著下调。综上所述, 饲料中添加适量马齿苋水提物在不影响鲤生长性能的情况下, 能够增强其血清、肝脏及黏液免疫功能, 调控免疫器官炎症因子的基因表达, 进而可能对机体的免疫应答过程发挥积极作用。

关键词: 马齿苋水提物; 生长性能; 免疫功能; 炎症因子; 鲤

中图分类号: S963.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2026)04-042613-11

doi: 10.3724/1000-3207.2025.2025.0255 CSTR: 32229.14.SSSWXB.2025.0255

鲤(*Cyprinus carpio*)作为鲤科鱼类的典型代表, 是我国养殖历史悠久且极为重要的养殖品种[1]。《中国渔业统计年鉴》显示, 2024年鲤养殖年产量高达2939315吨, 占全国淡水鱼养殖总产量的10.34%。鲤也是内蒙古西部地区沿黄流域的主要养殖品种, 依托高寒低温, 盐碱度高的水域特点, 已孕育出黄河鲤(*Cyprinus carpio haematopterus*)、哈素海鲤、巴图湾鲤等[2]一批特色鲤品牌。但随着养殖业集约化发展, 鲤病害的发生率也在逐渐提高。在当前饲料“禁抗”的背景下, 以植物源活性成分作为饲料添加剂替代抗生素已成为提高机体免疫力、预防鱼类疾病发生的研究热点[3]。

收稿日期: 2025-07-28; **修订日期:** 2025-12-03

基金项目: 内蒙古农业大学动物科学学院高水平成果培育专项(CG202446); 内蒙古农业大学动物科学学院青年基金(QN202106) 资助 [Supported by the High Level Achievement Cultivation Project of College of Animal Science of Inner Mongolia Agricultural University (CG202446); Youth Foundation Project of College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University (QN202106)]

作者简介: 刘从富, 硕士研究生; E-mail: 15979110556@163.com

通信作者: 王瑞芳, 副教授; 主要从事植物提取物在水产动物上的应用研究。E-mail: rfwang019@imau.edu.cn

©The Author(s) 2026. This is an open access article under the CC-BY 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

马齿苋(*Portulaca oleracea*)属于马齿苋科一年生的草本植物, 环境适应能力较强, 在我国分布广泛, 长期以来就被当作药食两用植物。马齿苋的提取物中富含多糖类、黄酮类、生物碱类、有机酸等活性成分, 具有清热利湿、解毒消肿、消炎、止渴、利尿等功效[4, 5]。已有研究表明, 马齿苋提取物可以调控动物机体代谢, 提高饲料利用率, 改善畜产品品质, 具有较高的开发利用价值[6]。迄今为止已发现在家禽[7, 8]、肉兔[9]和仔猪[10]等饲料或饮水中添加马齿苋可提高机体抗炎、免疫功能。在水产动物上马齿苋也表现出积极的作用, 如研究显示马齿苋叶粉有望作为一种新型饲料添加剂, 减轻镉暴露对鱼类生长的有害影响, 这得益于其具备抗氧化活性[11]。在饲料中添加马齿苋干粉后罗非鱼(*Oreochromis*)的生长性能提高, 血清中抗氧化酶活性显著增强, 丙二醛含量显著降低[12]。在草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)饲料中添加马齿苋乙醇提取物可以改善草鱼的生长性能, 提高脂肪酶和抗氧化酶活性, 增强免疫反应[13]。此外, 饲料中添加马齿苋水提物可以通过上调斑马鱼(*Danio rerio*)部分免疫相关基因从而对其免疫应答产生有益的影响[14]。而关于饲料中添加马齿苋对鲤的作用效果尚未见报道。

鱼类作为水生变温动物, 其免疫功能受水环境和营养状态的直接调控, 且不同免疫组织的免疫防御角色存在一定的差异。目前多数研究仅聚焦于单一免疫器官(如脾脏)或血清免疫指标, 难以全面评估饲料添加剂对鱼类整体免疫防御体系的调控效果。因此, 基于以上研究背景, 本实验以鲤幼鱼作为研究对象, 通过在饲料中添加不同水平的马齿苋水提物(Aqueous Extract of *Portulaca oleracea*, AEP), 选择血清、肝脏、皮肤黏液、脾脏和肾脏等重要免疫相关组织器官, 系统检测其免疫酶活性及细胞因子表达差异, 探究马齿苋水提物对鲤生长和免疫功能的影响, 旨在为开发利用马齿苋为鱼类饲料添加剂提供基础数据, 同时为解析马齿苋调节动物机体免疫功能的机制提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

马齿苋水提物的制备参考王杰等[15]方法。采集晒干后的马齿苋, 先用自来水清洗表面泥沙, 再用蒸馏水冲洗, 于40℃下烘箱烘干后, 粉碎过60目筛获得马齿苋干粉。精确称取马齿苋干粉, 按照1∶20的料液比加入蒸馏水, 摇匀, 于60℃热水浸提, 提取过程中每隔15min摇匀1 次, 待其冷却后将提取液摇匀, 5000 r/min下离心15min, 滤纸过滤, 所得上清液烘干后封装于4℃冰箱保存。

实验所用鲤幼鱼2023年7月购买于哈素海渔场, 塑料袋充氧运输回实验室暂养备用。

1.2 实验饲料

配制4种实验饲料, 其组成及营养水平见表 1。鱼粉(CP 670 g/kg)和豆粕(CP 479 g/kg)购自广东海大集团, 预混料购自广州飞禧特生物科技有限公司, 其余饲料原料购自呼和浩特市本地市场。全部饲

表 1 实验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)

项目Item	组别Group			
	对照组	AEP0.25%组	AEP0.50%组	AEP1.00%组
鱼粉Fish meal	25.00	25.00	25.00	25.00
豆粕Soybean meal	25.00	25.00	25.00	25.00
面粉Wheat flour	20.00	20.00	20.00	20.00
米糠Rice bran	15.00	15.00	15.00	15.00
豆油Soybean oil	2.00	2.00	2.00	2.00
羟甲基纤维素钠Sodium hydroxymethyl cellulose	10.00	9.75	9.50	9.00
磷酸二氢钙Calcium dihydrogen phosphate	1.50	1.50	1.50	1.50
马齿苋水提物Aqueous Extract of *Portulaca oleracea*	0.00	0.25	0.50	1.00
预混料Premix[1]	1.50	1.50	1.50	1.50
合计Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平Nutrient levels[2]				
粗蛋白质Crude protein	30.93	31.21	31.54	31.64
粗脂肪Crude lipid	3.98	3.80	3.73	3.59
粗灰分Crude Ash	11.05	11.26	11.20	11.16

注: [1]预混料组成及含量参照Wang等[16]的研究; [2]营养水平为测定值
Note: [1]The composition and content of the premix are based on Wang *et al*.[16]; [2]Nutrient levels are measured values

料原料粉碎后过60目标准筛, 其中, 马齿苋水提物以干粉的形式添加到饲料中, 主要生物活性成分为多糖 45.20%、黄酮 6.60%、生物碱 6.18%、多酚 3.60%。饲料原料混匀后通过SLX-80型双螺杆挤压机制成的颗粒饲料(直径为2 mm), 经55℃烘干冷却后装入塑料密封袋, 存放于–20℃冰箱中备用。

