

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.19296

饲料脂肪源和碘酸钾对中华鳖稚鳖生长、存活率、肝肠组织形态和脂类代谢的影响

卢祎¹, 高有领¹, 王水涛¹, 陈佩庄¹, 施伟达², 郭建林², 王刚³, 钱国英¹

1. 浙江万里学院生物与环境学院, 浙江 宁波 315100;

2. 浙江省淡水水产研究所, 浙江 湖州 313001;

3. 浙江省嘉善县农业农村局, 浙江 嘉兴 314100

摘要: 为了比较饲料中添加鱼油、茶籽油、亚麻籽油以及碘酸钾对中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)稚鳖生长和脂类代谢的影响, 本研究配制了 4 种油脂含量为 10% 的饲料, 分别为鱼油料(FO, 对照组)、鱼油+碘酸钾料(FO+PI, 碘酸钾添加量为 75 mg/kg)、茶籽油料(TO)和亚麻籽油料(LO), 饲喂初重为(5.06±0.05) g 的中华鳖 66 d。FO+PI 组和 LO 组中华鳖稚鳖的存活率显著低于 FO 组($P<0.05$), FO+PI 组和 TO 组的肝体比显著低于 FO 组($P<0.05$)。各组中华鳖稚鳖血浆中葡萄糖、总胆固醇和甘油三酯水平无显著差异($P>0.05$)。投喂 FO+PI 显著下调了中华鳖脂类代谢相关的甲状腺激素应答蛋白基因(*THRSP*)和乙酰辅酶 A 羧化酶 A 基因(*ACACA*)的表达水平, 上调了中华鳖 *microRNA-23b*、*microRNA-107*、*microRNA-122* 和 *microRNA-499* 的表达水平($P<0.05$)。TO 显著下调了中华鳖酰基辅酶 A 氧化酶 1 基因(*ACOX1*)的表达水平, 上调了 *microRNA-23b* 的表达水平($P<0.05$)。FO+PI 组和 TO 组的稚鳖肝脏细胞内脂滴空泡较少, 同时 TO 显著影响了肠道组织的黏膜褶。结论认为, 相比于鱼油组, 在饲料中添加 10% 茶籽油、亚麻籽油和添加 75 mg/kg 碘酸钾不会引起稚鳖生长差异, 但是亚麻籽油和碘酸钾降低了稚鳖的存活率, 茶籽油和碘酸钾影响肝脏的脂类代谢。

关键词: 中华鳖; 油脂; 碘酸钾; 生长性能; 脂类代谢; 基因表达; 微小 RNA

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)06-0671-11

中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)是一种名贵的水生经济动物, 2013—2016 年全国养殖产量已达到 340 kt 以上^[1]。在中华鳖人工养殖中, 饲料成本占了很大比例, 其中油脂是饲料中重要的原料成分, 也是重要的能量和必需脂肪酸来源, 对中华鳖的正常发育及生长起到重要作用^[2]。水产动物饲料中常用的油脂包括鱼油、猪油、棕榈油、大豆油、玉米油、亚麻籽油、菜籽油和葵花籽油等^[2], 但对于不同油脂类型在中华鳖养殖上的利用仅有少量研究, 如李祖华^[3]在中华鳖饲料中添加鱼油、豆油、玉米油和花生油, 发现添加鱼油比添加植物

油的效果更好, 崔峰等^[4]发现在稚鳖饲料中添加玉米色拉油能显著地促进稚鳖的生长, 因此, 为了优化饲料油脂在中华鳖养殖上的利用, 有必要加强这方面的研究。

鱼油的脂肪酸组成较均衡, 丰富的 DHA 和 EPA 在仔鱼早期发育过程中发挥重要的作用^[5]; 鱼油还含有花生四烯酸, 对水生动物的生长、免疫能力和脂类代谢具有重要的调控作用^[6], 因此被广泛应用于水产饲料中。茶籽油的脂肪酸组成与橄榄油相似, 比花生油和豆油含有更多的不饱和脂肪酸^[7], 有研究证实, 茶籽油能调节大鼠血

收稿日期: 2019-10-11; 修订日期: 2020-01-02.

基金项目: 浙江省公益技术应用研究项目(2017C32023); 宁波市重大项目(2017C110012); 宁波海洋生物高值利用公共服务平台(NBHY-2017-P2(2)).

作者简介: 卢祎(1994-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水产动物营养与饲料科学. E-mail: 1247433485@qq.com

通信作者: 高有领, 副教授, 研究方向为水产动物营养与饲料科学. E-mail: gaoyl@zwwu.edu.cn

脂代谢和减少氧化作用,从而减轻高脂饮食引起的脂肪肝^[8]。亚麻籽油丰富的亚麻酸在血脂代谢、心血管疾病、免疫调节等方面都具有积极的调节和治疗效果,还有助于脂肪组织和骨组织的健康生长^[9]。对于鱼类, Menoyo 等^[10]研究发现饲料中添加亚麻籽油增加了大西洋鲑肌肉中 *n*-3 系多不饱和脂肪酸水平,并且影响肝脏脂肪酸代谢,促进 6-磷酸葡萄糖脱氢酶活性和二十碳四烯酸的积累, Shi 等^[11]研究发现亚麻籽油能降低黑鲈幼鱼肝脏脂肪沉积,并提高其抗氧化能力。因此本研究选取鱼油、茶籽油和亚麻籽油作为饲料脂肪来源,研究这些脂类对中华鳖生长、脂类代谢相关基因和 microRNA 表达的影响。

碘是脊椎动物合成甲状腺激素的原料,而甲状腺激素在调节机体代谢和正常发育中发挥重要作用,当甲状腺激素不能维持稳态时,许多代谢和发育过程都会受到影响,例如在缺碘的陆生脊椎动物中观察到生长下降、死亡率增加、生育能力下降、智力迟钝和孵化能力下降等现象^[12]。也有研究证实,甲状腺激素作用于肝脏、脂肪等组织器官,通过多个通路参与胆固醇及甘油三酯的合成、分解和转运过程^[13]。因此,甲状腺激素也能影响脂类代谢,进而推测碘的摄入量可能影响机体脂类代谢,从而影响机体对油脂的利用,王春玲等^[14]研究证实,饲料中添加 50 mg/kg 和 100 mg/kg 的碘化钾能够显著促进黄颡鱼增重和饲料利用效率,所以,在饲料中添加碘可能会影响中华鳖的生长和对脂类的利用。

本研究的目的是揭示鱼油、茶籽油、亚麻籽油和碘酸钾在饲料中对中华鳖稚鳖生长、肝肠组织形态、血脂水平、肝脏脂类代谢相关基因和 microRNA 表达水平的影响。

1 材料与amp;方法

1.1 饲料制备

实验选用 3 种油脂,分别为鱼油(FO)、茶籽油(TO)和亚麻籽油(LO),配制成 4 种饲料。3 种油脂的脂肪酸组成如表 1 所示,其中 3 组饲料分别添加 10%的上述油脂,另有一组同时添加 10%鱼油和 75 mg/kg 的碘酸钾(FO+PI),饲料组成及营

