

文章编号: 1674-5566(2015)03-0391-12

饲料中添加糖萜素对大菱鲆幼鱼体成分、消化酶活力、血脂及肠道组织结构的影响

郝甜甜^{1,2}, 张利民², 李宝山², 张德瑞^{1,2}, 宋志东², 孙永智², 王际英²

(1. 山东升索渔用饲料研究中心, 山东烟台 265500; 2. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室, 山东烟台 264006)

摘要: 为了探讨饲料中添加糖萜素对大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 幼鱼体成分、消化酶活力、血脂及肠道组织结构的影响, 在6组基础饲料中分别添加0(D₀)、25(D₂₅)、50(D₅₀)、75(D₇₅)、100(D₁₀₀)和200(D₂₀₀) mg/kg糖萜素, 实验期64 d。结果显示: 各组间全鱼与背肌水分和粗蛋白含量无显著差异 ($P > 0.05$); D₁₀₀和D₂₀₀组全鱼粗脂肪显著低于D₀组 ($P < 0.05$), D₇₅组背肌粗脂肪显著高于D₀组 ($P < 0.05$), D₂₀₀组背肌粗脂肪显著低于D₀组 ($P < 0.05$); D₂₅和D₅₀组全鱼粗灰分含量显著低于其他各组 ($P < 0.05$), D₂₀₀组显著高于D₂₅~D₇₅组 ($P < 0.05$)。各组间饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量均不受饲料糖萜素添加水平的影响 ($P > 0.05$); 多不饱和脂肪酸除D₇₅组, 其他添加组均显著高于D₀组 ($P < 0.05$)。D₂₀₀组甘油三酯和总胆固醇显著低于D₀组 ($P < 0.05$); D₅₀组高密度脂蛋白胆固醇显著高于D₀组 ($P < 0.05$), D₇₅~D₂₀₀组显著低于D₀组 ($P < 0.05$); 各组间低密度脂蛋白胆固醇含量无显著差异 ($P > 0.05$)。各添加组胰蛋白酶活性显著高于D₀组 ($P < 0.05$); D₂₅~D₇₅组脂肪酶显著高于D₀组 ($P < 0.05$); 饲料中添加糖萜素对幼鱼肠道淀粉酶活性无显著影响 ($P > 0.05$)。在石蜡组织切片中: D₅₀组前肠微绒毛长度显著高于其他各组 ($P < 0.05$); D₅₀组黏膜厚度显著高于D₂₀₀组 ($P < 0.05$); D₂₅~D₁₀₀组皱襞高度显著高于D₀、D₂₀₀组 ($P < 0.05$)。综合以上实验结果, 饲料中添加50~75 mg/kg糖萜素可提高背肌多不饱和脂肪酸含量、降低血脂、改善肠道生理环境。

研究亮点: 糖萜素因具有广泛而重要的生理作用, 逐渐在畜禽和水产品中得到开发和应用。本文系统地研究了糖萜素对大菱鲆幼鱼血脂、肠道消化酶及肠道组织切片的影响, 结果表明糖萜素具有降血脂, 提高消化酶活性, 改善肠道组织结构的功能。这对于从改善海水鱼肠道方面提高生产性能具有重要意义。

关键词: 大菱鲆; 糖萜素; 体成分; 血脂; 消化酶活力; 肠道组织结构
中图分类号: S 963.73
文献标志码: A

糖萜素 (Sacchariterpenin) 是从山茶科植物籽中提取的三萜皂苷类与糖类的混合物, 为棕黄色, 无灰微细状结晶, 其有效成分稳定, 资源广泛^[1]。在畜禽中研究发现, 糖萜素具有增强免疫力、提高抗病性和维护肠道生态平衡等多种生理作用^[2-4], 并作为一种促生长和免疫增强剂在畜禽饲料中应用。由于糖萜素广泛而重要的生理作用, 受到了水产饲料业的关注, 关于糖萜素对

鱼类的影响已进行相关研究, 对瓯江彩鲤^[5]、鲫^[6]、异育银鲫^[7]等研究表明, 糖萜素具有提高鱼类生长性能和消化酶活性的作用, 但目前在水产饲料中应用研究仍比较匮乏。

肠道是鱼体消化吸收营养物质的重要场所, 鱼类的快速健康生长与肠道健康密不可分。因此, 如何从改善肠道结构, 提高消化酶活性方向提高鱼体快速健康生长, 对水产养殖业健康发展

收稿日期: 2015-01-19 修回日期: 2015-03-24

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项 (201205025); 国家海洋生物产业-水生动物营养与饲料研发创新示范平台资金 (201403002); 山东省科技发展计划 (2014GHY115006)

作者简介: 郝甜甜 (1987—), 女, 硕士, 助理工程师, 研究方向为水生动物营养与饲料。E-mail: haotiantian0805@163.com

通信作者: 王际英, E-mail: ytwjy@126.com

具有重要的意义。已有研究表明,糖萆素不仅能够改善肉鸡肠道组织结构^[8],还可以提高消化酶活力和生长性能^[7]。糖萆素中的活性物质在肠道消化酶的作用下,可以分解为有机酸,为肠道上皮细胞提供能量,促进其生长发育,改善肠道形态结构^[9]。胡先勤等^[6]报道饲料中添加糖萆素能提高鲫鱼消化酶活性,黄鹏等^[1]认为糖萆素能促进肉鸡肠道发育,增加肠道吸收面积。然而,尚未见有关糖萆素改善海水鱼类肠道结构方面的研究报道。大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)隶属 鲽形目(Pleuronectiformes),鲆科(Scophthalmidae),菱鲂属(*Psetta*),是我国北方重要养殖经济品种,具有生长迅速、性格温顺、经济价值高且易于集约化养殖等优点^[10]。本实验以大菱鲂幼鱼为研究对象,通过在饲料中添加不同水平糖萆素,研究其对大菱鲂幼鱼体成分、消化酶活性、血脂及肠道组织结构的影响,探讨糖

萆素在海水鱼上的作用机制,为完善大菱鲂环境友好型配合饲料配方提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

根据大菱鲂营养需求^[11],以鱼粉和酪蛋白为主要蛋白源,鱼油为主要脂肪源,配制粗蛋白为53%,粗脂肪为10%的实验饲料(原料均由山东升索渔用饲料研究中心提供)。在基础饲料上分别添加0、25、50、75、100和200 mg/kg糖萆素(购于杭州唐天科技有限公司,批准文号:浙饲添字(2007)142052,三萆皂苷 $\geq 30\%$,多糖 $\geq 30\%$),即D₀、D₂₅、D₅₀、D₇₅、D₁₀₀和D₂₀₀组。饲料原料过80目筛,按照饲料配方逐级扩大混匀,经螺旋挤压机加工成直径3.0 mm的硬颗粒饲料,自然风干备用。实验饲料组分及营养水平见表1。

表1 饲料配方及营养成分分析

Tab.1 Formulation and nutrient compositions of the experimental diets

项目 item	组别 groups					
	D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅	D ₁₀₀	D ₂₀₀
鱼粉 fish meal	45	45	45	45	45	45
酪蛋白 casein	18	18	18	18	18	18
乌贼内脏粉 squid visceral meal	3	3	3	3	3	3
鱼油 fish oil	8	8	8	8	8	8
淀粉 starch	5	5	5	5	5	5
α -淀粉 α -starch	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
羧甲基纤维素钠 sodium carboxymethyl cellulose	4.44	4.4375	4.435	4.4325	4.43	4.42
糖萆素 sacchariterpenin	0	0.002 5	0.005	0.007 5	0.01	0.02
预混料 premix	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06
合计 total	100	100	100	100	100	100
营养组成(干物质) nutrient composition (DM)						
粗蛋白 crude protein	53.69	53.36	53.77	53.65	53.50	53.09
粗脂肪 crude lipid	10.09	10.90	10.59	10.35	10.96	10.52
灰分 crude ash	9.86	10.61	10.41	10.64	10.53	10.59
总能量/(kJ/g) gross energy	20.87	20.65	20.86	20.78	20.26	20.67
蛋能比/(mg/kJ) protein/energy ratio	25.74	25.84	25.78	25.81	24.81	25.68

注:预混料配方:矿物质预混料2%,维生素预混料1%,粘合剂0.5%,氯化胆碱(50%),抗氧化剂0.06%^[12]。

Note: premix formulation: mineral premix 2%, vitamin premix 1%, binder 0.5%, choline chloride (50%) 0.5%, antioxidant 0.06%^[12].