1.3 实验设计和养殖管理

本实验在内蒙古农业大学水产实验室进行。实验开始前将鲤幼鱼暂养于水箱中, 期间投喂对照组饲料使其适应实验环境, 驯化1周后开始实验。正式实验在玻璃缸(60 cm×50 cm×60 cm)循环水系统中进行, 选取240 尾健康且体重相近(32.60±0.31) g 的鲤幼鱼, 随机分为4个组, 每组3个重复, 每个重复 20 尾鱼, 对照组饲喂不加AEP的基础饲料、实验组分别在基础饲料中添加0.25%、0.50%和1.00%的AEP, 实验周期为8周。每日按照体重的4%定时(10:00和16:00)投喂2次饲料, 同时观察并记录鱼摄食及死亡情况, 每2周称重1次调整投饵量。在实验期间, 水温保持在(24.00±1.00)℃, pH 7.25±0.05, 溶解氧(7.83±0.20) mg/L, 氨氮(0.20±0.06) mg/L。实验鱼在自然光周期下饲养, 每天换水1/3, 定期吸出粪便和残饵。每周清洗1次养殖系统。

1.4 样品采集与指标测定

样品采集　实验结束前1天禁食, 采样前对每个重复组中实验鱼的总数量和总重量进行统计, 从每个重复组中随机取6尾鱼, 使用200 mg/L间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐(MS-222)进行麻醉, 麻醉后测量其体重和体长, 尾静脉采血放入抗凝管中于室温下静置2h, 4℃, 3000 r/min, 离心10min, 分离血清, 于–80℃冰箱保存, 用于血清免疫指标和酶活性测定。之后在冰上进行解剖, 取出内脏团并称重。取肝脏、脾脏和肾脏组织, 置于细胞冻存管中, 液氮速冻后–80℃冰箱保存, 用于免疫指标测定和RNA提取。

根据Subramanian等[17]方法从每重复组另取6尾鱼收集皮肤黏液, 分别放入装有10 mL NaCl溶液(50 mmol/L)的自封袋中1min, 在自封袋中从头向尾方向刮擦收集皮肤黏液, 之后将自封袋中的黏液转入到15 mL离心管里, 1500 r/min, 4℃, 离心10min, 取上清液–80℃冰箱保存用于黏液免疫参数测定。

生长性能测定　生长性能和形体指标的测定参照文献[18]的实验方法, 生长性能相关指标的计算公式:

增重率(WGR, %)=(W_t –W_0)/W_0×100

特定生长率(SGR, %/d)=[ln(W_t)–ln(W_0)]/T×100

饲料系数(FCR)=F/(W_t –W_0)

摄食率(FR, %BW/d)=F/[T×(W_t+W_0)/2]×100

脏体比(VSI)=W_l/W_t×100

肥满度(CF, g/cm^3)=W_t/L^3×100

成活率(SR, %)=N_t/N_0×100

式中, W_t、W_0分别为终末体重、初始体重, W_l为内脏团质量。T为实验天数(d); F为饲料摄入总质量(g); L为鱼体长(cm); N_0为实验开始时鱼的尾数(尾); N_t为实验结束时鱼的尾数(尾)。

血清和肝脏免疫指标测定　血清中溶菌酶(LZM)、髓过氧化物酶(MPO)、酸性磷酸酶(ACP)活性和肝脏中谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、碱性磷酸酶(AKP)活性及总蛋白(TP)含量均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定, 严格按照试剂盒说明书进行测定。免疫球蛋白(Ig)含量测定采用聚乙二醇沉淀法[19], 首先取5 μL鲤血清, 加495 μL 0.85%生理盐水稀释100倍, 取25 μL稀释液加200 μL BCA反应液, 37℃孵育30min后测总蛋白含量。另取50 μL血清与50 μL12%聚乙二醇溶液混合, 4℃孵育2h后, 4℃、5000 r/min离心10min。取上清液稀释50 倍, 用BCA蛋白定量试剂盒测定沉淀前后蛋白含量沉淀前总蛋白含量减去沉淀后上清蛋白含量之差为总Ig含量。

黏液免疫指标测定　鲤幼鱼黏液在冰上解冻, 参考Subramanian等[17]和Guardiola等[20]检测方法测定AKP、过氧化物酶(POD)和蛋白酶活性。

AKP活性测定, 将50 μL黏液样品溶于等体积的应用液(含 100 mmol/L NH_4HCO_3和 1 mmol/L $MgCl_2$, pH 7.8), 30℃孵育15min后加入50 μL的4 mmol/L对硝基苯酚磷酸底物, 在30℃孵育30min, 用酶标仪在405 nm处测量吸光度(OD)值。一个单位的活性定义为在1min内释放1 μmol对硝基苯酚产物所需的酶量。活性用U/L表示。

POD活性测定, 将30 μL的黏液样品用20 μL不含Ca^{2+}或Mg^{2+}的Hank's缓冲液稀释于96孔板中。然后加入50 μL的20 mmol/L TMB和50 μL的5 mmol/L H_2O_2作为底物。在37℃反应2min后, 加入50 μL的2 mol/L H_2SO_4终止反应, 用酶标仪在450 nm处测定OD值。一个单位定义为产生吸光度变化为1的量, 活性用U/mL表示。

蛋白酶活性测定, 使用偶氮酪蛋白水解测定法, 将250 μL黏液样品与等体积的0.7%偶氮酪蛋白(用100 mmol/L NH_4CO_3溶解, pH 7.8)混合, 在30℃下孵育19h。之后, 加入250 μL 20% (*w*/*v*)的三氯乙酸终止反应, 15000 r/min, 离心5min。取100 μL上清液和等体积0.5 mol/L NaOH加入到96 孔板中, 并在405 nm处测量吸光度。

黏液蛋白酶活性(%)=(待测品OD 值/胰蛋白酶

OD 值)×100

炎症因子基因表达水平检测 脾、肾脏组织提取总RNA, 转录为cDNA, 利用实时荧光定量PCR技术对脾、肾脏组织相关免疫基因肿瘤坏死因子-α (TNF-α)、生长转化因子-β (TGF-β)、白细胞介素-1β (IL-1β)和白细胞介素-10 (IL-10)的mRNA表达水平进行检测, 具体操作参照试剂盒说明书进行, β-甘油醛-3-磷酸脱氢酶(GAPDH)作为内参基因, 采用$2^{-\Delta\Delta Ct}$法分析目的基因的相对表达量。采用Primer Premier 6.0和Beacon designer 7.8软件进行定量PCR引物设计, 然后进行合成, 引物序列见表 2。

1.5 数据分析

实验结果均以平均值±标准差(mean±SD)表示, 采用 SPSS26.0 统计软件中的单因素方差分析(One-way ANOVA)和Duncan氏多重比较法对实验结果的差异显著性进行分析, 以P<0.05为显著差异。

2 结果

2.1 饲料中添加马齿苋水提物对鲤生长性能的影响

由表 3可知, 与对照组相比, 在饲料中添加0.25%、0.50%和1.00%的AEP对鲤的终末体重、特定生长率、增重率、饲料系数和摄食率均无显著影响(P≥0.05); 与对照组相比, 实验组鲤的脏体比均显著降低, 肥满度则均显著升高(P<0.05)。在饲养期间, 饲料中添加AEP不影响鲤的存活率, 各实验组存活率均较高。

表 2 RT-PCR引物及内参基因序列

Tab. 2 RT-PCR primers and reference gene sequence

基因名称 Target gene	序列Sequence (5′—3′)	退火温度 Annealing temperature (℃)
TNF-α	AGGATTGCTGCCCTTACCG	60
	TGTTCTGAGACTTGTTGAGCGTG	60.5
TGF-β	TCAACCTCGGCGTGTCTCA	60.2
	CAAAGGCCCATCGCTCATA	59.3
IL-1β	CTGGTGGTTCTCCTCCCGT	59.3
	TGTAATCCGTGCCCGTCTC	58.9
IL-10	CACTGTGGTTTAGATGGTGGC	57.8
	TGTGCTTGATCTGTCCATTGTT	58
GAPDH	CTTCAATGGGGATGTGCGTT	58.8
	AACCACAGAAAAAGGGGGAC	57.9