表 1 3 种油脂中脂肪酸组成
Tab. 1 Composition of fatty acids in 3 experimental oils %

脂肪酸 fatty acid	鱼油 fish oil	茶籽油 tea seed oil	亚麻籽油 linseed oil
C _{10:0}	0	0	0
C _{14:0}	6.45	0.03	0
C _{16:0}	17.12	8.46	4.23
C _{16:1}	5.98	0.13	0
C _{17:0}	0	0.11	3.98
C _{18:0}	3.45	2.46	0.65
C _{18:1} (油酸 oleic acid)	11.83	77.33	0
C _{18:2}	4.98	8.98	8.12
C _{18:3} (亚麻酸 linolenic acid)	2.79	0.56	83.02
C _{20:0}	0.79	0.33	0
C _{20:1}	0.23	0.52	0
C _{20:4} (花生四烯酸 arachidonic acid)	1.7	0	0
C _{20:5} (EPA)	18.98	0	0
C _{22:0}	0.09	0.06	0
C _{22:1}	0.36	1.03	0
C _{22:6} (DHA)	24.79	0	0
C _{24:1}	0.46	0	0
总计 total	100	100	100

养水平如表 2 所示。制备时,将固体粉料充分混匀后加入油脂并搅拌均匀,最后加入 40%的水揉捏成团,碘酸钾先溶于水再添加至饲料中,配制完成的饲料分装成多袋保存于-80 ℃冰箱中备用,投喂前取出解冻。脂肪酸组成委托浙江大学饲料科学研究所进行测定。

1.2 饲养管理

采用当年孵化的健康稚鳖进行养殖实验,稚鳖购于浙江省湖州市的水产养殖公司,实验在浙江万里学院生态养殖实验室进行。正式开始前,采用商品饲料投喂稚鳖 1 周以适应实验环境,用高锰酸钾对养殖桶和用具进行消毒,所加的水为自然曝气 24 h 以上的自来水。共选取 192 只健康稚鳖[均重为(5.06±0.05) g],随机分成 4 组,每组 3 个重复并投喂一种饲料,每个桶放养 16 只稚鳖,养殖桶容量为 300 L,底部面积为 1 m²,水深约为 20 cm。水面放置浮性材料供中华鳖晒背与休息,配备加热灯用于中华鳖晒背和模拟自然环境的昼夜节律。实验期间水温保持在 28~30 ℃ (采用加

表 2 4 种饲料组成及营养成分
Tab. 2 Composition and nutrient levels of 4 experimental diets

		g/kg; DW			
项目 item		FO	FO+PI	TO	LO
原料 ingredient					
鱼粉 fish meal		500	500	500	500
淀粉 starch		197.6	197.6	197.6	197.6
大豆浓缩蛋白 soybean protein concentrate		172.4	172.4	172.4	172.4
油脂 oil		100	100	100	100
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂		20	20	20	20
维生素矿物质预混料 premix ¹		10	10	10	10
碘酸钾 potassium iodate ² , mg/kg		0	75	0	0
营养水平 nutrient level					
粗蛋白质 crude protein		487.4	478.5	457.9	489.8
粗脂肪 crude lipid		115.5	119.7	128.9	117.2
粗灰分 ash		39.6	37.8	35.5	39.4

注: ¹ 预混料的组成(per kg): 维生素 A 600000 IU, 维生素 D₃ 100000 IU, 维生素 E 4000 IU, 维生素 K₃ 600 mg, 维生素 B₁ 300 mg, 维生素 B₂ 800 mg, 维生素 B₆ 1000 mg, 维生素 B₁₂ 2.0 mg, 尼克酰胺 2800 mg, d-钙-泛酸酯 1800 mg, 叶酸 32 mg, 生物素 2.0 mg, 抗坏血酸 12000 mg, 铁 Fe 10020 mg, 铜 140–260 mg, 锌 6320–9480 mg, 锰 6010 mg, 碘 98 mg, 硒 28–44 mg, 镁 17200 mg. 厂家: Enhalor, 通州, 北京.

² 碘酸钾: ACS reagent, ≥99%, Sigma-Aldrich, 上海.
Note: ¹ Mixes diet composition (per kg): Vitamin A 600000 IU, Vitamin D₃ 100000 IU, Vitamin E 4000 IU, Vitamin K₃ 600 mg, Vitamin B₁ 300 mg, Vitamin B₂ 800 mg, Vitamin B₆ 1000 mg, Vitamin B₁₂ 2.0 mg, Nicotinamide 2800 mg, d-Ca-Pantothenate 1800 mg, Folic acid 32 mg, Biotin 2.0 mg, Ascorbic acid 12000 mg, Fe 10020 mg, Cu 140–260 mg, Zn 6320–9480 mg, Mn 6010 mg, I 98 mg, Se 28–44 mg, Mg 17200 mg. Producer: Enhalor, Tongzhou, Beijing.

² Potassium iodate: ACS reagent, ≥99%, Sigma-Aldrich, Shanghai.

热棒控制)。每天早晚各投喂 1 次(9:00 和 19:30), 记录投喂量, 每次投喂之前收集上一次的残饵、称重并装袋密封, 用于测定残饵中的含水量。每天观察稚鳖的活动状况, 1 周换两次水, 按实际情况可调整换水间隔, 投喂期为 66 d。

1.3 样品采集

采样前停食 24 h, 采样时每桶称取总重, 之后从每桶中随机选取 5 只稚鳖采集血液, 置于含有肝素钠的离心管中, 每秒 3000 r/min 离心 5 min 收集血浆, 之后解剖并取出肝脏和肠道组织, 称取重量后取部分肝脏和肠道组织分别置于组织固

定液中, 用于组织切片分析, 再取部分肝脏组织用液氮速冻后置于-80 ℃超低温冰箱保存, 用于后续的荧光定量 PCR 分析。

1.4 营养成分分析及指标测定

饲料的粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量测定方法如下。粗灰分测定在 500 ℃进行, 采用凯氏定氮法测定粗蛋白(Kjeldahl N×6.25), 测定时使用 UDK-152 系统(VELP, 意大利); 粗脂肪的测定方法为索氏抽提法并使用 Soxtec Avanti-2055 设备(FOSS Tecator AB, 瑞典)。采用南京建成生物工程研究所的试剂盒分析血浆中的甘油三酯、总胆固醇和葡萄糖含量, 油脂的脂肪酸组成测定委托浙江大学饲料科学研究所进行。