1.2 养殖实验与管理

实验用大菱鲂幼鱼购自山东蓬莱宗哲养殖有限公司,养殖实验在山东省海洋资源与环境研究院全封闭水循环系统进行。实验开始前,投喂基础饲料暂养14 d,使其适应养殖环境。实验期间光照12 h,黑暗12 h,微水流循环水养殖,控制水温(17 \pm 1)℃,盐度27~28,溶解氧 > 8 mg/L, pH 7.8~8.0,氨氮 < 0.01 mg/L,亚硝氮 < 0.01

mg/L。在实验开始前,停食24 h,选择健康无病的大菱鲂幼鱼[初始体重为(45.10 \pm 0.1)g]随机分为6组,每组3个重复(20尾/重复),共360尾,放养于18个蓝色圆柱形塑料养殖桶中(直径70 cm \times 高80 cm),水深50 cm。养殖实验持续56 d,每天饱食投喂两次。

1.3 样品采集与处理

养殖实验结束后,对实验鱼饥饿处理24 h,

然后每个处理随机取 12 尾鱼,用 MS-222 麻醉后,3 尾全鱼作常规营养分析;其余实验鱼尾静脉采血,4 ℃ 静置 4 h 以上,4 000 r/min 离心取血清;分离肠道,一部分用于肠道消化酶的测定,一部分取前肠,Bouin 氏液固定,用于前肠组织石蜡切片;取背肌一部分用于常规营养分析,一部分冷冻干燥后用于脂肪酸测定。采样完毕,将样品放入 -70 ℃ 冰箱保存,待测。

1.4 测定指标和方法

1.4.1 全鱼与背肌常规的测定

测定方法:水分采用 105 ℃ 烘干恒重法测定(GB/T 6435—2006);粗灰分采用 550 ℃ 灼烧法(GB/T 6433—2007);粗蛋白采用杜马斯燃烧定氮法测定(LECO, FP-528);粗脂肪采用索氏抽提法测定(GB/T 6433—2006)。

脂肪酸分析中油脂提取参照 FOLCH 等^[13]方法。脂肪酸含量测定参照马晶晶等^[14]方法,采用气相色谱仪(GC-2010,Hitachi,日本)火焰离子检测器(FID)检测。GC 条件:进样口和监测器温度均为 260 ℃ 载气纯度为 99.99% 高纯氮,色谱柱规格 100 m × 0.25 mm × 0.20 μm (SP-2560, Supelco, Bellefonte, PA, 美国),柱流速 1.8 mL/min;空气和氢气的流速分别为 400 mL/min 和 40 mL/min;柱起始温度为 140 ℃,保持 5 min,以 4 ℃/min 升至 240 ℃,保持 10 min。采用 Supelco 37 种脂肪酸甲酯混标(Supelco, Bellefonte, PA, 美国)识别样品脂肪酸,用面积归一法计算脂肪酸的相对百分含量。

1.4.2 血脂指标的测定

血清甘油三酯(Triglyceride, TG)、总胆固醇(Total Cholesterol, TCHO)、高密度脂蛋白胆固醇(High Density Lipoprotein Cholesterol, HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(Low Density Lipoprotein Cholesterol, LDL-C)均采用生化分析仪(7020, Hitachi, 日本)测定,试剂盒购于北京利德曼生化股份有限公司。

1.4.3 肠道消化酶和肠道组织石蜡切片的测定

分离出的肠道用 4 ℃ 0.75% 的生理盐水小心冲洗干净,用滤纸吸干表面水分,剪碎,称重,组织质量与生理盐水按 1:9 混合,冰浴匀浆,4

℃,10 000 r/min,离心 15 min,取上清即为粗酶液,所有消化酶实验于 24 h 之内完成。肠道胰蛋白酶(Trypsin)、淀粉酶(Amylase)和脂肪酶(Lipase)酶活测定均采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定,组织匀浆液蛋白质浓度采用考马斯亮蓝染色法进行测定。

将肠道用 0.75% 的生理盐水小心冲洗干净后,用锋利解剖刀截取前肠相同位置 1 cm,用 Bouin 氏液固定 24 h 后,置于 70% 乙醇中保存。用不同浓度乙醇脱水,二甲苯透明,石蜡包埋,BN-804A 型切片机(湖北贝诺)连续切片,切片厚度为 7 μm, H. E 染色,中性树脂封片, Nikon ECLIPSE Ti 型显微镜下观察、拍照,用 NIS element BR 3.2 软件对幼鱼前肠微绒毛长度(microvilli length, ML)、粘膜厚度(mucosal thickness, MT)和皱襞长度(mucosal fold length, MFL)进行测量。

1.5 数据统计

采用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),当处理之间差异显著($P < 0.05$)时,用 Duncan's 检验进行多重比较分析。统计数据以平均值 ± 标准差(Means ± SD)形式表示。

2 结果与分析

2.1 饲料糖萜素水平对大菱鲃幼鱼体成分的影响

对于全鱼组织:随着糖萜素添加水平的升高,各组间全鱼水分和粗蛋白含量差异不显著($P > 0.05$);粗脂肪呈先平稳后降低趋势,且 D_{100} 和 D_{200} 组显著低于 D_0 组($P < 0.05$);粗灰分呈先降低后上升趋势,以 D_{50} 组最低, D_{200} 组最高, D_{25} 和 D_{50} 组显著低于其他各组($P < 0.05$), D_{200} 组显著高于 D_{25} 、 D_{50} 和 D_{75} 组。肌肉水分含量为 78.73% ~ 79.98%, 各组之间差异不显著($P > 0.05$);各组间粗蛋白含量不受饲料糖萜素添加水平的影响($P > 0.05$);背肌粗脂肪含量以 D_{75} 组最高,且比 D_0 组提高了 38.30% ($P < 0.05$), D_{200} 组显著低于其他各组($P < 0.05$),见表 2。

表 2 饲料中添加糖萜素对大菱鲆幼鱼体成分的影响

Tab. 2 Effects of dietary sacchariterpenin levels on proximate composition in whole body of juvenile turbot

项目 item	组别 groups					
	D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅	D ₁₀₀	D ₂₀₀
全鱼 whole fish						
水分 moisture	76.25 ± 1.04	76.75 ± 0.34	76.60 ± 0.43	76.66 ± 1.13	76.76 ± 0.20	77.24 ± 0.49
粗蛋白 crude protein	16.97 ± 1.25	16.41 ± 0.45	16.47 ± 0.45	16.53 ± 0.44	16.73 ± 0.19	16.30 ± 0.40
粗脂肪 crude lipid	2.71 ± 0.36 ^a	2.52 ± 0.14 ^{ab}	2.86 ± 0.21 ^a	2.73 ± 0.49 ^a	2.00 ± 0.07 ^c	2.05 ± 0.07 ^{bc}
粗灰分 crude ash	4.34 ± 0.11 ^{ab}	3.99 ± 0.19 ^c	3.90 ± 0.18 ^c	4.09 ± 0.12 ^{bc}	4.35 ± 0.02 ^{ab}	4.52 ± 0.22 ^a
背肌 dorsal muscle						
水分 moisture	78.92 ± 0.25	79.98 ± 3.99	78.82 ± 0.73	78.73 ± 0.99	79.22 ± 0.50	79.00 ± 0.20
粗蛋白 crude protein	19.63 ± 0.16	19.07 ± 2.53	20.01 ± 0.13	20.13 ± 0.03	19.30 ± 0.63	19.63 ± 0.28
粗脂肪 crude lipid	0.47 ± 0.07 ^b	0.33 ± 0.08 ^{bc}	0.40 ± 0.02 ^b	0.65 ± 0.07 ^a	0.46 ± 0.11 ^b	0.23 ± 0.05 ^c
粗灰分 crude ash	1.32 ± 0.02 ^b	0.99 ± 0.06 ^d	1.10 ± 0.05 ^c	0.99 ± 0.04 ^d	1.36 ± 0.03 ^b	1.49 ± 0.04 ^a

注:表中数据以平均值 ± 标准差表示(n=3),同行数值不同上标英文字母表示差异显著(P < 0.05);下同。

Note: Values (Means ± S. D.) (n=3) in the same row with different superscripts show significant difference (P < 0.05); the same as follows.