2.2 饲料中添加马齿苋水提物对鲤血清免疫指标的影响

由图 1可知, 与对照组相比, 饲料中添加0.25%的AEP可以显著增强鲤血清中ACP的活性(P<0.05), 并显著降低MPO的活性(P<0.05), 但对LMZ活性和Ig含量无显著影响(P>0.05)。添加0.50%的AEP可以使鲤血清中Ig的含量显著升高(P<0.05), 但对LMZ、ACP和MPO的活性无显著影响(P≥0.05)。

2.3 饲料中添加马齿苋水提物对鲤肝脏免疫指标的影响

由图 2可知, 与对照组相比, 饲料中添加0.25%的AEP显著降低鲤肝脏中GPT的活性(P<0.05), 1.00%AEP组鲤肝脏的AKP的活性和TP含量显著升高(P<0.05), GPT的活性显著降低(P<0.05), 其他各指标均无显著变化(P ≥0.05)。

2.4 饲料中添加马齿苋水提物对鲤黏液免疫指标的影响

由图 3可知, 与对照组相比, 饲料中添加0.50%的AEP可以显著增强鲤黏液中AKP的活性(P<0.05), 其余各组无显著差异; POD和蛋白酶活性均无显著影响 (P ≥0.05)。

2.5 饲料中添加马齿苋水提物对鲤免疫相关基因表达影响

由图 4A可知, 与对照组相比, 各实验组脾脏组织中*IL-1β*表达水平无显著影响(P ≥0.05), 而*TNF-*

表 3 饲料中添加马齿苋水提物对鲤生长性能的影响

Tab. 3 Effect of dietary aqueous extract of *Portulaca oleracea* on growth performance of common carp

项目Item	组别Group			
	对照组	AEP0.25%组	AEP0.50%组	AEP1.00%组
初始体重IBW (g)	32.73±0.12	32.6±0.56	32.5±0.15	32.5±0.36
终末体重FBW (g)	73.52±4.23	75.65±2.04	74.23±4.31	79.04±4.76
增重率WGR (%)	124.60±12.96	132.15±9.76	127.97±14.31	143.31±17.26
特定生长率SGR (%/d)	1.44±0.11	1.50±0.08	1.47±0.11	1.59±0.13
饲料系数FCR	2.43±0.21	2.30±0.12	2.41±0.20	2.18±0.16
摄食率FR (%BW/d)	3.31±0.07	3.27±0.03	3.34±0.06	3.23±0.02
脏体比VSI	10.13±2.93^{a}	7.47±0.60^{b}	7.95±0.89^{b}	7.83±1.06^{b}
肥满度CF (g/cm^3)	2.08±0.35^{b}	2.33±0.23^{a}	2.39±0.23^{a}	2.32±0.17^{a}
存活率SR (%)	98.33±2.89	95.00±5.00	96.67±5.77	98.33±2.89

注: 同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05), 相同或无字母表示差异不显著(P≥0.05);下同

Note: In the same row, values with different lowercase superscript letters indicate significant differences (P<0.05), while the same or no letter superscripts indicate no significant differences (P≥0.05); The same applies below

*α*表达水平均显著下调(P<0.05); 此外AEP0.25%组和AEP0.50%组的*TGF-β*表达水平显著低于对照组(P<0.05), AEP0.50%组*IL-10*表达水平显著低于AEP0.25%组(P<0.05)。

由图 4B可知, 与对照组相比, 各实验组肾脏组织中*IL-1β*表达水平均显著下调(P<0.05), *TNF-α*和*TGF-β*表达水平无显著影响(P≥0.05), AEP0.50%组和AEP1.00%组肾脏组织中*IL-10*表达水平显著下调(P<0.05)。

3　讨论

3.1　马齿苋水提物对鲤生长性能的影响

饲料中添加植物及其提取物在动物生产中具有促进生长、抗应激、刺激食欲、增强免疫和抗菌、抗病毒等多种活性已被广泛报道[21]。马齿苋作为一种药食同源的中草药具有抗氧化、抗炎、抑菌、免疫调节、抗肿瘤和调节肠道菌群等多种生物学功能[22, 23], 其促生长作用已在多种动物中得到证实[23]。WGR和SGR是衡量机体生长性能最直观的指标。张建臣等[24]研究显示在每吨仔猪饲料中添加600或800 g马齿苋提取物可极显著提高仔猪的日增重, 起到与金霉素一致的促生长效果。葛剑等[25]以马齿苋多糖灌服雏鸡, 发现能显著提高雏鸡日增重, 降低耗料量和料重比, 提高饲料转化效率。在对水产动物的研究中也证明其具有促进生长的作用。如在饲料添加马齿苋叶粉可以改善因镉暴露引起罗非鱼的SR和FCR降低的影响, 缓解镉暴露引起的生长迟缓[11]; 在草鱼日粮中添加0.5%的马齿苋乙醇提取物可以显著提高草鱼的WGR、FCR和SGR[13]。在本实验中, 与对照组相比, 虽然在饲料中添加0.25%—1.00%的马齿苋水提物对鲤的终末体重、增重率、特定生长率、饲料系数和摄食率均无显著差异, 但实验组FBW、WGR和SGR值均略高于对照组, 这可能是添加量太低, 水提物中的有效成分含量不足未能发挥显著的促生长作用。在正常情况下, 各脏器与体重的比值比较恒定, VSI低则表明鱼体可食部分比例高, 肥满度则是反

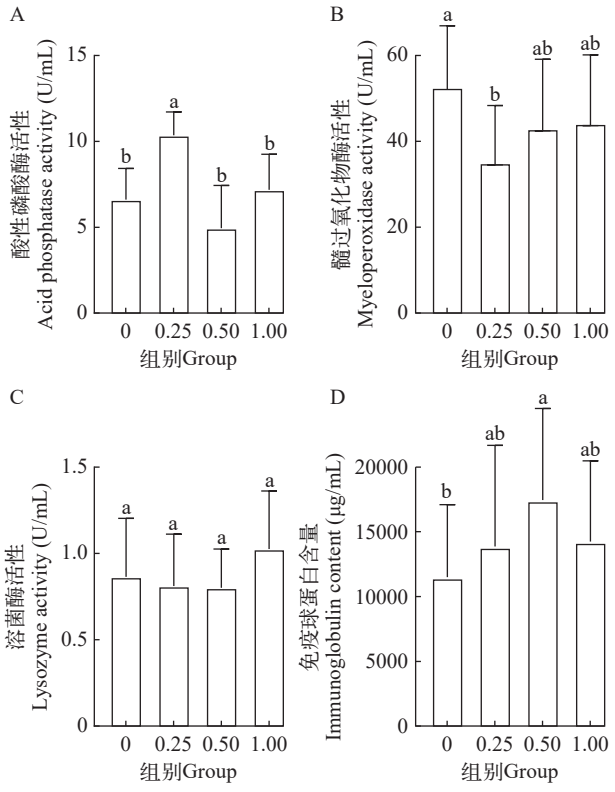


图 1　饲料中添加马齿苋水提物对鲤血清中酸性磷酸酶(A)、髓过氧化物酶(B)、溶菌酶(C)活性和免疫球蛋白(D)含量的影响

Fig. 1　Effects of dietary aqueous extract of *Portulaca oleracea* on the activities of acid phosphatase (A), myeloperoxidase (B), lysozyme (C), and the content of immunoglobulin (D) in the serum of common carp (*Cyprinus carpio*)