1.5 基因表达分析

用荧光定量 PCR 方法分别对脂类代谢相关基因: 甲状腺激素应答蛋白基因(*THRSP*)、酰基辅酶 A 氧化酶 1 基因(*ACOX1*)、乙酰辅酶 A 羧化酶 A 基因 (*ACACA*)、固醇调控元件结合转录因子 1 基因(*SREBF1*)、脂肪酸合成酶基因(*FASN*)、过氧化物酶体增殖物激活受体基因(*PPAR*)、肉碱棕榈酰转移酶 1 基因(*CPT1*)、酰基辅酶 A 合成酶长链家族成员 1 基因(*ACSL1*)和脂肪酸结合蛋白基因(*FABP*), 并对一些脂类代谢相关微小 RNA, 包括 *microRNA-23b*、*microRNA-107*、*microRNA-122*、*microRNA-499*、*microRNA-33*、*microRNA-10c*、*microRNA-31*、*microRNA-92*、*microRNA-217* 和 *microRNA-363* 的相对表达量进行检测。

用 TRIzol[®] Reagent (Ambion, CA, USA)从中华鳖肝脏中提取总 RNA, 按照说明书进行操作。每组各取 1000 ng 总 RNA, 使用具有 Oligo (dT)₁₈ 引物的 RevertAid First Strand cDNA 试剂盒 (Thermo Scientific, 上海, 中国)合成 cDNA。对于 microRNA, 通过 Mir-XTM microRNA First-Strand Synthesis Kit (TaKaRa Biotechnology, 大连)进行逆转录。基因表达量的测定用 TB GreenTM Premix Ex TaqTM II (TaKaRa, 大连, 中国)试剂盒进行, 以 β -actin 和 *U6* 为内参基因, 使用 MyiQ2 Two Color 实时荧光定量 PCR 仪(Bio-Rad)进行 PCR 操作, 所用的引物列于表 3。荧光定量 PCR 反应程序为: 95 ℃预变性 30 s; 95 ℃变性 5 s, 55 ℃退火 30 s, 72 ℃

表 3 荧光定量 PCR 所用的引物
Tab. 3 The primers used for real-time qPCR

基因 gene	引物名称 primer name	序列(5'-3') sequence (5'-3')
脂类代谢基因 lipid metabolism gene		
甲状腺激素应答蛋白 <i>THRSP</i>	<i>THRSP</i> -5-49	CAACAGCCAGCATCCCT
	<i>THRSP</i> -3-289	GACCCTCCATCGCAAGT
脂肪酸合成酶 <i>FASN</i>	<i>FASN</i> -5-3575	TCCTGGTCTCCTAAACACTCA
	<i>FASN</i> -3-3871	TCGCCAAGCATTCTCTCT
酰基辅酶 A 合成酶长链家族成员 1 <i>ACSL1</i>	<i>ACSL1</i> -5-649	TGACAATGGCTGGTGAC
	<i>ACSL1</i> -3-936	CCTGTGCGAGTTTGAATAT
肉碱棕榈酰转移酶 1 <i>CPT1</i>	<i>CPT1</i> -q5-1033	GCCGTTATTTCAAAGTCTGTC
	<i>CPT1</i> -q3-1307	ATCCTCTTCCCTGTATCCCT
固醇调控元件结合转录因子 1 <i>SREBF1</i>	<i>SREBF1</i> -5-3773	TATTGGTCCATTTCTCCAGCCTTCT
	<i>SREBF1</i> -3-4097	CCAGCACTAACACTGAGCCCTTC
脂肪酸结合蛋白 <i>FABP</i>	<i>FABP</i> -5-152	AAAGGGCAAGGACATCA
	<i>FABP</i> -3-309	CAACAGCCTTGACCTTCT
酰基辅酶 A 氧化酶 1 <i>ACOX1</i>	<i>ACOX1</i> -5-295	GACTGCAAGGTTCTCTGGTC
	<i>ACOX1</i> -3-552	CATGAATCCTCCTGGCTC
乙酰辅酶 A 羧化酶 A <i>ACACA</i>	<i>ACACA</i> -5-1278	TGCGACCTTAGTGGTGTTT
	<i>ACACA</i> -3-1529	ATTACGCGGATGTCTTTGA
过氧化物酶体增殖物激活受体 <i>PPAR</i>	<i>PPAR</i> -5-80	TCACTCCCATTCCTTCG
	<i>PPAR</i> -3-393	AAGCCTTGCTCCACATAC
内参基因 reference gene		
β -肌动蛋白 β -actin	β -actin-5-162	TCCTGACAGAAAGAGGCTACA
	β -actin-3-382	GGATGGCTGGAAGAGGG
微小 RNA microRNA		
<i>MicroRNA</i> -33	<i>MIR33</i> -FF	GTGCATTGTAGTTGCATTG
<i>MicroRNA</i> -122	<i>MIR122</i> -FF	TGGAGTGTGACAATGGTGTTTG
<i>MicroRNA</i> -31	<i>oan-miR</i> -31-5p	AGGCAAGATGTTGGCATAGCTGT
<i>MicroRNA</i> -217	<i>bfl-miR</i> -217	TACTGCATCAGGAAGTATTGGA
<i>MicroRNA</i> -107	<i>cfa-miR</i> -107	AGCAGCATTGTACAGGGCTAT
<i>MicroRNA</i> -23b	<i>cfa-miR</i> -23b	ATCACATTGCCAGGGATTA
<i>MicroRNA</i> -363	<i>cfa-miR</i> -363	AATTGCACGGTATCCATCTGTAA
<i>MicroRNA</i> -92	<i>tgu-miR</i> -92-2-5p	GTGGGGATTGTGCTTACTT
<i>MicroRNA</i> -10c	<i>aca-miR</i> -10c-3p	ACAAATTCGTCTCTAGGGGA
<i>MicroRNA</i> -499	<i>aca-miR</i> -499-5p	TTAAGACTTGCAGTGATGTTTA
内参基因 reference gene		
U6	U6F	CTCGCTTCGGCAGCAC
	U6R	AACGCTTCACGAATTTGCGT

延伸 30 s, 30 个循环; 65 ℃ 反应 5 s, 95 ℃ 反应 5 s。

1.6 组织学分析

采用苏木素-伊红染色进行中华鳖肝脏和肠道的组织学分析。将刚分离的肝脏和肠道组织在 4 ℃ 环境下固定于 4% 多聚甲醛内 24 h, 然后转入 70% 乙醇长期保存。切取约 2 mm 厚的肝脏和肠道

组织经梯度乙醇脱水、二甲苯透明、浸蜡等步骤进行包埋, 在石蜡包埋机上将组织竖直包埋, 将蜡块装在切片机上, 切成 5 μ m 薄片, 然后分段置于 45 ℃ 左右的温水展开, 用载玻片捞起, 置于 65 ℃ 烘箱中 4~6 h 烘干, 之后进行苏木素-伊红染色, 最后用中性树胶封片。在正置荧光显微镜