由表 3 可知,随着饲料中糖萜素添加水平的升高,各组间饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SAF)和单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)差异不显著(P > 0.05),但饲料中添加糖萜素能显著降低 C14:0 和 C15:0 的含量(P < 0.05);多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)呈先升高后平稳趋势,除 D₇₅ 组外,其他各组均显著高于 D₀ 组(P < 0.05),其中

D₂₅ 组 EPA 比 D₀ 组提高了 3.81% (P > 0.05),饲料中添加糖萜素能显著提高背肌 DHA 含量(P < 0.05),各添加组与 D₀ 组相比分别提高了 21.15%、15.06%、13.55%、22.79%、21.41%;各添加组幼鱼背肌 n-3 多不饱和脂肪酸均显著高于 D₀ 组(P < 0.05),但各添加组 n-6 多不饱和脂肪酸均低于 D₀ 组,其中 D₂₅、D₇₅ 和 D₁₀₀ 组显著低于 D₀ 组(P < 0.05)。

表 3 不同糖萜素添加水平对大菱鲆幼鱼背肌脂肪酸组成的影响

Tab. 3 Effects of dietary sacchariterpenin levels on fatty acid percentage of dorsal muscle of juvenile turbot

脂肪酸 fatty acids	组别 groups					
	D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅	D ₁₀₀	D ₂₀₀
C14:0	3.09 ± 0.067 ^a	2.23 ± 0.25 ^b	2.24 ± 0.00 ^b	2.51 ± 0.17 ^b	2.02 ± 0.24 ^b	2.49 ± 0.52 ^b
C15:0	0.58 ± 0.01 ^a	0.39 ± 0.03 ^b	0.41 ± 0.03 ^b	0.41 ± 0.01 ^b	0.36 ± 0.02 ^b	0.40 ± 0.05 ^b
C16:0	17.94 ± 0.38 ^b	18.82 ± 0.65 ^{ab}	18.89 ± 0.67 ^{ab}	19.56 ± 0.71 ^{ab}	19.97 ± 0.36 ^b	18.33 ± 2.28 ^{ab}
C17:0	0.40 ± 0.007 ^{bc}	0.44 ± 0.0003 ^{ab}	0.43 ± 0.039 ^{ab}	0.46 ± 0.016 ^a	0.40 ± 0.024 ^{bc}	0.38 ± 0.020 ^b
C18:0	4.77 ± 0.042 ^b	5.80 ± 0.113 ^a	5.15 ± 0.87 ^{ab}	5.76 ± 0.34 ^a	5.88 ± 0.15 ^a	5.75 ± 0.095 ^a
C20:0	0.26 ± 0.006 ^{ab}	0.30 ± 0.005 ^{ab}	0.25 ± 0.016 ^b	0.30 ± 0.030 ^a	0.28 ± 0.030 ^{ab}	0.28 ± 0.029 ^{ab}
C22:0	0.18 ± 0.049 ^a	0.17 ± 0.028 ^{ab}	0.11 ± 0.015 ^b	0.12 ± 0.0006 ^{ab}	0.12 ± 0.008 ^{ab}	0.13 ± 0.023 ^{ab}
ΣSAF	27.42 ± 0.12	28.28 ± 0.54	28.00 ± 1.02	29.12 ± 1.13	28.96 ± 0.18	27.27 ± 2.54
C16:1n-7	3.57 ± 0.24 ^a	2.71 ± 0.17 ^b	3.06 ± 0.65 ^{ab}	2.89 ± 0.16 ^{ab}	2.39 ± 0.24 ^b	2.50 ± 0.20 ^b
C18:1n-9	11.91 ± 0.59 ^a	11.17 ± 0.80 ^{abc}	11.57 ± 0.40 ^{ab}	11.51 ± 0.14 ^{ab}	10.58 ± 0.41 ^{bc}	10.21 ± 0.15 ^c
C18:1n-7	2.89 ± 0.030 ^{bc}	3.00 ± 0.015 ^{ab}	2.99 ± 0.09 ^{ab}	3.05 ± 0.02 ^a	2.95 ± 0.06 ^{abc}	2.87 ± 0.006 ^c
C20:1n-7	1.34 ± 0.18	1.35 ± 0.30	1.55 ± 0.11	1.16 ± 0.02	1.19 ± 0.19	1.40 ± 0.23
C22:1n-9	0.69 ± 0.01 ^{ab}	0.80 ± 0.29 ^a	0.78 ± 0.14 ^a	0.53 ± 0.0005 ^{ab}	0.44 ± 0.07 ^b	0.48 ± 0.03 ^b
ΣMUFA	20.72 ± 1.18	19.39 ± 2.31	20.25 ± 1.26	19.09 ± 0.24	17.55 ± 0.91	20.10 ± 4.06
C18:2n-6	6.11 ± 0.63 ^a	4.37 ± 0.22 ^b	5.01 ± 0.82 ^b	4.29 ± 0.02 ^b	4.52 ± 0.35 ^b	4.67 ± 0.67 ^b
C18:3n-6	0.11 ± 0.009	0.12 ± 0.002	0.14 ± 0.020	0.11 ± 0.016	0.12 ± 0.022	0.14 ± 0.004
C18:3n-3	0.96 ± 0.11 ^a	0.80 ± 0.13 ^{ab}	0.96 ± 0.02 ^a	0.73 ± 0.03 ^b	0.67 ± 0.07 ^b	0.62 ± 0.02 ^b
C20:2n-9	0.99 ± 0.12 ^{ab}	1.33 ± 0.37 ^a	1.34 ± 0.35 ^a	0.71 ± 0.030 ^b	0.52 ± 0.07 ^b	0.56 ± 0.06 ^b
C20:3n-6	0.14 ± 0.01	0.13 ± 0.006	0.13 ± 0.04	0.13 ± 0.02	0.14 ± 0.02	0.13 ± 0.02
C20:3n-3	0.19 ± 0.009	0.25 ± 0.020	0.25 ± 0.009	0.24 ± 0.03	0.19 ± 0.021	0.23 ± 0.042
ARA	1.42 ± 0.12 ^c	1.59 ± 0.19 ^{bc}	1.81 ± 0.23 ^{ab}	1.76 ± 0.08 ^{ab}	1.85 ± 0.08 ^{ab}	1.90 ± 0.11 ^a
EPA	8.14 ± 0.27 ^{ab}	8.45 ± 0.25 ^a	8.28 ± 0.22 ^{ab}	8.25 ± 0.12 ^{ab}	7.84 ± 0.33 ^{bc}	7.60 ± 0.09 ^c
DPA	2.36 ± 0.17	2.35 ± 0.05	2.36 ± 0.17	2.50 ± 0.12	2.40 ± 0.09	2.48 ± 0.09
DHA	22.51 ± 0.39 ^c	27.27 ± 0.49 ^{ab}	25.90 ± 0.76 ^{ab}	25.56 ± 0.64 ^b	27.64 ± 1.32 ^a	27.33 ± 0.30 ^{ab}
ΣPUFA	42.83 ± 1.12 ^c	46.66 ± 0.36 ^a	46.18 ± 0.16 ^{ab}	44.28 ± 0.86 ^{bc}	45.89 ± 0.99 ^{ab}	45.66 ± 0.09 ^{ab}
Σn-3PUFA	34.15 ± 0.59 ^d	39.11 ± 0.40 ^a	37.74 ± 0.34 ^{bc}	37.27 ± 0.75 ^c	38.73 ± 0.95 ^{ab}	38.26 ± 0.06 ^{abc}
Σn-6PUFA	7.78 ± 0.49 ^a	6.21 ± 0.27 ^b	7.10 ± 0.77 ^{ab}	6.30 ± 0.13 ^b	6.64 ± 0.40 ^b	6.85 ± 0.80 ^{ab}

2.2 饲料糖萜素水平对大菱鲃幼鱼血脂的影响

TG 和 TCHO 浓度在 D₂₀₀ 组显著低于其他组 ($P < 0.05$), 其他各组之间差异不显著 ($P > 0.05$); HDL-C 浓度呈先升高后降低趋势, 在 D₅₀