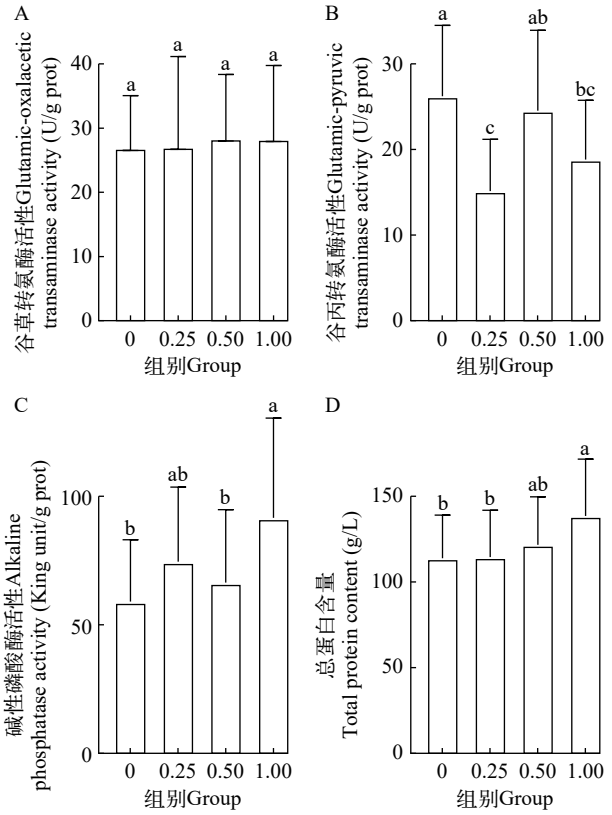


图 2　饲料中添加马齿苋水提物对鲤肝脏中谷草转氨酶(A)、谷丙转氨酶(B)、碱性磷酸酶(C)活性和总蛋白(D)含量的影响

Fig. 2　Effects of dietary aqueous extract of *Portulaca oleracea* on the activities of glutamic-oxaloacetic transaminase (A), glutamic-pyruvic transaminase (B), alkaline phosphatase (C), and the content of total protein (D) in the liver of common carp (*Cyprinus carpio*)

映鱼类肥瘦程度和生长情况的指标, 肥满度高说明鱼体能量储备充足, 生理状态良好[26]。本实验中添加马齿苋水提物后鲤的VSI均显著低于对照组, 各实验组肥满度显著升高, 这表明添加马齿苋水提物能够通过降低内脏比例增加鲤的可食用比例, 但其机制尚不清楚, 仍需要进一步研究。

3.2 马齿苋水提物对鲤血清免疫指标的影响

马齿苋及其提取物具有改善动物免疫功能的作用已被广泛报道[27, 28]。ACP和AKP是先天性免疫中防御病原体的重要酶类, 通过调控磷酸基团代谢参与能量转化与信号转导[18]。由白细胞产生的MPO是机体免疫系统的组成部分, 临床上认为MPO的激活主要与炎症有关[29]。本实验结果显示, 与对照组相比, 饲料中添加0.25%的AEP显著增强鲤血清中ACP活性, 而MPO活性则显著降低。这一结果可能与马齿苋中活性成分多糖类化合物的免疫调节作用密切相关: 一方面, 已有研究证实多糖可有效促进免疫细胞的增殖与活化[30]; 另一方面, 免疫细胞活化后, 其胞内ACP会被进一步激活并释放入血清, 从而使血清ACP活性显著增强。这表明饲料中添加适量的AEP对鲤具有免疫刺激作用, 且未引发炎症反应。LZM是机体重要的非特异性免疫因子, 多糖可通过调节LZM基因表达增强机体各组织溶菌酶活性, 进而发挥其抗菌、抗病毒、消炎及提高免疫力的作用[31, 32]。康洁等[33]发现, 向草鱼胸鳍基部和腹腔注射质量浓度为5%的马齿苋粗多糖, 草鱼头肾、血清的LZM和AKP活性与对照组相比显著升高, 表明添加马齿苋多糖对草鱼有明显的免疫促进作用, 并提高草鱼的非特异性免疫和特异性免疫。在本实验中, 实验组鲤血清中LZM活性均无显著变化, 这可能与水提物的添加量较低有关。

免疫球蛋白作为血清总蛋白的一种, 能够激活补体系统发挥溶菌、中和病毒等免疫过程, 而免疫水平的高低直接影响机体对疾病的抵抗能力[34]。已有研究显示, 在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)饲料中添加马齿苋能显著提高所有实验组鱼血清中的免疫参数(包括IgG、IgM互补活性、TP和LZM)[34], 表明马齿苋是一种潜在的免疫刺激剂, 可以刺激和改善虹鳟鱼苗的免疫系统。本实验中也发现实验组鲤血清中Ig含量有升高趋势, AEP0.50%组Ig含量显著提高。徐光科等[8]在乌鸡的研究中也显示, 当马齿苋的添加量为3%时能显著提高乌鸡血清中Ig含量。此外, 在肉兔上的研究中发现, 在日粮中添加马齿苋可使其血清IgG含量显著升高[9]。综上所述, 本实验中马齿苋水提物添加组酸性磷酸酶活性和免疫球蛋白含量的升高, 表明饲料中添加马齿

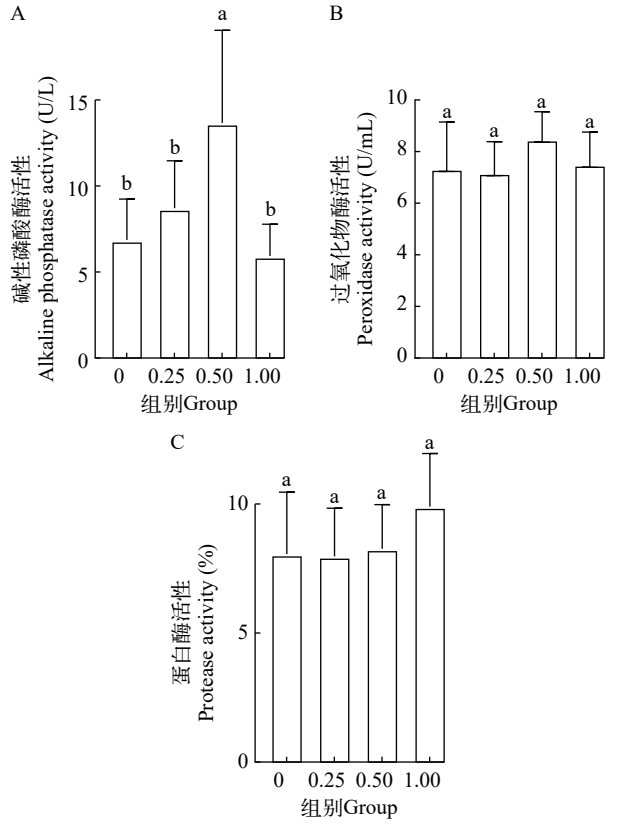


图 3 饲料中添加马齿苋水提物对鲤黏液中碱性磷酸酶(A)、过氧化物酶(B)和蛋白酶(C)活性的影响

Fig. 3 Effects of dietary aqueous extract of *Portulaca oleracea* on the activities of alkaline phosphatase (A), peroxidase (B), and protease (C) in the mucus of common carp (*Cyprinus carpio*)