(DM-4000, 徕卡)下观察组织形态及结构。肝脏组织切片评价参考 Tan 等^[15]采用的方法, 肠道组织切片评价参考 Urán 等^[16]建立的方法, 对黏膜褶皱(MF)、杯状细胞(GC)、固有层(LP)、核上的空泡(SNV)和嗜酸性粒细胞(EG)等指标进行打分, 分数最低为 1 分, 表示组织结构正常, 最高分为 5 分, 表示病变最严重。

1.7 计算与统计

相关指标计算公式如下: 特定增长率(SGR, %/d)=(ln*W_t*-ln*W₀*)×100%, 其中 *W_t* 为末体重, *W₀* 为初始体重; 饲料系数(FCR)=*F*/*G*, 其中 *F* 为饲料干物质摄食量, *G* 为增重; 成活率(SR)=实验结束时只数/初始只数; 肠指数(II, %)=*W_i*/*W_t*×100, 其中 *W_i* 为肠道重, *W_t* 为末体重; 肝体比(HSI,

%)=*W_h*/*W_t*×100, 式中 *W_h* 为肝脏重, *W_t* 为末体重。采用 2^{-ΔΔC_t} 方法对荧光定量 PCR 的数据进行分析, 分别以 β-actin 和 U6 基因的表达水平作为中华鳖脂类代谢基因和 microRNA 表达水平的标准, 采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 结果以平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示。

2 结果与分析

2.1 中华鳖生长指标测定

中华鳖生长指标列于表 4, 与 FO 组相比, FO+PI 和 LO 组具有较低的存活率(*P*<0.05), 同时, FO+PI 和 TO 组具有较低的肝体比(*P*<0.05), 稚鳖的末重、增重、摄食量、特定增长率、饲料系数和肠指数在各处理组间无显著差异(*P*>0.05)。

表 4 不同饲料对中华鳖稚鳖生长指标的影响
Tab. 4 Effects of experimental diets on growth performance of *Pelodiscus sinensis*

n = 5; $\bar{x} \pm SE$

项目 item	FO	FO+PI	TO	LO
初重/g initial body weight	5.08±0.015	5.08±0.031	5.07±0.025	5.03±0.038
末重/g final body weight	10.90±0.19	11.29±0.61	10.85±0.11	11.14±0.53
增重/g weight gain	5.82±0.17	6.21±0.61	5.78±0.10	6.10±0.50
摄食量/g food intake	13.98±0.42	16.20±0.90	14.49±0.26	15.63±0.98
特定增长率/(%/d) SGR	1.25±0.024	1.30±0.087	1.25±0.016	1.30±0.069
饲料系数 FCR	2.40±0.050	2.68±0.38	2.51±0.052	2.59±0.23
存活率 SR	0.85±0.043 ^a	0.63±0.038 ^b	0.71±0.020 ^{ab}	0.69±0.035 ^b
肠指数/% II	2.25±0.12	1.97±0.15	2.09±0.18	2.17±0.074
肝体比/% HSI	4.30±0.084 ^a	3.80±0.048 ^b	3.77±0.083 ^b	4.03±0.18 ^{ab}

注: 同行不同小写字母表示组间差异显著(*P*<0.05)。FO-鱼油, LO-亚麻籽油, PI-碘酸钾, TO-茶籽油。
Note: In the same row, values with different small letter superscripts are significantly different (*P*<0.05). FO-fish oil, LO-linseed oil, PI-potassium iodate, TO-tea seed oil.

2.2 血液指标

投喂 4 种不同饲料对中华鳖稚鳖血浆中葡萄糖、总胆固醇和甘油三酯水平无显著影响(图 1)。

2.3 脂类代谢相关基因表达量

FO+PI 显著下调了中华鳖 *ACACA* 和 *THRSP* 的基因表达水平(图 2), 显著上调了中华鳖 *microRNA-23b*、*microRNA-107*、*microRNA-122* 和 *microRNA-499* 的表达水平(图 3), 同时 TO 显著下调了中华鳖 *ACOX1* 的基因表达水平(图 2), 也显著上调了中华鳖 *microRNA-23b* 的表达水平(图 3),

其他脂类代谢相关基因和 microRNA 的表达水平不受饲料油脂和碘酸钾的影响。

2.4 肝脏和肠道的组织形态分析

FO 组的中华鳖稚鳖肝脏切片显示肝细胞内有少量脂滴空泡(LV, 图 4)。FO+PI 组的中华鳖稚鳖肝脏细胞内脂滴空泡较少, 但细胞质密度相对较低, 肝血窦(HS)数量多且内布血细胞。TO 组的肝细胞内有脂滴小且数量少, 肝细胞边界较清晰, 细胞核(N)数量较多。LO 组细胞质空泡化(V)严重, 肝血窦较大且内布血细胞。

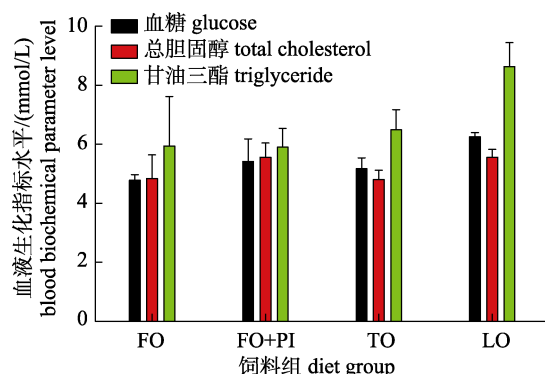


图 1 实验饲料对中华鳖稚鳖血浆中葡萄糖、总胆固醇和甘油三酯水平的影响

FO: 鱼油, LO: 亚麻籽油, PI: 碘酸钾, TO: 茶籽油.

Fig. 1 Effects of experimental diets on plasma glucose, total cholesterol and triglyceride level of *Pelodiscus sinensis*
FO: fish oil, LO: linseed oil, PI: potassium iodate, TO: tea seed oil.

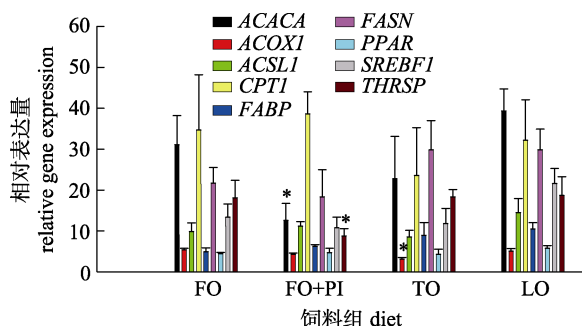


图 2 实验饲料对中华鳖脂类代谢相关基因表达水平的影响

FO: 鱼油, LO: 亚麻籽油, PI: 碘酸钾, TO: 茶籽油.

柱形图上标注*表示与对照组(FO)相比差异显著($P<0.05$).

Fig. 2 Effects of experimental diets on lipid metabolism-related genes expression level of *Pelodiscus sinensis*
FO: fish oil, LO: linseed oil, PI: potassium iodate, TO: tea seed oil. Values with * are significantly different from the control group (FO) ($P<0.05$).