组显著高于 D₀ 组 ($P < 0.05$), D₁₀₀ 和 D₂₀₀ 组显著低于 D₀ 组 ($P < 0.05$); 但饲料中添加糖萜素对 LDL-C 无显著影响 ($P > 0.05$), 见表 4。

表 4 饲料中添加糖萜素对大菱鲃幼鱼血脂的影响

Tab. 4 Effects of dietary sacchariterpenin levels on blood lipids of juvenile turbot mmol/L

项目 item	组别 groups					
	D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅	D ₁₀₀	D ₂₀₀
甘油三酯 TG	3.69 ± 0.35 ^a	3.45 ± 0.09 ^a	3.32 ± 0.16 ^a	3.27 ± 0.37 ^a	3.07 ± 0.52 ^a	1.64 ± 0.31 ^b
总胆固醇 TCHO	4.14 ± 0.37 ^a	3.71 ± 0.17 ^a	3.68 ± 0.22 ^a	3.75 ± 0.73 ^a	3.71 ± 0.30 ^a	2.77 ± 0.02 ^b
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C	2.53 ± 0.32 ^{bc}	2.84 ± 0.32 ^{ab}	3.01 ± 0.23 ^a	2.20 ± 0.21 ^{cd}	1.97 ± 0.24 ^d	1.93 ± 0.12 ^d
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C	0.10 ± 0.03	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.04	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.04	0.10 ± 0.01

2.3 饲料糖萜素水平对大菱鲃幼鱼消化酶活力的影响

从表 5 可知, 饲料中添加糖萜素可显著提高大菱鲃幼鱼肠道胰蛋白酶活性, 其中 D₅₀ 和 D₇₅ 组与 D₀ 组相比分别提高了 41.73% 和 54.36%

($P < 0.05$); 各组间淀粉酶活性差异不显著 ($P > 0.05$); D₂₅、D₅₀ 和 D₇₅ 组脂肪酶活性显著高于其他 3 组 ($P < 0.05$), 且与 D₀ 组比较, 分别提高了 35.16%、24.11% 和 22.31%。

表 5 饲料中添加糖萜素对大菱鲃幼鱼肠道消化酶的影响

Tab. 5 Effects of dietary sacchariterpenin levels on activities digestive enzymes of juvenile turbot

项目 item	组别 groups					
	D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅	D ₁₀₀	D ₂₀₀
胰蛋白酶/(U/μg) trypsin	117.12 ± 3.62 ^d	146.19 ± 11.30 ^c	165.99 ± 2.38 ^{ab}	180.79 ± 0.58 ^a	149.55 ± 13.35 ^{bc}	159.64 ± 7.46 ^{bc}
淀粉酶/(U/mg) amylase	0.47 ± 0.17	0.37 ± 0.037	0.47 ± 0.001	0.45 ± 0.067	0.34 ± 0.008	0.31 ± 0.039
脂肪酶/(U/g) lipase	281.62 ± 12.87 ^b	380.64 ± 27.65 ^a	349.53 ± 29.27 ^a	344.45 ± 17.11 ^a	264.30 ± 11.87 ^b	274.90 ± 19.96 ^b

2.4 饲料糖萜素水平对大菱鲃幼鱼肠道结构的影响

由图版 I 和图版 II 可知, 糖萜素对大菱鲃幼鱼肠道组织结构完整性无明显影响。D₂₅、D₅₀ 和 D₇₅ 组大菱鲃幼鱼前肠黏膜皱襞排列整齐, 皱襞间质宽度小, 黏膜厚度较厚, 明显优于对照组。糖萜素高添加组 D₁₀₀ 和 D₂₀₀ 组, 出现前肠黏膜皱襞排列疏松, 皱襞长度较短, 皱襞间质变宽等特点。

随着糖萜素添加水平的升高, 大菱鲃幼鱼前肠微绒毛长度、黏膜厚度和皱襞长度均呈先上升后下降的趋势(表 6)。D₅₀ 组微绒毛长度显著高于其他各组 ($P < 0.05$), 与 D₀ 组相比提高了 30.00% ($P < 0.05$); 黏膜厚度以 D₅₀ 组最厚, 且显著厚于 D₂₀₀ 组 ($P < 0.05$); 与 D₀ 组相比, D₂₅、D₅₀、D₇₅ 和 D₁₀₀ 组皱襞长度分别提高了 76.00%、78.28%、82.78% 和 37.4% ($P < 0.05$)。

表 6 饲料中添加糖萜素对大菱鲃幼鱼前肠结构的影响

Tab. 6 Effects of dietary sacchariterpenin levels on intestinal histology of juvenile turbot μm

项目 item	组别 groups					
	D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅	D ₁₀₀	D ₂₀₀
微绒毛长度 ML	14.92 ± 1.28 ^b	16.02 ± 0.40 ^b	19.39 ± 0.44 ^a	16.27 ± 0.80 ^b	11.46 ± 1.05 ^c	11.62 ± 0.68 ^c
黏膜厚度 MT	217.71 ± 26.75 ^{ab}	220.74 ± 7.89 ^{ab}	231.26 ± 9.31 ^a	222.59 ± 2.61 ^{ab}	212.32 ± 5.33 ^{ab}	203.03 ± 9.36 ^b
皱襞长度 MFL	438.97 ± 11.39 ^c	772.56 ± 41.53 ^a	782.61 ± 31.03 ^a	802.35 ± 34.98 ^a	603.15 ± 0.43 ^b	441.25 ± 11.70 ^c

3 讨论

3.1 饲料中添加糖萜素对大菱鲆幼鱼体成分的影响

本实验中,各组间全鱼、背肌水分、粗蛋白含量差异不显著,这与在异育银鲫^[15]上的研究结果相似。全鱼粗脂肪含量呈降低趋势,背肌粗脂肪含量呈先上升后下降趋势,究其原因可能是糖萜素中的生物活性成分通过调控脂肪代谢相关酶基因的表达^[16]或者抑制脂肪代谢合成原料等^[17]来减少内脏脂肪蓄积,占秀安和许梓荣^[18]报道,肝脏合成甘油三酯在血浆脂蛋白运载下,流经外周组织,被肌肉组织摄取而沉积作为能量贮备,推测饲料中添加糖萜素后肝脏中的脂肪通过血液循环转移到肌肉和肠道等其他器官中,促进肌肉中脂肪沉积,从而导致全鱼粗脂肪含量下降,背肌粗脂肪含量上升,有关糖萜素在大菱鲆幼鱼各组织器官中脂肪沉积代谢调控机理还需进一步研究;但高水平糖萜素中含有的皂苷等物质可能影响大菱鲆幼鱼适口性^[19],摄食量减少,体内合成代谢减弱,分解代谢加强,糖原、脂肪和蛋白质分解加速,导致营养物质损耗或合成受阻^[20],从而导致本实验 D₂₀₀组背肌粗脂肪含量显著降低。在本实验中,全鱼粗灰分含量呈先下降后上升趋势,表明糖萜素可调控鱼体矿物质营养代谢,一定量的糖萜素减少了矿物质在鱼体内的沉积,而高浓度糖萜素刺激了成骨细胞的增殖,提高了细胞基质钙含量^[21],从而导致 D₂₀₀组灰分下降。

多不饱和脂肪酸在稳定细胞膜功能^[22],维持机体生理功能^[23]及促进生长发育^[24]方面具有重要的意义。由于海水鱼不能延长短链脂肪酸,因此,EPA、DHA及n-3系列不饱和脂肪酸更为重要^[25-27]。马晶晶等^[14]认为肌肉选择性地利用C18:2n-6作为 β -氧化的底物,减少了n-3脂肪酸作为能量消耗,增加了组织沉积;曹俊明等^[28]报道,n-3脂肪酸在鱼体内消耗很慢,主要作为结构脂肪酸发挥作用。本实验中,饲料中添加糖萜素增加了多不饱和脂肪酸含量,n-3脂肪酸百分含量增加,说明糖萜素能提高肌肉n-3高不饱和脂肪酸的沉积,与上述结论一致;但糖萜素的添加降低了幼鱼背肌中n-6脂肪酸百分含量,朱路英等^[29]表明亚油酸作为n-6脂肪酸合成的底物,王吉桥等^[30]认为,n-6和n-3多