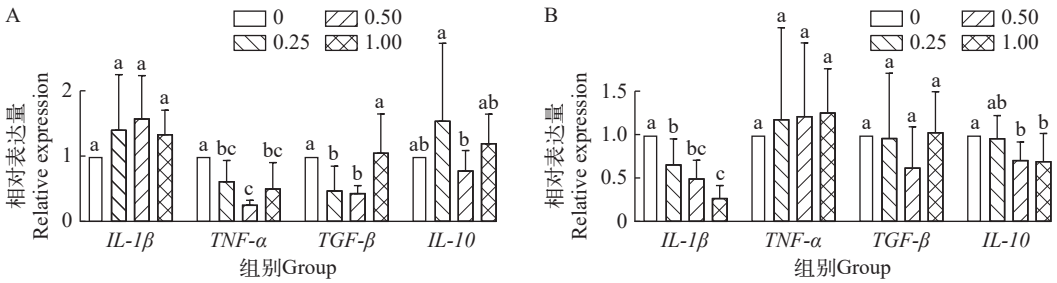


图 4 饲料中添加马齿苋水提物对鲤脾脏组织(A)、肾脏组织(B) 中*IL-1β*、*TNF-α*、*TGF-β*和*IL-10*基因表达的影响

Fig. 4 Effects of dietary aqueous extract of *Portulaca oleracea* on the gene expressions of *IL-1β*, *TNF-α*, *TGF-β*, and *IL-10* in the spleen (A) and kidney (B) of common carp (*Cyprinus carpio*)

苋水提物具有增强鲤免疫功能的潜力。

3.3　马齿苋水提物对鲤肝脏免疫指标的影响

肝脏是鱼类免疫应答的重要器官, 可合成多种免疫相关蛋白, 抵御病毒或病原菌的入侵, 维持机体的免疫稳态[35]。GOT和GPT作为鱼体内发挥氨基酸转运功能的重要酶类, 其酶活性是反映肝细胞受损伤程度的主要指标, 肝细胞受损后血清中GOT和GPT活性升高[36, 37]。研究证实, 马齿苋能通过抗炎、增强抗氧化作用及保护肝细胞来预防和修复肝损伤, 其作用与富含黄酮成分密切相关[38, 39]。在对高血脂小鼠[40]灌胃马齿苋水提物后, 发现可显著降低高脂血症模型小鼠血清中GOT和GPT水平。本实验中也发现各实验组鲤肝脏中GPT活性显著低于对照组, GOT活性无显著影响。转氨酶活性与肝脏受损程度呈正相关, 谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性越低, 对鱼类的生长越有利[41]。结果表明马齿苋水提物对鲤肝脏具有一定的保护作用。

AKP主要通过催化有机磷酸盐水解为磷酸, 促进机体内吞噬细胞对细菌的吞噬和降解, 从而参与机体免疫反应[42]。TP含量的提升有利于动物体更好地维持渗透压, 提高代谢水平和免疫力, 促进蛋白质的合成和沉积[43]。在马齿苋叶粉对Cd^{2+}胁迫下的罗非鱼肝毒性的调节作用研究中发现, Cd^{2+}+马齿苋叶粉组GOT、GPT、AKP和GGT水平显著降低, 表明马齿苋叶粉展现出了显著的保肝作用[44]。在本研究中, 与对照组相比, AEP0.50%组肝脏中AKP活性和AEP1.00%组TP含量显著升高, 表明AEP能显著增强鲤肝脏中碱性磷酸酶的活性并提高鲤体内蛋白质的合成效率, 从而增强保肝作用。这种保护作用可能源于马齿苋中富含的ω-3脂肪酸、类黄酮和酚类化合物[44]。综上所述, 马齿苋水提物通过调节肝脏免疫酶活性, 促进总蛋白的合成, 从而提高鲤的肝脏免疫力, 增强机体的抗病力。

3.4　马齿苋水提物对鲤黏液免疫的影响

鱼类的皮肤黏液作为抵御病原体的第一道防线, 在保护鱼类抵抗和防御水生病原体方面起着至关重要的作用, 这主要归因于鱼类皮肤黏液含有多种免疫相关成分[45]。皮肤黏液中的AKP具有抗菌作用, 并通过去磷酸化作用对水中存在的促炎性微生物化合物进行解毒, 进而调控鱼类皮肤炎症[46]。已有研究表明[47], AKP的增加可能与鱼类黏膜免疫反应的改善有关。本研究中AEP0.50%组鲤皮肤黏液中AKP的活性显著提高, 这可能会使鲤黏液免疫活性水平增强, 特别是在抗菌方面。Marica等[48]研究也曾发现在金头鲷(*Sparus aurata*)的饲料中添加2%的马齿苋其皮肤黏液中IgM水平显著升高, 证实了马齿苋对皮肤黏液免疫的积极作用。综合已有研究和本实验结果中血清ACP活性和肝脏AKP活性显著升高, 表明饲料中添加马齿苋水提物具有增强鲤免疫组织磷酸酶活性的能力。

过氧化物酶是一类重要的杀微生物剂, 能有效清除H_2O_2, 维持免疫系统的氧化还原平衡, 皮肤黏液中的过氧化物酶对于黏膜免疫和皮肤防御至关重要[49]。皮肤黏液中蛋白酶通常在机体应对细菌感染时呈现应激性激活, 被公认为评估鱼类生理状态与免疫应答水平的重要标志[50]。而研究证实马齿苋水提物中所含的多糖和生物碱类化合物能够通过提升免疫因子释放和消除病原菌的能力增强巨噬细胞免疫活性[51]。当病原微生物(如细菌、真菌)试图侵袭鱼体时, 其自身分泌的胞外酶或细胞壁上的特定成分(如脂多糖、肽聚糖)被鱼皮肤上皮细胞或黏液中的免疫细胞识别后, 会激活细胞内的信号通路(如NADPH氧化酶途径), 主动且大量地生成H_2O_2, 并分泌到黏液中, 从而使机体产生应激[49]。本实验中POD与蛋白酶活性未出现显著增强, 推测可能与实验鱼处于相对健康生理状态未受到水体微生物感染有关, 实验组鲤肥满度显著升高印证这一点, 相关免疫信号通路未被有效激活。在饲喂10 g/kg的姜黄素的鲤皮肤黏液中检测到AKP、POD、LZM和蛋白酶显著升高, 表明通过补喂姜黄素增加免疫酶活性可能会提高皮肤黏膜免疫力[49]。本研究结果与姜黄素相似, 表明在饲料中添加马齿苋具有增强黏液免疫应答, 提升鱼类免疫力的潜力。

3.5　马齿苋水提物对鲤免疫相关基因表达的影响

细胞因子是一类可以调节炎症水平的小分子蛋白质, 当免疫细胞等受到外界刺激受损时释放具有许多强大生物学效应的内源性多肽, 通过多种通路参与到炎症反应中, 介导多种免疫反应, 主要包括TNF-α、IL-1β和IL-6等[52, 53]。TNF-α和IL-1β作为促炎细胞因子, 在免疫反应中起着重要作用。IL-1β在应对微生物攻击、损伤和免疫反应中起着至关重要的作用[17]。此外, IL-10和TGF-β属于抗炎细胞因子, 可调控促炎细胞因子的作用和副作用[54]。关于马齿苋提取物对斑马鱼[14]免疫相关基因的表达调控研究中, 实验组的*IL-1β*和*TGF-β*表达水平显著上调, *IL-10*表达水平显著下调。而当镉诱导下肝中毒的罗非鱼[44]饲喂马齿苋叶粉后, 与镉诱导的阳性组相比, 促炎细胞因子(*TNF-α*、*IL-1β*和*IL-6*)的表达显著下调, 这些实验表明马齿苋通过调控鱼类炎症细胞因子基因表达发挥抗炎效果。在本实验中, 在脾脏组织中, 与对照组相比, 实验组*TGF-β*和*TNF-α*表达水平下调, 这一结果与镉诱导下肝中毒