投喂 4 种饲料对中华鳖稚鳖肠道的组织形态及结构产生了影响(图 5, 表 5), 尽管各组稚鳖肠道组织的杯状细胞(GC)、固有层(LP)、细胞核上的空泡(SNV)和嗜酸性粒细胞(EG)均无明显差异, 但 FO 组的黏膜褶(MF)分数要显著高于 TO 组, 其他组别之间无显著差异($P>0.05$).

3 讨论

3.1 不同油脂对中华鳖生长指标的影响

由于缺少油脂和碘在龟鳖类动物上应用的文献, 本文主要参考鱼类研究的相关文献。本研究

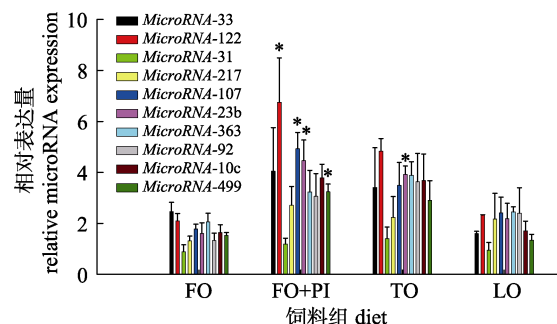


图 3 实验饲料对中华鳖脂类代谢相关微小 RNA 表达水平的影响

FO: 鱼油, LO: 亚麻籽油, PI: 碘酸钾, TO: 茶籽油.

柱形图上标注*表示与对照组(FO)相比差异显著($P<0.05$).

Fig. 3 Effects of experimental diets on lipid metabolism-related microRNA expression level of *Pelodiscus sinensis*
FO: fish oil, LO: linseed oil, PI: potassium iodate, TO: tea seed oil. Values with * are significantly different from the control group (FO) ($P<0.05$).

结果表明, 饲喂 3 种饲料油脂的中华鳖稚鳖在增重、摄食量、特定生长率、饲料系数和肠体比这些指标上没有显著差异, 这与一些研究结果一致, 如 Mourente 等^[17]、Wassef 等^[18-19]研究发现亚麻籽油替代鱼油不会引起欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax* L.)和金头鲷(*Sparus aurata*)生长和性能的变化, 对其增重、特定生长率、饲料系数也无显著影响; Han 等^[20]用茶籽油代替饲料中鱼油发现茶籽油对杂交罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的生长和增重没有影响。此外, 王骥腾等^[21]发现, 以亚麻油为油脂来源的军曹鱼(*Rachycentron canadum*)幼鱼存活率低于鱼油组, 这与本实验结果亚麻籽油料显著降低了稚鳖的存活率一致。但是, 也有一些研究与这一结果并不相符, 如 Benítez-Dorta 等^[22]和 Liu 等^[23]指出, 亚麻籽油替代鱼油对塞内加尔比目鱼(*Solea senegalensis*)和杂交鲟(*Acipenser baeri*)幼鱼生长和存活率无显著影响; Li 等^[24]报道, 饲料中添加 4% 的亚麻籽油提高了在爱德华氏菌感染下幼年黑斑鲷(*Pelteobagrus vachelli*)的抗体效价, 从而提高了鱼的存活率, 结果不一致的原因可能是物种、油脂添加量或养殖条件等因素引起的。本实验结果发现, 投喂茶籽油料显著降低了稚鳖的肝体比, 揭示茶籽油可能减少了脂肪在肝脏的沉积, 这与 Kim 等^[25]发现茶籽油对 C57BL/6J 小鼠有抗肥胖作用结果一致。

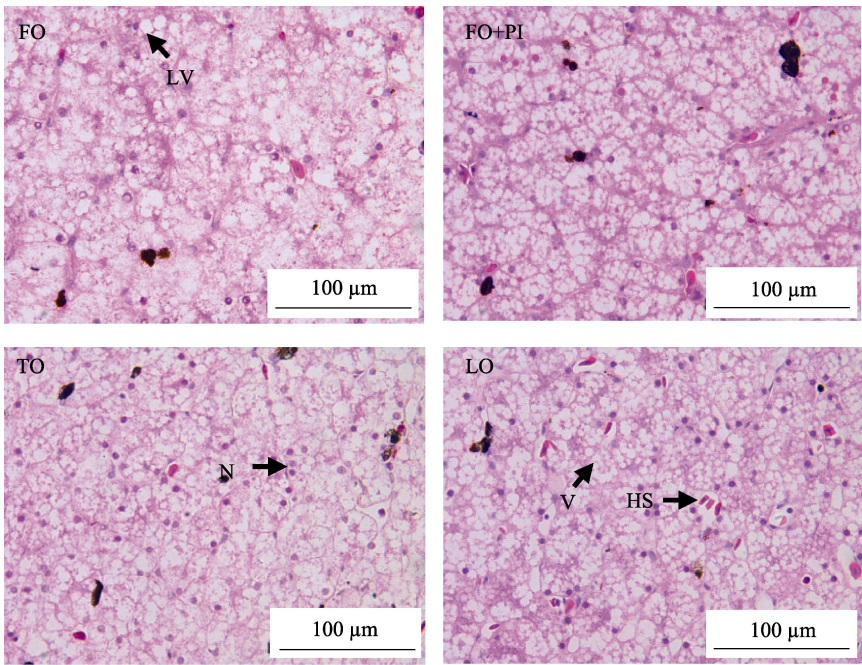


图 4 不同饲料组中华鳖稚鳖肝脏组织学切片(HE)
FO: 鱼油, LO: 亚麻籽油, PI: 碘酸钾, TO: 茶籽油. 黑色箭头指向表示脂滴空泡(LV)、细胞核(N)、细胞质空泡化(V)、肝血窦(HS). 比例尺: 100 μm.

Fig. 4 Histological sections of liver of *Pelodiscus sinensis* (HE) fed with different diets
FO: fish oil, LO: linseed oil, PI: potassium iodate, TO: tea seed oil. Black arrowheads point to lipid vacuole (LV), nucleus (N), cytoplasmic vacuolation (V), hepatic sinus (HS). Scale bar=100 μm.