不饱和脂肪酸之间竞争去饱和酶,因此,推测饲料中糖萜素添加可能干扰了脂肪酸合成途径,抑制了肌肉n-6脂肪酸的合成。其具体机理还需进一步研究。

3.3 饲料中添加糖萜素对大菱鲆幼鱼血脂的影响

血脂水平是反映体内脂肪代谢水平的重要生理指标,高血脂会引起动物机体脂肪代谢紊乱,机体细胞损伤,进而影响机体的生长发育^[31]。研究表明,一些植物提取物能够降低动物血脂^[32-34]。COUTO等^[35]表明在哺乳动物中,植物提取物通过抑制肠细胞吸收胆固醇,促进胆固醇排泄,从而达到降低血液胆固醇的作用;SHUMAN等^[36]报道皂苷成分可与胆固醇形成不易吸收的复合物,随粪便排出体外,从而降低血清中胆固醇含量;周成等^[37]认为多糖可加快肝胆循环,平衡肝内生成酮体和肝外组织利用的限度,从而达到降低血脂堆积的作用。本实验中,饲料中添加糖萜素降低了血清甘油三酯和总胆固醇的含量,高密度脂蛋白胆固醇含量呈先升高后降低趋势,与张艳秋等^[38]在白鲳上的研究结果相似,表明在本实验条件下,添加适量糖萜素可达到降低幼鱼血脂的作用。各组间低密度脂蛋白胆固醇含量无显著差异,推测原因是糖萜素中的生物活性物质相互作用对低密度脂蛋白受体 mRNA 无影响^[39]。

3.4 饲料中添加糖萜素对大菱鲆幼鱼消化生理的影响

鱼类肠道是机体营养物质消化、吸收的重要场所,其中所含消化酶活性可以作为衡量鱼类对饲料营养成分消化、吸收和利用的重要指标^[40],其活性的高低决定着鱼类对营养物质消化吸收的能力^[41]。本实验发现随着饲料糖萜素水平的升高,肠道胰蛋白酶和脂肪酶活性均呈先升高后降低趋势,说明饲料中添加一定量糖萜素能够增加蛋白质和脂肪在鱼体内的消化利用率;但饲料添加糖萜素对幼鱼肠道胰蛋白酶和脂肪酶活性的提高有一定限度,即肠道消化酶活性随着糖萜素水平增加上升到一定程度会下降,推测其原因是高水平糖萜素中的皂苷成分对大菱鲆幼鱼肠道组织有一定的破坏作用^[42],抑制了肠道消化酶的分泌,这也在本实验肠道组织石蜡切片结果中得到了证明;胡永乐等^[43]报道,消化酶活性易受

温度、盐度、pH 等影响,有可能是高浓度糖萜素促使微生物大量发酵,使肠道 pH 偏低,从而降低了消化酶活性。但各组间淀粉酶活性无显著差异,这与在鲫鱼^[6]、异育银鲫^[7]上的研究结果相悖,鱼类的消化生理与鱼的食性有着密切的联系,不同食性鱼类具有不同的淀粉酶活性,草食性鱼类 > 杂食性鱼类 > 肉食性鱼类^[44-45],淀粉酶的分泌量及酶活力直接决定鱼类对饵料中碳水化合物的消化能力^[46],THONGPRAJUKAEW 等表明肉食性鱼类尤其在幼鱼阶段,因为其肠道较短,且淀粉酶活性较低,对碳水化合物利用有一定的局限性^[47]。因此,本实验出现的结果可能是与鱼种类、大小及对碳水化合物的利用效率不同有关。

肠道的正常发育对鱼类的消化能力有着重要的影响^[48],肠皱襞高度、微绒毛长度及粘膜厚度增加能够扩大肠道吸收表面积,促进小肠的消化吸收,是肠道发育成熟的重要指标^[49-50]。黄鹏等^[1]在固始鸡饲料中添加糖萜素能促进固始鸡肠绒毛生长。本实验发现,大菱鲃幼鱼饲料中添加 25 ~ 75 mg/kg 糖萜素均能不同程度地提高幼鱼肠道肠皱襞长度,微绒毛长度及肠粘膜厚度,这表明糖萜素增加了肠道与食物的接触表面积,提高了营养吸收效率。但随着糖萜素添加水平的升高,幼鱼肠道出现小肠皱襞排列疏松,皱襞间质变宽,微绒毛长度变短等现象。出现这一结果的原因可能是:适宜剂量糖萜素中寡糖和三萜皂苷能促进小肠上皮组织细胞生长和增殖^[1],但高剂量糖萜素中皂苷会增加体外肠黏膜细胞的渗透性,抑制营养物质转运,诱发肠道形态学变化^[51]。

4 结论

在本实验条件下,综合以上数据分析,饲料中添加适宜水平(50 ~ 75 mg/kg)的糖萜素能够提高大菱鲃幼鱼背肌脂肪和不饱和脂肪酸含量,降低血清中甘油三酯和胆固醇的含量,改善其肠道结构,并提高幼鱼肠道消化酶活性。

衷心感谢王世信、黄炳山、马晶晶、夏斌、乔洪金、柳旭东、李培玉、蔡江先等在实验饲料制备,养殖管理,样品采集及论文撰写中给予的帮助!

参考文献:

- [1] 黄鹏,赵珊珊,张学武,等. 糖萜素对固始鸡小肠黏膜结构的影响[J]. 动物营养学报, 2011,23(11):2016-2023. HUANG P, ZHAO S S, ZHANG X W, et al. Effects of dietary Sacchariterpenin on mucosal structure of small intestine in *Gushi* Chickens [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011,23(11):2016-2023.
- [2] 马明颖,胡光林,崔贞爱,等. 糖萜素和酵母培养物对雏鸡生长性能及免疫器官的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2007,34(1):37-39. MA M Y, HU G L, CUI Z A, et al. Effects of Sacchariterpenin and Yeast Culture on growth performance, immune organs of chicks [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2007,34(1):37-39.
- [3] 唐晓玲. 糖萜素对仔猪免疫功能的影响研究[J]. 湖南畜牧兽医, 2011(2):10-13. TANG X L. Study effects of Sacchariterpenin on immunity of weaned piglets [J]. Hunan Journal of Animal Science & Veterinary Medicine, 2011(2):10-13.
- [4] FRANCIS G, MAKAR H P S, BECKER K. Effects of Quillaja Saponins on growth, metabolism, egg production and muscle cholesterol in individually reared Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 2001,129(2):105-114.
- [5] 张静,詹勇,汪园,等. 糖萜素对瓯江彩鲤生长性能和肉质影响研究[J]. 中国饲料,2007(22):24-26. ZHANG J, ZHAN Y, WANG Y, et al. Effects of Sacchariterpenin on growth performance and meat quality of *Cyprinus carpio var color*[J]. China Feed, 2007(22):24-26.
- [6] 胡先勤,熊裕含,王学东. 糖萜素对鲫鱼消化酶活性的影响[J]. 中国饲料,2006(4):34-36. HU X Q, XIONG Y H, WANG X D. Effects of Sacchariterpenin on the activity of digestive enzyme of crucian carp [J]. China Feed, 2006(4):34-36.
- [7] 肖明松,鲍方印,崔峰,等. 糖萜素对异育银鲫生长性能及其消化酶活力的影响[J]. 淡水渔业,2005,35(6):25-27. XIAO M S, BAO F Y, CUI F, et al. Effects of sacchariterpenin on growth performance and activities of digestive enzymes of allogynogenetic crucian carp [J]. Freshwater Fisheries, 2005,35(6):25-27.
- [8] 沈维武,徐锐,詹永勇,等. 水溶性糖萜素对肉鸡生长性能和小肠黏膜免疫功能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2012,48(1):59-62. SHEN W B, XU R, ZHAN Y, et al. Effects of water solubility Sacchariterpenin on growth performance and intestinal mucosal immune function of broiler chick [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2012,48(1):59-62.
- [9] 翟秋玲,张春晓,孙云章,等. 三丁酸甘油酯和甘露寡糖