的罗非鱼[44]饲喂马齿苋补充剂研究一致, 表明马齿苋水提物可通过下调促炎细胞因子基因表达来减轻炎症反应。在肾脏组织中, 与对照组相比, AEP0.50%组和AEP1.00%组的*IL-10*表达水平显著下调, 这与马齿苋提取物对斑马鱼免疫相关基因的表达调控研究[14]结果一致; 各实验组*IL-1β*表达水平均下调, 且呈现剂量依赖, 表明AEP通过平衡鲤肾脏组织中炎症细胞因子基因的表达发挥抗炎作用。

尽管马齿苋调节鱼类炎症因子的确切机制尚未阐明, 但可能归因于马齿苋中含有一些生物活性化合物的存在, 马齿苋中富含的多糖和黄酮类化合物等活性成分都具有较强的免疫调节作用。Alsubaie等[44]分析马齿苋叶粉抗炎原因, 发现其中的类黄酮(槲皮素、柚皮素)和酚类物质(没食子酸、绿原酸)抑制了NF-kB的激活, 进而使促炎细胞因子的表达下调。本实验结果表明, 马齿苋水提物能够调控炎症细胞因子基因的表达, 但其调控效果具有明显的组织差异性, 这种差异性可能是缘于不同免疫组织在机体炎症时扮演角色不同。综合上述分析, 饲料中添加马齿苋水提物可以调控鲤免疫器官炎症因子的基因表达, 进而对机体的免疫应答过程发挥积极调控作用。

4 结论

综上所述, 在饲料中添加0.25%—1.00%马齿苋水提物不影响鲤的生长性能和存活率, 添加1.00%的马齿苋水提物可显著提高鲤的肥满度, 降低脏体比。同时, 添加适宜水平的马齿苋水提物能够增强鲤血清、肝脏和黏液免疫功能, 调控免疫器官炎症因子基因表达, 进而可能对鱼体的免疫应答过程发挥积极作用。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

[1] Wang L, Xiong J, Xu C, *et al*. Comparison of muscle nutritional composition, texture quality, carotenoid metabolites and transcriptome to underling muscle quality difference between wild-caught and pond-cultured Yellow River carp (*Cyprinus carpio* Haematopterus) [J]. *Aquaculture*, 2024(581): 740392.

[2] Yang F Y, Wen B L, Li X Y, *et al*. Comparison of fish diversity between Dali Lake Region and other lake regions in Inner Mongolia Plateau [J]. *Wetland Science*, 2023, **21**(5): 649-662. [杨富亿, 文波龙, 李晓宇, 等. 达里湖区与内蒙古高原其他湖区鱼类多样性比较 [J]. 湿地科学, 2023, **21**(5): 649-662.]

[3] Luo S Y, Huang X H, Yan M J. Research progress on application of curcumin in fish culture [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2025, **37**(2): 794-803. [罗诗怡, 黄小红, 严美姣. 姜黄素在鱼类养殖中的应用研究进展 [J]. 动物营养学报, 2025, **37**(2): 794-803.]

[4] Wang T N, Liu Y T, Xiao F Q, *et al*. Chemical composition and pharmacological activity of *Portulaca olerace* [J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2018, **24**(6): 224-234. [王天宁, 刘玉婷, 肖凤琴, 等. 马齿苋化学成分及药理活性的现代研究整理 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, **24**(6): 224-234.]

[5] 刘佩山. 马齿苋化学成分的分离、活性及代谢研究 [D]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2023.

[6] Zhang Y N, Cao M J, Wang J. Research progress on biological function and its application of *Portulaca oleracea* extract in animal breeding [J]. *Feed Research*, 2024, **47**(17): 166-170. [张亚楠, 曹梦杰, 王君. 马齿苋提取物的生物学功能及其在动物养殖中的应用研究进展 [J]. 饲料研究, 2024, **47**(17): 166-170.]

[7] Yan S, Yu L J, Xia B Y, *et al*. Effect of purslane extract on immune function, antioxidant capacity and laying performance of laying hens [J]. *Feed Research*, 2022, **45**(12): 23-27. [闫爽, 于俪婧, 夏伯阳, 等. 马齿苋提取物对蛋鸡免疫功能、抗氧化能力及产蛋性能的影响 [J]. 饲料研究, 2022, **45**(12): 23-27.]

[8] Xu G K, Chen H M, Wu H G, *et al*. Effect of purslane on egg laying performance, egg quality and immune function of black-bone chickens [J]. *Feed Research*, 2021, **44**(7): 46-49. [徐光科, 陈会敏, 吴海港, 等. 马齿苋对乌鸡产蛋性能、蛋品质及免疫机能的影响 [J]. 饲料研究, 2021, **44**(7): 46-49.]

[9] Dang W Q, He M, Shangguan M J, *et al*. Effects of compound supplementation of purslane, citric acid and glucose oxidase on growth performance, slaughter performance, immune and antioxidant functions of meat rabbits [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2024, **36**(3): 1857-1866. [党文庆, 何敏, 上官明军, 等. 饲粮中复合添加马齿苋、柠檬酸和葡萄糖氧化酶对肉兔生长性能、屠宰性能以及免疫和抗氧化功能的影响 [J]. 动物营养学报, 2024, **36**(3): 1857-1866.]

[10] Xu L, Gao G, Zhou Z, *et al*. Fermented purslane (*Portulaca oleracea* L.) supplementation enhances growth and immune function parallel to the regulation of gut microbial butyrate production in weaned piglets [J]. *Microorganisms*, 2024, **12**(7): 1403.

[11] Dahran N, Alotaibi B S, Abd-Elhakim Y M, *et al*. Dietary purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaf powder maintains growth and intestinal health in *Oreochromis niloticus* under chronic water-borne cadmium exposure by strengthening the gut barriers, modulating the intestinal nutrient transporters, and relieving oxidative stress [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2025, **51**(1): 8.

[12] Abdel-Razek N, Awad S M, Abdel-Tawwab M. Effect of dietary purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves powder on growth, immunostimulation, and protection of Nile

tilapia, *Oreochromis niloticus* against *Aeromonas hydrophila* infection [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2019, **45**(6): 1907-1917.

[13] Ahmadifar E, Hoseinifar S H, Adineh H, *et al*. Assessing the impact of purslane (*Portulaca oleracea* L.) on growth performance, anti-oxidative, and immune activities in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Annals of Animal Science*, 2020, **20**(4): 1427-1440.

[14] Sourani Z, Shirian S, Shafiei S, *et al*. Modulation of immune-related gene expressions in zebrafish (*Danio rerio*) by dietary purslane (*Portulaca oleracea*) extract [J]. *Marine Biotechnology*, 2023, **25**(1): 214-221.

[15] Wang J, Wang R F, Wang Y, *et al*. Optimization of water extraction technology by response surface methodology for flavonoids in *Portulaca oleracea* L. and its antioxidant activity assessment [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, **46**(19): 197-204. [王杰, 王瑞芳, 王园, 等. 响应面优化马齿苋黄酮水提工艺及其抗氧化活性评价 [J]. 食品与发酵工业, 2020, **46**(19): 197-204.]

[16] Wang R F, Wang Y, Zhang J, *et al*. The effects of dietary fermented wheat bran polysaccharides on mucosal and serum immune parameters, hepatopancreas antioxidant indicators, and immune-related gene expression of common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles [J]. *Aquaculture International*, 2022, **30**(4): 1835-1853.

[17] Subramanian S, MacKinnon S L, Ross N W. A comparative study on innate immune parameters in the epidermal mucus of various fish species [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2007, **148**(3): 256-263.

[18] Yan Y J, Zou W Z, Huang W S, *et al*. Dietary inclusion of fermented dandelion on growth performance, intestinal health, and disease resistance inhybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatu* ♂) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2025, **49**(11): 102510. [严宇杰, 邹文政, 黄文树, 等. 饲料中添加发酵蒲公英对石斑鱼生长性能、肠道健康和抗病力的影响 [J]. 水生生物学报, 2025, **49**(11): 102510.]