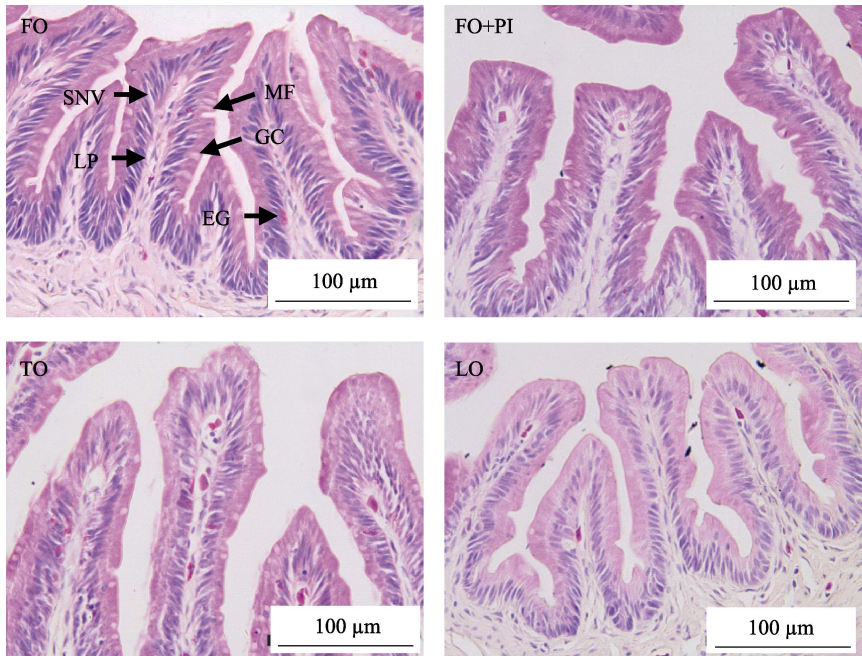


图 5 不同饲料组中华鳖稚鳖肠道组织学切片(HE)
FO: 鱼油, LO: 亚麻籽油, PI: 碘酸钾, TO: 茶籽油. 黑色箭头指向固有层(LP)、细胞核上的空泡(SNV)、黏膜褶皱(MF)、杯状细胞(GC)、嗜酸性粒细胞(EG). 比例尺: 100 μm.

Fig. 5 Histological sections (HE) of intestine of *Pelodiscus sinensis* fed with different diets
FO: fish oil, LO: linseed oil, PI: potassium iodate, TO: tea seed oil. Black arrowheads point to lamina propria (LP), supranuclear vacuoles (SNV), mucosal fold (MF), goblet cells (GC), eosinophilic granulocytes (EG). Scale bar=100 μm.

表 5 不同饲料组中华鳖肠道组织形态各指标得分平均值
Tab. 5 Mean parameter scores in intestine histology of *Pelodiscus sinensis* fed with different diets

$n = 5; \bar{x} \pm SE$

项目 item	FO	FO+PI	TO	LO
黏膜褶皱 mucosal folds, MF	1.47±0.00 ^a	1.40±0.00 ^{ab}	1.20±0.12 ^b	1.40±0.00 ^{ab}
杯状细胞 goblet cells, GC	1.40±0.12	1.47±0.18	1.20±0.12	1.40±0.31
固有层 lamina propria, LP	1.73±0.24	1.60±0.12	1.73±0.18	1.67±0.18
核上的空泡 supranuclear vacuoles, SNV	1.27±0.07	1.27±0.18	1.13±0.07	1.13±0.07
嗜酸性粒细胞 eosinophilic granulocytes, EG	2.00±0.12	1.73±0.13	1.93±0.07	2.07±0.07

注: FO-鱼油, LO-亚麻籽油, PI-碘酸钾, TO-茶籽油. 评分参考 Urán 等^[16]建立的方法, 分数最低分为 1 分(表示正常), 最高分为 5 分(表示病变最严重).

Note: FO-fish oil, LO-linseed oil, PI-potassium iodate, TO-tea seed oil. The evaluation was on the basis of the method developed by Urán et al^[16]. Normal structure was scored as 1, while severe enteritis was scored as 5.

在本研究中, 饲料中添加 75 mg/kg 碘降低了稚鳖的存活率, 但在 Gensic 等^[26]的研究中发现, 虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的饲料中添加碘促进了生长、成活率和疾病防御能力, Witt 等^[27]的研究也发现环境中的高碘提高了太平洋马鲛(*Polydactylus sexfilis*)幼鱼的成活率并促进其生长。本实验降低稚鳖的存活率, 原因可能是由于过量的碘摄入产生的毒性, 这一毒性已在大西洋鳕(*Gadus morhua*)上得到了证实^[12]。本实验结果表明, 同时添加鱼油和碘酸钾显著降低了中华鳖稚鳖的肝体比, 并且减少了肝脏细胞中脂滴空泡, 揭示碘酸钾可能降低了稚鳖肝脏的脂肪积累, 该结果与王春玲等^[14]和 Aghwan 等^[28]的实验结果不相符合, 产生差异的原因可能是碘制剂种类和添加量的不同, 以及物种差异。

3.2 不同油脂对中华鳖脂类代谢相关基因及 microRNA 表达量的影响

本实验测定了 9 个与脂肪代谢相关基因的表达水平, 其中与脂肪和胆固醇生成有关的是: *THRSP*、*ACOX1*、*ACACA*、*SREBF1*、*FASN* 和 *PPAR*, 与脂肪分解有关的是 *CPT1* 和 *ACSL1*, 与脂肪酸输送有关的是 *FABP*。*THRSP* 基因又称为甲状腺激素应答 *spot14* 基因, 它受甲状腺激素诱导表达, 与动物脂肪沉积存在密切关系^[29]。*ACACA* 是脂肪酸从头合成的关键限速酶, 对脂肪酸的生物合成有着重要的作用^[30], *ACOX1* 是脂肪酸 β -氧化第一步脱氢反应的限速酶, 它在鼠、猪、人和鱼等物种中与脂肪酸代谢及甘油三酯沉积密切相关^[31]。同

时投喂鱼油和碘酸钾显著下调了中华鳖 *THRSP* 和 *ACACA* 基因的表达水平, 投喂茶籽油料显著下调了中华鳖 *ACOX1* 基因的表达水平, 表明鱼油混合碘酸钾料和茶籽油引起稚鳖肝脏脂肪合成减少, 这与显著降低的肝体比相互印证。

MicroRNA 是一类长度为 19~25 个核苷酸的非编码 RNA, 可以在转录后水平调控基因表达。有研究表明, 体内注射 *microRNA-23b* 能显著降低大鼠血清中甘油三酯水平, 减少肝细胞中脂滴数量, 降低血压^[32]。*MicroRNA-107* 被报道与脂肪酸合成有关, 在肥胖大鼠中高表达^[33]。*MicroRNA-122* 在肝脏中特异性高表达, 参与调控胆固醇和脂肪酸生物合成, 是能负性调节脂肪酸合成和胆固醇合成的转录抑制子^[34]。*MicroRNA-499* 与脂肪干细胞的增殖、分化有关, 上调能促进 NCTC1469 细胞的胰岛素信号通路和糖原合成^[35]。*MicroRNA-33* 通过调节细胞内胆固醇含量来维持肝细胞内胆固醇的动态平衡。本实验测定了上述 5 个以及 *microRNA-10c*、*microRNA-31*、*microRNA-33*、*microRNA-92*、*microRNA-217* 和 *microRNA-363* 共 10 个与脂肪代谢相关 microRNA 的表达水平。发现鱼油混合碘酸钾显著上调了中华鳖 *microRNA-23b*、*microRNA-107*、*microRNA-122* 和 *microRNA-499* 的表达水平, 提示这几个 microRNA 可能与中华鳖脂类代谢相关, 这符合 microRNA 参与不同动物脂肪酸和胆固醇合成的研究结论^[33-35]。添加茶籽油上调了中华鳖 *microRNA-23b* 表达水平, 同时中华鳖肝细胞中脂滴含量减少, 这与牡丹江医学