- 对菊黄东方鲀生长性能、体组成及肠道健康指标的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(8): 2197-2208.
- ZHAI Q L, ZHANG C X, SUN Y Z, et al. Effects of Tributyrin and Mannan-Oligosaccharide on growth performance, body composition and intestinal health indices of tawny puffer (*Takifugu flavindus*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(8): 2197-2208.
- [10] 刘兴旺, 艾庆辉, 麦康森, 等. 大豆浓缩蛋白替代鱼粉对大菱鲆摄食、生长及体组成的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(1): 91-98.
- LIU X W, AI Q H, MAI K S, et al. Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate on feed intake and growth of turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(1): 91-98.
- [11] 马爱军, 雷霖霖, 陈四清, 等. 大菱鲆营养需求与饲料研究进展[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(4): 450-459.
- MA A J, Lei Q L, CHEN S Q, et al. Proceedings on the study of nutrition requirement and feed for *Scophthalmus maximus* L [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2003, 34(4): 450-459.
- [12] 郝甜甜, 王际英, 李宝山, 等. 饲料中添加糖萜素对大菱鲆幼鱼生长、免疫及热休克蛋白70含量的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2014, 40(3): 338-347.
- HAO T T, WANG J Y, LI B S, et al. Effects of dietary supplementation of sacchariterpenin on growth, immunity and heat shock protein 70 content of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2014, 40(3): 338-347.
- [13] FOLCH J, LEES M, SLOANE-STANLEY G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. The Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [14] 马晶晶, 王际英, 孙建珍, 等. 饲料中DHA/EPA值对星斑川鲈幼鱼生长、体组成及血清生理指标的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(2): 244-256.
- MA J J, WANG J Y, SUN J Z, et al. Effect of dietary DHA to EPA ratios on growth performance, body composition and serum physiological parameters in juvenile *Platichthys stellatus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(2): 244-256.
- [15] 陈阿琴, 刘志伟, 黄庆. 三七总皂苷对异育银鲫生长及体成分的影响[J]. 饲料研究, 2011(1): 63-65.
- CHEN A Q, LIUZ W, HUANG Q. Effects of panax notoginseng saponins on growth and body composition of allogynogenetic crucian carp [J]. Feed Research, 2011(1): 63-65.
- [16] 王先科, 史莹华, 王成章, 等. 苜蓿皂苷对高脂血症大鼠胆固醇代谢及其相关基因表达的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(5): 983-990.
- WANG X K, SHI Y H, WANG C Z, et al. Effects of alfalfa saponins on cholesterol metabolism and its related gene expression in hyperlipidemic rats [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(5): 983-990.
- [17] 陈秋丽, 邓伟国, 王毅. 红景天皂苷对雌性大鼠蛋白质和脂肪代谢的影响[J]. 吉林大学学报: 医学版, 2003, 29(4): 411-413.
- CHEN Q L, DENG W G, WANG Y. Effects of phodosides on protein and lipids metabolism in female rats [J]. Journal of Jilin University: Medicine Edition, 2003, 29(4): 411-413.
- [18] 占秀安, 许梓荣. 肉碱对中华鳖脂肪代谢的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2002, 28(1): 70-73.
- ZHAN X A, XU Z R. Effects of carnitine on adipose metabolism in Chinese soft-shelled turtles [J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2002, 28(1): 70-73.
- [19] 沈玥. 大豆皂苷的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(10): 164-167.
- SHEN Y. Research and development of Soyasaponins [J]. Food Research and Development, 2006, 27(10): 164-167.
- [20] 周显青, 孙儒泳, 牛翠娟. 应激对水生动物生长、行为和生理活动的影响[J]. 动物学研究, 2001, 22(2): 154-158.
- ZHOU X Q, SUN R Y, NIU C J. The effects of stress on aquatic animal's growth, behavior and physiological activity [J]. Zoological Research, 2001, 22(2): 154-158.
- [21] 李大为, 于红玉. 大豆苷元对原代培养大鼠成骨细胞功能的影响[J]. 中国临床康复, 2006, 10(37): 68-70.
- LI D W, YU H Y. Effects of daidzein on osteoblasts function of rats cultured primarily *in vitro* [J]. Chinese Journal of Clinical Rehabilitation, 2006, 10(37): 68-70.
- [22] MARSH D. Protein modulation of lipids, and *vice-versa*, in membranes [J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2008, 1778(7/8): 1545-1575.
- [23] LEE S M, CHO S H. Influences of dietary fatty acid profile on growth, body composition and blood chemistry in juvenile fat cod (*Hexagrammos otakii* Jordan et Starks) [J]. Aquaculture Nutrition, 2009, 15(1): 19-28.
- [24] LI S L, MAI K S, XU W, et al. Characterization, mRNA expression and regulation of $\Delta 6$ fatty acyl desaturase (FADS2) by dietary n-3 long chain polyunsaturated fatty acid (LC-PUFA) levels in grouper larvae (*Epinephelus coioides*) [J]. Aquaculture, 2014, 434: 212-219.
- [25] ACKMAN R G. Structural homogeneity in unsaturated fatty acids of marine lipids; A review [J]. Journal of the Fisheries Board of Canada, 1964, 21(2): 247-254.
- [26] OWEN J M, ADRON J W, SARGENT J R, et al. Studies on the nutrition of marine flatfish. The effect of dietary fatty acids on the tissue fatty-acids of the plaice *Pleuronectes platessa* [J]. Marine Biology, 1972, 13(2): 160-166.
- [27] WIJEKOON M P A, PARRISH C C, MANSOUR A. Effect of dietary substitution of fish oil with flaxseed or sunflower oil on muscle fatty acid composition in juvenile steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at varying temperatures [J]. Aquaculture, 2014, 433: 74-81.

- [28] 曹俊明,刘永坚,劳彩铃. 饲料中不同脂肪酸对草鱼组织脂质含量和脂肪酸构成的影响[J]. 动物营养学报, 1997,9(3):36-44.
CAO J M, LIU Y J, LAO C L. Effect of different dietary fatty acids on tissue lipid content and fatty composition of grass carp [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 1997,9(3):36-44.
- [29] 朱路英,张学成,宋晓金,等. n-3 多不饱和脂肪酸 DHA、EPA 研究进展[J]. 海洋科学, 2007,31(11):78-85.
ZHU L Y, ZHANG X C, SONG X J, et al. Advances in n-3 polyunsaturated fatty acids DHA and EPA [J]. Marine Sciences, 2007,31(11):78-85.
- [30] 王吉桥,张欣,刘革利. 海水鱼类必需脂肪酸营养与需求的研究进展[J]. 水产科学, 2001,20(5):39-43.
WANG J Q, ZHANG X, LIU G L. Recent advance in essential fatty acid nutrition and requirements of cultured marine fishes[J]. Fisheries Science, 2001,20(5):39-43.
- [31] 何雪峰,李晓辉,李淑惠,等. 三七总皂苷对家兔实验性动脉粥样硬化的预防作用[J]. 中国药房, 2007,18(6):408-410.
HE X F, LI X H, LIS H, et al. Preventive effect of total saponins of panax notoginseng on experimental atherosclerosis in rabbits [J]. China Pharmacy, 2007,18(6):408-410.
- [32] 张俐勤,戚向阳,陈维军,等. 罗汉果皂苷提取物对糖尿病小鼠血糖,血脂及抗氧化作用的影响[J]. 中国药理学通报, 2006,22(2):237-240.
ZHANG L Q, QI X Y, CHEN W J, et al. Effect of mogrosin extracts on blood glucose, blood lipid and antioxidation of hyperglycemic mice induced by alloxan [J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2006,22(2):237-240.
- [33] 莫灼康,香富强. 苦瓜总皂苷对高血脂模型小鼠的影响[J]. 中国社区医师:医学专业, 2012,14(12):8,10.
MO S K, XIANG F Q. Effects of bitter melon saponins on hyperlipidemic mice [J]. Chinese Community Doctors, 2012,14(12):8,10.
- [34] MALINOW M R, CONNOR W E, MCLAUGHLIN P, et al. Cholesterol and bile acid balance in *Macaca fascicularis*. Effects of alfalfa saponins [J]. Journal of Clinical Investigation, 1981,67(1):156.
- [35] COUTO A, KORTNER T M, PENN M, et al. Effects of dietary phytosterols and soy saponins on growth, feed utilization efficiency and intestinal integrity of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles [J]. Aquaculture, 2014, 432:295-303.
- [36] MITRA S, DUNGAN S R. Micellar properties of guillaja saponin. Effect of solubilized cholesterol on solution properties [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2000,17(2):117-133.
- [37] 周成,邬应龙,夏晓杰,等. 日粮氧化魔芋葡甘露聚糖对齐口裂腹鱼生长、血脂和脂肪代谢酶活性的影响[J]. 食品科学, 2014,35(9):250-255.
ZHOU C, WU Y L, XIA X J, et al. Effect of dietary oxidized konjac glucomannan on growth performance, blood lipid and lipid metabolism enzymes activities in schizothorax prenanti Tchang [J]. Food Science, 2014,35(9):250-255.
- [38] 张艳秋,詹勇,黄磊. 多糖复合物-糖萜素对淡水白鲢生长和肉质指标作用的初级报告[J]. 饲料工业, 2005, 26(4):57-59.
ZHANG Y Q, ZHAN Y, HUANG L. Effects of Sacchariterpenin on growth performance and meat quality in colossoma sp [J]. Feed Industry, 2005, 26(4):57-59.
- [39] 骆庆峰,孙兰,斯建勇,等. 木豆叶芪类提取物对高脂模型小鼠血脂和肝脏胆固醇的降低作用[J]. 药理学学报, 2008,43(2):145-149.
LUO Q F, SUN L, SI J Y, et al. Hypocholesterolemic effect of stilbene extract from *Cajanus cajan* L. on serum and hepatic lipid in diet-induced hyperlipidemic mice [J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2008,43(2):145-149.
- [40] FERNÁNDEZ I, MOYANO F J, DÍAZ M, et al. Characterization of α -amylase activity in five species of Mediterranean sparid fishes (Sparidae, Teleostei) [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2001, 262(1):1-12.
- [41] 刘襄河,叶超霞,郑丽勉,等. 饲料糊精水平对暗纹东方鲀幼鱼生长、消化酶活性和血液生化指标的影响[J]. 水产学报, 2013,37(9):1359-1368
LIU X H, YE C X, ZHENG L M, et al. Effect of dietary dextrin levels on growth, activities of digestive enzyme and blood biochemical indices of juvenile obscure puffer (*Takifugu obscurus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2013,37(9):1359-1368.
- [42] 吴莉芳,王洪鹤,秦贵信,等. 大豆蛋白对草鱼肠道组织及血液主要生化指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2010, 38(2):25-30.
WU L F, WANG H H, QIN G X, et al. Effects of soybean protein on intestinal morphology and main blood biochemical parameters of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Journal of Northwest A & F. University: Nat. Sci. Ed, 2010, 38(2):25-30.
- [43] 胡永乐,梁旭方,王琳,等. 斜带石斑鱼胰蛋白酶原和淀粉酶全长 cDNA 的克隆与序列分析[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(5):125-131.
HU Y L, LIANG X F, WANG L, et al. Molecular cloning and sequence analysis of pancreatic trypsinogen and amylase from orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(5):125-131.
- [44] HIDALGO B F, BARRIOS A F, FARNES O C, et al. Digestive enzymes of two freshwater fishes *Limia vittata* and *Gambusia punctata* with different dietary preferences at three developmental stages [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2011,158(2):136-141.
- [45] HIDALGO M C, UREA E, SANZ A, Comparative study of

- digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities[J]. *Aquaculture*, 1999, 170(3/4): 267–283.
- [46] SALZE G, CRAIG S R, SMITH B H, et al. Morphological development of larval coho salmon *Oncorhynchus kisutch* and the influence of dietary taurine supplementation[J]. *Journal of Fish Biology*, 2011, 78(5): 1470–1491.
- [47] THONGPRAJUKAEW K, KOVITVADHI U, KOVITVADHI S, et al. Effects of different modified diets on growth, digestive enzyme activities and muscle compositions in juvenile Siamese fighting fish (*Betta splendens* Regan, 1910) [J]. *Aquaculture*, 2011, 322–323: 1–9.
- [48] 邓君明, 麦康森, 艾庆辉, 等. 大豆低聚糖对牙鲆营养效应的研究: II 消化率和消化生理[J]. *水生生物学报*, 2009, 33(3): 369–375.
- DENG J M, MAI K S, AI Q H, et al. Effects of Soybean oligosaccharides on nutritional characters of Japanese flounder (*paralichthys olivaceus*): II digestibility and digestive physiology[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(3): 369–375.
- [49] UDA K, TSUJIKAWA T, FUJIYAMA Y, et al. Rapid absorption of luminal polyamines in a rat small intestine *ex vivo* model [J]. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 2003, 18(5): 554–559.
- [50] SANG H M, FOTEDAR R. Effects of mannan oligosaccharide dietary supplementation on performances of the tropical spiny lobsters juvenile (*Panulirus ornatus*, Fabricius 1798) [J]. *Fish Shell Fish Immunology*, 2010, 2: 483–489.
- [51] FRANCIS G, KEREM Z, MAKKAR H P S, et al. The biological action of saponins in animal systems: a review[J]. *British Journal of Nutrition*, 2002, 88(6): 587–605.

Effects of sacchariterpenin-supplemented diets on body composition, activity of intestinal enzymes, blood lipid and intestinal histology of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*)

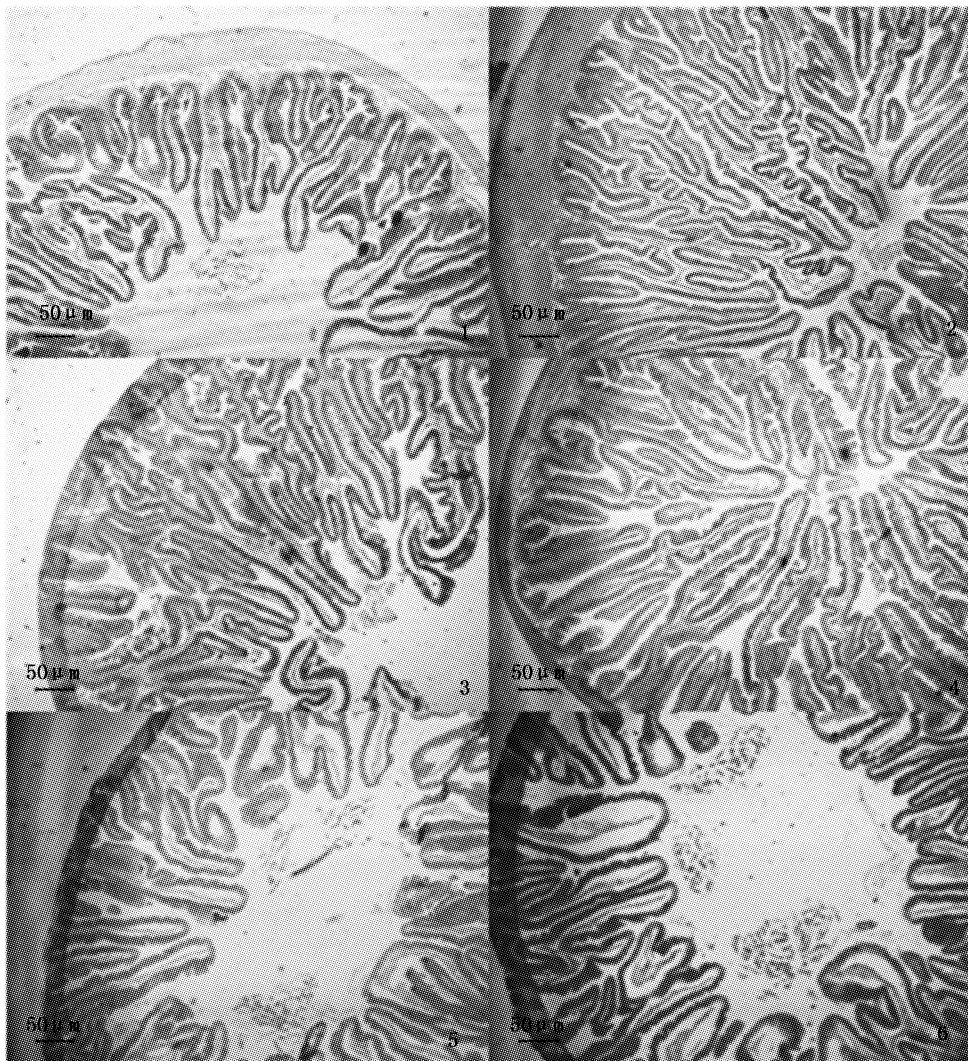
HAO Tiantian^{1,2}, ZHANG Limin², LI Baoshan², ZHANG Derui^{1,2}, SONG Zhidong², SUN Yongzhi², WANG Jiying²