[19] Siwicki A K, Anderson D P, Rumsey G L. Dietary intake of immunostimulants by rainbow trout affects non-specific immunity and protection against furunculosis [J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 1994, **41**(1/2): 125-139.

[20] Guardiola F A, Cuesta A, Esteban M Á. Using skin mucus to evaluate stress in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2016(**59**): 323-330.

[21] Dong C Y, Wei M L, Zhang H, *et al*. Study progress of plant extracts in animal production [J]. *Feed Research*, 2022, **45**(4): 136-139. [董晨扬, 魏曼琳, 张航, 等. 植物提取物在动物生产中的研究进展 [J]. 饲料研究, 2022, **45**(4): 136-139.]

[22] Zhang H Y, Lei T, Gao F X. Biological functions of purslane and its application in livestock and poultry production [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, **34**(2): 765-771. [张红岩, 雷霆, 高凤仙. 马齿苋的生物学功能及其在畜禽生产中的应用 [J]. 动物营养学报, 2022, **34**(2): 765-771.]

[23] 张海青. 马齿苋的生物学功能及其在畜禽养殖中的应用 [J]. 饲料研究, 2021, **44**(15): 155-157.

[24] Zhang J C. Effect and mechanism of *Portulaca oleracea* extract on growth performance of nursery piglets [J]. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 2023, **59**(8): 143-148. [张建臣. 马齿苋水提物对保育仔猪生长性能的影响及其机制 [J]. 中国兽医杂志, 2023, **59**(8): 143-148.]

[25] Ge J, Yang C J, Sun M H. Effects of *Portulaca oleracea* polysaccharide on growth performance, blood hormones secretion and serum lipid of chicken [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2013, **28**(2): 87-92. [葛剑, 杨翠军, 孙茂红. 马齿苋多糖对雏鸡生长性能、血液代谢激素和血脂的影响 [J]. 中国粮油学报, 2013, **28**(2): 87-92.]

[26] Zhang Y Y, Liu B, Ge X P, *et al*. Effect of dietary oil sources on growth performance, body composition, the serum biochemical indices, fatty acids composition and lipid metabolism of *Carassius auratus gibelio* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, **36**(7): 1111-1118. [张媛媛, 刘波, 戈贤平, 等. 不同脂肪源对异育银鲫生长性能、机体成分、血清生化指标、体组织脂肪酸组成及脂质代谢的影响 [J]. 水产学报, 2012, **36**(7): 1111-1118.]

[27] Lun J, Liu M, Zhang W, *et al*. Influence of purslane extract on immuno-antioxidant status, intestinal barrier, and microbiota of chicks after experimental infection with *Escherichia coli* O78 [J]. *Poultry Science*, 2025, **104**(6): 105106.

[28] Faisal M, Hussain S M, Ali S, *et al*. Physiological and immunomodulatory effects of purslane extract in *Cirrhinus mrigala* juveniles: implications for sustainable production [J]. *Animals*, 2025, **15**(9): 1334.

[29] Xing W, Yu H H, Yu F X, *et al*. Effects of dietary lipid levels on growth performance, feed digestibility, antioxidant status and fillet fatty acid compositions of juvenile hybrid sturgeon [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, **45**(2): 250-258. [邢薇, 郁欢欢, 于凤祥, 等. 饲料脂肪水平对杂交鲟幼鱼生长、饲料消化率、抗氧化水平和肌肉脂肪酸组成的影响 [J]. 水生生物学报, 2021, **45**(2): 250-258.]

[30] Wu X, Bai D Q, Yang G, *et al*. Effects of *Ganoderma lucidum* polysaccharides on the activation of immunological cells of the yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, **26**(3): 195-198. [吴旋, 白东清, 杨广, 等. 灵芝多糖对黄颡鱼免疫细胞活性的影响 [J]. 华北农学报, 2011, **26**(3): 195-198.]

[31] Zhang J M, Zhang D Z, Tian T, *et al*. Preliminary exploration on the effects and mechanisms of plant polysaccharides on antioxidant and immune indexes of different

tissues of juvenile *Acipenser dabryanus* [J]. *China Feed*, 2024(9): 96-106. [张建明, 张德志, 田甜, 等. 植物多糖对长江鲟幼鱼不同组织抗氧化指标和免疫指标的影响及机理初探 [J]. 中国饲料, 2024(9): 96-106.]

[32] Chen X B, Tang Z Q, Zhao Y, *et al*. Dietary supplementation with *Spirulina platensis* on the growth, antioxidant, immune function, and heat shock protein expression of *Opsariichthys bidens* under mercury stress [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2025, **49**(5): 052515. [陈旭波, 汤自强, 赵洋, 等. 汞胁迫下饲料添加螺旋藻对马口鱼生长、抗氧化、免疫功能和热休克蛋白表达的影响 [J]. 水生生物学报, 2025, **49**(5): 052515.]

[33] Kang J. Research on the effect of polysaccharides of *Portulaca oleracea* on the immune regulation of grass carp [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2012, **40**(7): 162-164. [康洁. 马齿苋多糖对草鱼的免疫调节作用 [J]. 贵州农业科学, 2012, **40**(7): 162-164.]

[34] Mohammadalikhani M, Shamsaie M M, Haghighi, M, *et al*. Effects of dietary purslane (*Portulaca oleracea*) extract on growth performance, hematological indices and immune responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry [J]. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 2020, **19**(5): 2660-2672.

[35] Zhang X L. Alleviating effect and mechanism of selenomethionine on fluoride-induced adult and embryonic toxicity of zebrafish (*Danio rerio*) [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2022. [张秀林. 硒代蛋氨酸对氟暴露斑马鱼成鱼和胚胎毒性的缓解作用及机制 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2022.]

[36] Liu C F, Wang R F, Qi J W, *et al*. Effects of fermented wheat bran polysaccharides on lipid metabolism and antioxidant-related indexes of cholesterol-induced high fat zebrafish [J]. *Feed Research*, 2024, **47**(20): 51-55. [刘从富, 王瑞芳, 齐景伟, 等. 发酵麸皮多糖对胆固醇诱导的高脂斑马鱼脂肪代谢和抗氧化相关指标的影响 [J]. 饲料研究, 2024, **47**(20): 51-55.]

[37] Zhou Y, Wang W L, Li S L, *et al*. Effect of dietary choline level on growth performance, body composition and serum antioxidant activity of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, **46**(2): 224-237. [周越, 王伟隆, 李松林, 等. 饲料中胆碱对大口黑鲈幼鱼生长性能、体成分和血清抗氧化机能的影响 [J]. 水产学报, 2022, **46**(2): 224-237.]

[38] Chen Y, Ma H, Liang J, *et al*. Hepatoprotective potential of four fruit extracts rich in different structural flavonoids against alcohol-induced liver injury via gut microbiota-liver axis [J]. *Food Chemistry*, 2024(460): 140460.

[39] Abd El-Hack M E, Alabdali A Y M, Aldhalmi A K, *et al*. Impacts of Purslane (*Portulaca oleracea*) extract supplementation on growing Japanese quails' growth, carcass traits, blood indices, nutrients digestibility and gut microbiota [J]. *Poultry Science*, 2022, **101**(11): 102166.

[40] Pan Y C, Lü Y W, Sun M J, *et al*. Effects of *Portulaca oleracea* L. Aqueous water extract on blood lipid in hyperlipidemia mice [J]. *Journal of Beihua University* (Natural Science), 2023, **24**(3): 315-319. [潘昱辰, 吕有为, 孙铭键, 等. 马齿苋水提物对高脂血症小鼠血脂的影响 [J]. 北华大学学报(自然科学版), 2023, **24**(3): 315-319.]