院的一项专利^[32]的研究结果一致。

3.3 中华鳖肝脏和肠道组织学分析

本实验结果表明, 饲料添加混合了碘酸钾的鱼油和添加茶籽油, 引起了稚鳖肝脏细胞内脂滴空泡较少, 提示肝脏脂肪积累较少, 这也可从肝体比显著降低中得到证实。同时添加鱼油和碘酸钾引起肝脏细胞质密度相对较低, 肝血窦数量多, 亚麻籽油组细胞质空泡化较严重, 肝血窦较大, 提示同时添加鱼油和碘酸钾以及添加亚麻籽油引起稚鳖肝脏健康状态不佳, 这可能也是引起中华鳖存活率低的原因之一。

4 结论

根据上述结果, 本研究得出如下结论: 饲料中添加 10% 不同类型油脂(鱼油、茶籽油和亚麻籽油)和添加 75 mg/kg 碘酸钾对于稚鳖生长无显著影响, 但亚麻籽油和碘酸钾降低了中华鳖稚鳖的存活率, 添加茶籽油和碘酸钾减少了稚鳖肝脏的脂肪合成。

参考文献:

- [1] Fisheries Bureau of Ministry of Agriculture, People's Republic of China. China Fishery Statistics Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017: 15-36. [中华人民共和国农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 15-36.]
- [2] Tang W, Zhao Y R. Study on the application of different fat sources in fish feed[J]. Jiangxi Feed, 2009(1): 29-34. [唐威, 赵玉蓉. 不同脂肪源在鱼类饲料中应用的研究[J]. 江西饲料, 2009(1): 29-34.]
- [3] Li Z H. Application of different fat sources in turtle feed[J]. Feed Research, 2012(1): 75-77, 86. [李祖华. 不同脂肪源在甲鱼饲料中的应用研究[J]. 饲料研究, 2012(1): 75-77, 86.]
- [4] Cui F, Li C J, Wang Z W. Effects of vegetable oil added to feed on the growth of juvenile turtle[J]. Freshwater Fisheries, 2001, 31(4): 52-54. [崔峰, 李参军, 王振伟. 饲料中添加植物油对稚鳖生长的影响[J]. 淡水渔业, 2001, 31(4): 52-54.]
- [5] Liu Z F, Gao X Q, Yu J X, et al. Effects of different diets on growth performance, enzyme activity, and body fatty acid composition in larval American shad (*Alosa sapidissima*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(1): 97-107. [刘志峰, 高小强, 于久翔, 等. 不同饵料对美洲西鲱仔鱼生长、相关酶活力及体脂脂肪酸的影响[J]. 中国水产科学, 2018, 25(1): 97-107.]
- [6] Wang C Q, Wang J Y, Li B S, et al. Effects of dietary arachidonic acid on the growth performance, antioxidant capacity, and fatty acid metabolism of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(3): 555-566. [王成强, 王际英, 李宝山, 等. 饲料中花生四烯酸含量对刺参生长性能、抗氧化能力及脂肪酸代谢的影响[J]. 中国水产科学, 2018, 25(3): 555-566.]
- [7] Chen K L, Chen H. To analyze the effect and application of tea oil[J]. Journal of Chifeng University (Natural Science Edition), 2014, 30(9): 87-88. [陈可丽, 陈辉. 试析茶油的功效和应用[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2014, 30(9): 87-88.]
- [8] Bu W J, Zhu J L, Li Y, et al. Effect of different oil on lipid metabolism and hepatic steatosis in rats[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(11): 337-340. [卜文婕, 朱建梁, 李艳, 等. 不同食用油脂对大鼠血脂代谢及脂肪肝的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(11): 337-340.]
- [9] Pereira A D, Ribeiro D C, de Santana F C, et al. Maternal flaxseed oil during lactation enhances bone development in male rat pups[J]. Lipids, 2016, 51(8): 923-929.
- [10] Menoyo D, López-Bote C J, Obach A, et al. Effect of dietary fish oil substitution with linseed oil on the performance, tissue fatty acid profile, metabolism, and oxidative stability of Atlantic salmon[J]. Journal of Animal Science, 2005, 83(12): 2853-2862.
- [11] Shi C M, Zhao H, Zhai X L, et al. Linseed oil can decrease liver fat deposition and improve antioxidant ability of juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2019, 45(5): 1513-1521.
- [12] Penglas S, Harboe T, Sæle Ø, et al. Iodine nutrition and toxicity in Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae[J]. PeerJ, 2013, 1: e20.
- [13] Zhao J J, Yang L B. Relationship between thyroid stimulating hormone and lipid metabolism[J]. Journal of Internal Medicine Concepts & Practice, 2013, 8(6): 379-382. [赵家军, 杨利波. 促甲状腺激素与脂代谢的关联[J]. 内科理论与实践, 2013, 8(6): 379-382.]
- [14] Wang C L, Zhang H T, Gao Y L, et al. Thyrotropin receptor gene cloning and expression response to dietary potassium iodide addition of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(3): 940-952. [王春玲, 章宏塔, 高有领, 等. 黄颡鱼促甲状腺激素受体基因的克隆及其对饲料中添加碘化钾的表达反应[J]. 动物营养学报, 2016, 28(3): 940-952.]
- [15] Tan X H, Sun Z Z, Liu Q Y, et al. Effects of dietary *Ginkgo biloba* leaf extract on growth performance, plasma biochemical parameters, fish composition, immune responses, liver histology, and immune and apoptosis-related genes expression