(1. Shengsuo Fishery Feed Research Centre of Shandong Province, Yantai 265500, Shandong, China; 2. Key Laboratory of Marine Ecological Restoration, Shandong Marine Resources and Environment Research Institute, Yantai 264006, Shandong, China)

Abstract: A 64-day feeding trial was conducted to evaluate the effects of supplemental sacchariterpenin in diets on body composition, activity of intestinal enzymes, blood lipid and intestinal histology of juvenile turbot, *Scophthalmus maximus*. Six isotrogenous and isolipidic practical diets were supplemented with six levels of sacchariterpenin, in which 0 (D_0), 25 (D_{25}), 50 (D_{50}), 75 (D_{75}), 100 (D_{100}), 200 (D_{200}) mg/kg sacchariterpenin were supplemented respectively. Results showed that: No significant difference was found in the moisture content and crude protein of whole fish and dorsal muscle ($P > 0.05$). Crude lipid content of whole fish in D_{100} and D_{200} was significantly lower than that in D_0 group ($P < 0.05$). Crude lipid content of dorsal muscle in D_{75} was significantly higher than D_0 group ($P < 0.05$). Crude ash of whole fish in D_{25} and D_{50} groups was significantly lower than that in other groups ($P < 0.05$), and D_{200} group was significantly higher than D_{25} , D_{50} and D_{75} groups ($P < 0.05$). Saturated fatty acid content and monounsaturated fatty acid content of dorsal muscle had no significant difference in each group with the increasing dietary sacchariterpenin ($P > 0.05$). Except D_{75} group, other groups of polyunsaturated fatty acid content were significantly higher than D_0 group ($P < 0.05$). Serum triglyceride and total-cholesterol concentration decreased with increasing dietary sacchariterpenin levels, but only D_{200} was significantly lower than D_0 group ($P < 0.05$). No significant difference was found in LDL-cholesterol concentration in all groups ($P > 0.05$). Trypsin activities of the intestine first increased significantly then declined as dietary sacchariterpenin level increased ($P < 0.05$). Lipase activities in D_{25} – D_{75} groups were significantly higher than other groups ($P <$

0.05). No-significant difference in the amylase activity of intestine was found between groups ($P > 0.05$). Microvilli length in D_{50} group exhibited obviously higher than D_0 group. Mucosal fold length of the foregut tissue showed a remarkable ascending trend from D_{25} to D_{75} group ($P < 0.05$). No-significant difference in intestinal villi length was observed from D_0 to D_{100} group ($P > 0.05$), however, D_{50} group was significantly higher than D_{200} group ($P < 0.05$). Therefore we can draw that sacchariterpenin addition can effectively increase polyunsaturated fatty acid content, decrease blood lipid, improve the digestive enzymes activities and intestinal histology of juvenile turbot.

Key words: *Scophthalmus maximus*; sacchariterpenin; body composition; blood lipid; activity of intestinal enzymes; intestinal histology

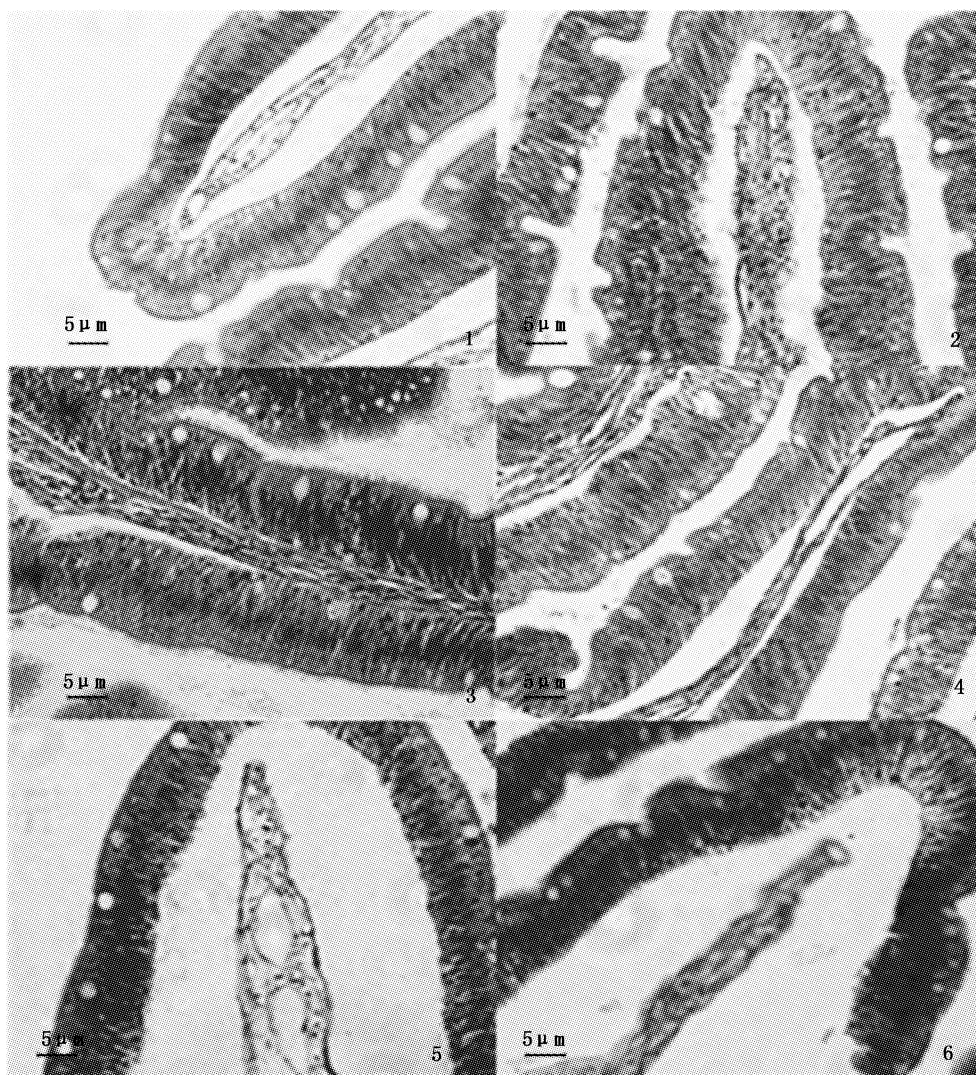


图版 I 饲料中添加糖萜素对大菱鲂幼鱼前肠形态结构的影响 (10 × 4)

Plate I Effects of dietary sacchariterpenin levels on intestinal morphology of juvenile turbot (10 × 4)

1. D_0 组肠道组织横切; 2. D_{25} 组肠道组织横切; 3. D_{50} 组肠道组织横切; 4. D_{75} 组肠道组织横切; 5. D_{100} 组肠道组织横切; 6. D_{200} 组肠道组织横切。

1. Transversal section of intestinal histology of juvenile turbot in D_0 group; 2. Transversal section of intestinal histology of juvenile turbot in D_{25} group; 3. Transversal section of intestinal histology of juvenile turbot in D_{50} groups; 4. Transversal section of intestinal histology of juvenile turbot in D_{75} group; 5. Transversal section of intestinal histology of juvenile turbot in D_{100} group; 6. Transversal section of intestinal histology of juvenile turbot in D_{200} group.



图版 II 饲料中添加糖萜素对大菱鲆幼鱼前肠皱襞形态结构的影响(10×40)

Plate II Effects of dietary sacchariterpenin levels on mucosal fold morphology of juvenile turbot (10×40)

1. D_0 组肠道皱襞形态结构; 2. D_{25} 组肠道皱襞形态结构; 3. D_{50} 组肠道皱襞形态结构; 4. D_{75} 组肠道皱襞形态结构; 5. D_{100} 组肠道皱襞形态结构; 6. D_{200} 组肠道皱襞形态结构。

1. Mucosal fold morphology of juvenile turbot in D_0 group; 2. Mucosal fold morphology of juvenile turbot in D_{25} group; 3. Mucosal fold morphology of juvenile turbot in D_{50} group; 4. Mucosal fold morphology of juvenile turbot in D_{75} group; 5. Mucosal fold morphology of juvenile turbot in D_{100} group; 6. Mucosal fold morphology of juvenile turbot in D_{200} group.