[41] Xu C W, Jiang K, Yu W, *et al*. Effects of dietary *Clostridium butyricum* supplementation on growth performance, immunity, digestion and intestinal microbiota of juvenile *Lateolabrax maculatus* [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2024, **55**(2): 366-377. [徐创文, 蒋魁, 虞为, 等. 丁酸梭菌对花鲈幼鱼生长性能、免疫消化及肠道菌群的影响 [J]. 南方农业学报, 2024, **55**(2): 366-377.]

[42] Zhou S, Lin H, Kong L, *et al*. Effects of mulberry leaf extract on the liver function of juvenile spotted sea bass (*Lateolabrax maculatus*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2023, **2023**(1): 2892463.

[43] Xu L X, He C J, Liu Y Q, *et al*. Fermented soybean meal and soybean meal replace partial fish meal on the growth performance, hematology, liver antioxidant activities and immune related genes mRNA expression of juvenile coho salmon [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, **47**(9): 1374-1385. [徐粒潇, 何楚景, 刘永强, 等. 发酵豆粕和豆粕替代部分鱼粉对银鲑幼鱼生长性能、血清生化指标、肝脏抗氧化能力和免疫相关基因表达量的影响 [J]. 水生生物学报, 2023, **47**(9): 1374-1385.]

[44] Alsubaie N, Abd-Elhakim Y M, Mohamed A A, *et al*. Modulatory effects of *Portulaca oleracea*-Enriched diets against waterborne Cadmium-Induced hepatotoxicity in Nile Tilapia fingerlings: involvement of oxidative stress and Inflammation-Related gene regulation [J]. *Veterinary Research Communications*, 2025, **49**(4): 223.

[45] Lallès J P. Biology, environmental and nutritional modulation of skin mucus alkaline phosphatase in fish: a review [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2019(89): 179-186.

[46] Fernández-Alacid L, Sanahuja I, Ordóñez-Grande B, *et al*. Skin mucus metabolites in response to physiological challenges: A valuable non-invasive method to study teleost marine species [J]. *Science of the Total Environment*, 2018(644): 1323-1335.

[47] Ghehdarijani M S, Hajimoradloo A, Ghorbani R, *et al*. The effects of garlic-supplemented diets on skin mucosal immune responses, stress resistance and growth performance of the Caspian roach (*Rutilus rutilus*) fry [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2016(49): 79-83.

[48] Cámara-Ruiz M, María García Beltrán J, Antonio Guardiola F, *et al*. *In vitro* and *in vivo* effects of purslane (*Portulaca oleracea* L.) on gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) [J]. *AIMS Agriculture and Food*, 2020, **5**(4): 799-824.

[49] Giri S S, Sukumaran V, Park S C. Effects of bioactive substance from turmeric on growth, skin mucosal immunity and antioxidant factors in common carp, *Cyprinus carpio* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2019, **92**: 612-

620.

[50] Abbasi M, Taheri Mirghaed A, Hoseini S M, *et al*. Effects of dietary *Glycine* supplementation on growth performance, immunological, and erythrocyte antioxidant parameters in common carp, *Cyprinus carpio* [J]. *Animals*, 2023, **13**(3): 412.

[51] Tao G B, He H N, Li X H, *et al*. The study of immunoregulatory activity *in vitro* of purslane polysaccharides [J]. *Food Research and Development*, 2017, **38**(17): 176-179. [陶贵斌, 何慧楠, 李雪惠, 等. 马齿苋多糖体外免疫调节活性研究 [J]. 食品研究与开发, 2017, **38**(17): 176-179.]

[52] Feng S H. Investigation of antioxidant, anti-inflammatory and in vitro hypoglycemic and hypolipidemic activities of Chlorococcum sphacosum GD polysaccharide [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2023. [冯诗华. 绿球藻多糖的抗氧化、抗炎及体外降糖降脂活性探究 [D]. 太原: 山西大学, 2023.]

[53] Liu F, Wang F, Li C G, *et al*. Effects of jujube extracts on serum biochemical indexes and immune-related gene expression in the head kidney of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Freshwater Fisheries*, 2020, **50**(1): 15-21. [刘飞, 王凡, 李聪歌, 等. 红枣提取物对虹鳟血清指标和头肾免疫相关基因表达的影响 [J]. 淡水渔业, 2020, **50**(1): 15-21.]

[54] Lidy Verburg-Van Kemenade B M, Stolte E H, Metz J R, *et al*. Chapter 7 neuroendocrine–immune interactions in teleost fish [J]. *Fish Physiology*, 2009(28): 313-364.

AQUEOUS EXTRACT OF PURSANE (*PORTULACA OLERACEA*) ON GROWTH PERFORMANCE, SERUM, LIVER AND MUCUS IMMUNITY, AND INFLAMMATORY FACTOR GENE EXPRESSION IN COMMON CARP (*CYPRINUS CARPIO*)

LIU Cong-Fu, HUANG Jing-Tong, CAI Yu-Shi, LI Li-Fang, ZHAO Hai-Tao, WANG Rui-Fang, YANG Yan-Ping and SONG Min

(*College of Animal Science*, *Inner Mongolia Agricultural University*, *Hohhot* 010018, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary supplementation with Aqueous Extract of *Portulaca oleracea* (AEP) on growth performance, serum, liver and mucus immunity, and inflammatory factor gene expression in immune organs of common carp (*Cyprinus carpio*). A total of 240 juvenile carp (32.60±0.31) g were randomly divided into four dietary groups with three replicates in each group and 20 carps in each replicate. The control group was fed with basal diet without AEP, and the experimental groups were fed with basal diet supplemented with 0.25%, 0.50% and 1.00% AEP for 8 weeks, respectively. Results demonstrated the following key findings: (1) Compared with the control group, the final body weight (FBW), weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), feed coefficient (FCR), and feeding rate (FR) were not significantly affected (P>0.05). However, the viscerosomatic index (VSI) was significantly decreased and the condition factor (CF) was significantly increased (P<0.05). (2) The AEP 0.25% group manifested distinct serum profile alterations, with acid phosphatase (ACP) activity significantly elevated (P<0.05) and myeloperoxidase (MPO) activity markedly reduced (P<0.05) compared to controls. Serum immunoglobulin (Ig) levels showed a significant increase in the 0.50% AEP treatment group (P<0.05). (3) Liver analysis revealed significant decreases in glutamic-pyruvic transaminase (GPT) activity for both 0.25% and 1.00% AEP groups compared to controls (P<0.05). The content of Ig and the activity of alkaline phosphatase (AKP) in 1.00% AEP group were significantly increased (P<0.05). (4) Compared with the control group, AKP activity in the mucus of carp in the 0.50% AEP group was significantly increased (P<0.05), with no change in Peroxidase (POD) or protease activities (P>0.05). (5) The mRNA expression analysis revealed that *TNF-α* and *TGF-β* levels in spleen tissue were downregulated in the 0.25% and 0.50% AEP groups (P<0.05), and *TNF-α* was also reduced in the 1.00% AEP group (P<0.05). In kidney tissue, *IL-1β* expression was significantly down-regulated across all AEP treatments, while *IL-10* was significantly reduced in 0.50% and 1.00% AEP groups (P<0.05). In conclusion, dietary AEP supplementation enhance the immune function in serum, liver, and mucus of common carp without affecting growth performance. It also modulates the gene expression of inflammatory factors in immune organs, suggesting a potentially beneficial role in immune response process of the organism.

Key words: Aqueous extract of *Portulaca oleracea*; Growth performance; Immune function; Inflammatory factors; *Cyprinus carpio*