- of hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus fuscoguttatus* ♀) fed high lipid diets[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2018, 72: 399-409.
- [16] Urán P A, Schrama J W, Jaafari S, et al. Variation in commercial sources of soybean meal influences the severity of enteritis in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2009, 15(5): 492-499.
- [17] Mourente G, Dick J R. Influence of partial substitution of dietary fish oil by vegetable oils on the metabolism of [1^{14}C]18:3n-3 in isolated hepatocytes of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.)[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2002, 26: 297-308.
- [18] Wassef E A, Wahbi O M, Shalaby S H. Effects of dietary vegetable oils on liver and gonad fatty acid metabolism and gonad maturation in gilthead seabream (*Sparus aurata*) males and females[J]. *Aquaculture International*, 2012, 20(2): 255-281.
- [19] Wassef E A, Saleh N E, El-Abd El-Hady H A. Vegetable oil blend as alternative lipid resources in diets for gilthead seabream, *Sparus aurata*[J]. *Aquaculture International*, 2009, 17: Article No. 421.
- [20] Han C Y, Zheng Q M, Feng L N. Effects of total replacement of dietary fish oil on growth performance and fatty acid compositions of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)[J]. *Aquaculture International*, 2013, 21(6): 1209-1217.
- [21] Wang J T, Han T, Tian L X, et al. Impact of three vegetable oil sources on growth, body composition and tissue fatty acid composition of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2007, 26(3): 237-245. [王骥腾, 韩涛, 田丽霞, 等. 3 种植物油源对军曹鱼生长、体组成和脂肪酸组成的影响[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2007, 26(3): 237-245.]
- [22] Benítez-Dorta V, Caballero M J, Izquierdo M, et al. Total substitution of fish oil by vegetable oils in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) diets: Effects on fish performance, biochemical composition, and expression of some glucocorticoid receptor-related genes[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2013, 39(2): 335-349.
- [23] Liu C, Wang J, Ma Z, et al. Effects of totally replacing dietary fish oil by linseed oil or soybean oil on juvenile hybrid sturgeon, *Acipenser baeri* Brandt ♀ × *A. schrenckii* Brandt ♂ [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2018, 24(1): 184-194.
- [24] Li M, Yu N, Qin J G, et al. Effects of ammonia stress, dietary linseed oil and Edwardsiella ictaluri challenge on juvenile darkbarbel catfish *Pelteobagrus vachelli*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2014, 38(1): 158-165.
- [25] Kim N H, Choi S K, Kim S J, et al. Green tea seed oil reduces weight gain in C57BL/6J mice and influences adipocyte differentiation by suppressing peroxisome proliferator-activated receptor- γ [J]. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*, 2008, 457: Article No. 293.
- [26] Gensic M, Wissing P J, Keefe T R, et al. Effects of iodized feed on stress modulation in steelhead trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)[J]. *Aquaculture Research*, 2004, 35(12): 1117-1121.
- [27] Witt E M, Laidley C W, Liu K K M, et al. Correlation between environmental iodide concentrations and larval growth, survival, and whole body concentrations of thyroid hormones and cortisol in Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*)[J]. *Aquaculture*, 2009, 289(3-4): 357-364.
- [28] Aghwan Z A, Sazili A Q, Kadhim K K, et al. Effects of dietary supplementation of selenium and iodine on growth performance, carcass characteristics and histology of thyroid gland in goats[J]. *Animal Science Journal*, 2016, 87(5): 690-696.
- [29] Yao D W, Luo J, He Q Y, et al. Thyroid hormone responsive (*THRSP*) promotes the synthesis of medium-chain fatty acids in goat mammary epithelial cells[J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(4): 3124-3133.
- [30] Tian W H, Yang L Y, Li H, et al. Expression and regulation characteristics of lipid metabolism-related *ACACA* and *FASN* genes in laying hens (*Gallus gallus*)[J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2019, 27(2): 280-288. [田卫华, 杨丽玉, 李红, 等. 蛋鸡脂肪代谢相关基因 *ACACA* 和 *FASN* 表达及调控特性[J]. 农业生物技术学报, 2019, 27(2): 280-288.]
- [31] Zhang F, Zeng Q H, Tao H, et al. Construction of over-expression vector of bovine *ACOX1* gene and preliminary study on fat deposition[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2017, 53(11): 42-47. [张凤, 曾倩晖, 陶虎, 等. 牛 *ACOX1* 基因过表达载体构建及对脂肪沉积的初步研究[J]. 中国畜牧杂志, 2017, 53(11): 42-47.]
- [32] Mudanjiang Medical University. Application of microRNA-23b and its analogues in preparation of drugs for prevention and treatment of obesity, hyperlipidemia, hypertension and their complications: 201410097269.6[P]. 2014-08-06. [牡丹江医学院. microRNA-23b 及其模拟物在制备防治肥胖、高血脂、高血压及其并发症的药物中的应用: 201410097269.6[P]. 2014-08-06.]
- [33] Khor E S, Wong P F. Endothelial replicative senescence delayed by the inhibition of MTORC1 signaling involves microRNA-107[J]. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 2018, 101: 64-73.
- [34] Yang Z H, Cappello T, Wang L. Emerging role of microRNAs

in lipid metabolism[J]. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 2015, 5(2): 145-150.

[35] Shi J Q, Zou C C. microRNA and obesity[J]. *International*

Journal of Endocrinology and Metabolism, 2015, 35(5): 344-347. [史俊奇, 邹朝春. microRNA 与肥胖[J]. 国际内

分泌代谢杂志, 2015, 35(5): 344-347.]

Effects of dietary lipid sources and potassium iodate on growth, survival rate, liver and gut histomorphology, and lipid metabolism in juvenile Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*)

LU Yi¹, GAO Youling¹, WANG Shuitao¹, CHEN Peizhuang¹, SHI Weida², GUO Jianlin², WANG Gang³, QIAN Guoying¹

1. College of Biological and Environmental Sciences, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China;

2. Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China;

3. Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Jiashan, Jiaxing 314100, China

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of different lipid sources and potassium iodate in diets on the growth, survival rate, liver and gut histomorphology, lipid metabolism gene expression, and microRNA expression of juvenile Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*). Four diets were prepared on the basis of fish oil (FO), fish oil + potassium iodate (FO + PI), tea seed oil (TO), and linseed oil (LO). All diets contained 10% oil and potassium iodate with the concentration of 75 mg/kg. The diets were fed to the turtles (mean body weight: 5.06±0.05 g) for 66 days. The results showed that the survival rate of juvenile turtles in FO + PI and LO groups was significantly lower than that in the FO group, and hepatosomatic index (HSI) of the FO + PI group and TO group was also significantly reduced. There were no significant differences in plasma glucose, total cholesterol, and triglyceride levels among the groups. Turtles fed the FO + PI diet significantly downregulated the gene expression of *THRSP* and *ACACA*, and upregulated the expression of *microRNA-23b*, *microRNA-107*, *microRNA-122* and *microRNA-499*. The TO diet significantly downregulated the expression of *ACOX1* and upregulated the expression of *microRNA-23b*. There were fewer lipid vacuoles in the liver cells from the FO + PI group and the TO group. In addition, the TO diet significantly altered the morphology of mucosal folds in the intestines of the turtles. It was concluded that different lipid sources and potassium iodate in the juvenile turtle diets had no significant effect on their growth. However, linseed oil and potassium iodate affected their survival rate, while tea seed oil and potassium iodate influenced lipid metabolism in juvenile Chinese soft-shelled turtles.

Key words: *Pelodiscus sinensis*; oil; potassium iodate; growth performance; lipid metabolism; gene expression; microRNA

Corresponding author: GAO Youling. E-mail: gaoyl@zwu.edu.cn