动物营养学报 2022,34(1):533-543
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2022.01.049

饲料中维生素 K_3 含量对大口黑鲈消化能力、血清代谢指标、肌肉氨基酸和脂肪酸组成的影响

魏　翔[1,2,3]　颜克涛[4]　戴宇峰[5]　华雪铭[1,2,3*]　李　向[1,2,3]　杭　莹[1,2,3]

(1.上海海洋大学,农业农村部鱼类营养与环境生态研究中心,上海 201306;2.上海海洋大学,农业农村部淡水水产种质资源重点实验室,上海 201306;3.上海海洋大学,水产科学国家级实验教学示范中心,上海 201306;4.王屋水库管理所,龙口 265721;5.常州市天宁区郑陆畜牧兽医站,常州 213111)

摘　要: 为研究饲料中维生素 K_3 含量对大口黑鲈消化能力、血清代谢指标、肌肉氨基酸和脂肪酸组成的影响,在基础饲料中分别添加不同水平的维生素 K_3,配制成维生素 K_3 含量分别为0.78(K0 组)、5.80(K5 组)、10.82(K10 组)、15.84(K15 组)和 20.85 mg/kg(K20 组)的 5 种试验饲料,对初均重为(12.96±0.07) g 健康大口黑鲈幼鱼进行为期 8 周的饲养试验。结果表明:添加维生素 K_3 的各组胃和肠道的蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性均显著低于 K0 组($P<0.05$)。K10 组、K15 组和 K20 组的表观消化率和蛋白质表观消化率显著低于 K0 组($P<0.05$)。K20 组的血清尿素氮含量显著高于其他 4 组($P<0.05$),血清总蛋白、白蛋白、总胆固醇和甘油三酯含量在各组之间无显著差异($P>0.05$)。肌肉必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量以及必需氨基酸指数在各组之间无显著差异($P>0.05$),但是随着饲料中维生素 K_3 含量的增加,必需氨基酸和总氨基酸含量呈增加的趋势。K15 组的肌肉单不饱和脂肪酸含量显著高于其他 4 组($P<0.05$),其中 C16:1n7 和 C18:1n5 含量均较其他组显著升高($P<0.05$)。肌肉饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量在各组之间无显著差异($P>0.05$)。综上可知,饲料中添加维生素 K_3 可以改善大口黑鲈肌肉氨基酸组成,但当饲料中维生素 K_3 含量≥5.80 mg/kg 时会使大口黑鲈的消化能力下降,并且高剂量的维生素 K_3 会改变大口黑鲈的蛋白质和脂质代谢。

关键词: 大口黑鲈;维生素 K_3;消化;代谢;肌肉组成

中图分类号:S963　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1006-267X(2022)01-0533-11

维生素 K 是一种脂溶性维生素,是谷氨酰羧化酶(GGCX)羧化反应的辅助因子,GGCX 可以将维生素 K 依赖蛋白的谷氨酸残基(Glu)羧化为γ-羧基谷氨酸(Gla)[1]。维生素 K 促进凝血酶原(凝血因子Ⅱ)的合成,并调节其他 3 种凝血因子(凝血因子Ⅶ、Ⅸ和Ⅹ)的合成,从而促进凝血,因此又被称为凝血维生素。骨钙素(BGP)、基质 Gla 蛋白(MGP)和蛋白 S 是存在于骨骼内的维生素 K 依赖蛋白,所以维生素 K 对于骨骼的生长发育有积极的作用[2-3]。

维生素 K 从结构上来看有 3 种形式,它们共有甲萘醌基团。维生素 K_1 和维生素 K_2 是脂溶性维生素,在自然中本来就存在,维生素 K_3 是人工合成的水溶性维生素。维生素 K1 主要由绿色植物合成[4-5],维生素 K_2 主要由微生物合成[6]。维生素 K_2 具有一系列的形式,分子的侧链上有多个

收稿日期:2021-05-06

基金项目:水产动物遗传育种协同创新基金(D-8006-13-0025)

作者简介:魏　翔(1995—),男,江苏连云港人,硕士研究生,从事水产动物营养学研究。E-mail: 981820800@qq.com

* **通信作者:**华雪铭,教授,硕士生导师,E-mail: xmhua@shou.edu.cn

重复的异戊烯基单位,因此维生素 K_2 又被称为 MK-*n*,其中 *n* 表示异戊烯基单位数。目前在水产饲料中最常用的是维生素 K_3 的复合物,以亚硫酸氢钠甲萘醌(MSB)和亚硫酸烟酰胺甲萘醌(MNB)最为常见。已有研究证实,饲料中的维生素 K_3 需在体内转化为一种活性物质(MK-4)后发挥作用,主要储存在肝脏中[7-8]。

目前关于维生素 K 在水产动物上的研究主要集中在生理功能和需求量方面。由于水体环境复杂、物种不同、生长阶段等因素不同,不同水生动物对维生素 K 的需求量差异很大。鱼体摄入维生素 K 不足会导致组织出血和凝血时间延长等[9-11]。对底鳉(*Fundulus heteroclitus*)的研究表明,饲料中 MSB 缺乏或过量容易导致脊椎异常[12]。草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)[13]、异育银鲫(*Carassiusauratus gibelio*)[14]、奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)[15]、湖红点鲑(*Salvelinus namaycush*)[10]、石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)[15]、大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)[16]、中国对虾(*Penaeus chinensis*)[17]和斑节对虾(*Penaeus monodon*)[18]对维生素 K 的需求量已被确定分别为 1.9 mg/kg、3.73~6.72 mg/kg、5.2 mg/kg、0.5~1.0 mg/kg、10.6 mg/kg、10.42 mg/kg、185 mg/kg 和 30 mg/kg。而斑点叉尾鮰(*Ietalurus punetaus*)[19]、五条鲕(*Seriola quinqueradiata*)[20]和大西洋鲑(*Salmo salar* L.)[21],不需要在饲料中添加维生素 K 就可以满足生长和生理需求。

消化和代谢是动物机体内 2 个非常重要的过程。消化是指将食物溶解并降解为小分子化合物或元素,使其能够顺利通过肠壁并参与生理功能。代谢是生物体不断进行物质和能量交换的过程。已有研究表明在饲料中添加适量的维生素 K_3 可以增强建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)[22]消化酶活性和提高五龙鹅[23]的养分表观消化率,但是饲料中维生素 K_3 含量过高会引起松浦镜鲤(*Cyprinus carpio* L.)[24]血清尿素氮含量升高。消化及代谢的改变或影响营养物质在机体内的沉积,水产动物的肌肉氨基酸和脂肪酸作为肉质检测的重要指标,其组成不仅影响着水产动物本身的生命活动,还对人体必需氨基酸和必需脂肪酸的摄入有着很大的影响。维生素 K 是否对水产动物机体中氨基酸和脂肪酸的含量和组成产生影响,尚未见相关报道。

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)是一种淡水肉食性鱼类,近年来,因其生长快、耐低温、抗病性强、口感鲜美等优点在我国广受欢迎,2019 年大口黑鲈的养殖总产量已达 47.8 万 t[25]。目前虽围绕大口黑鲈营养素的需求量开展了大量的研究[26-34],但未见有关维生素 K 的研究报道。已知维生素 K 的主要作用有促进凝血和骨骼发育,笔者前期也发现饲料中添加适量的维生素 K_3 可以提高大口黑鲈的生长性能、血液凝血能力、钙含量和抗氧化能力[35],但是是否会对其他生命过程造成影响还不明确。为此,本研究探究维生素 K_3 对大口黑鲈幼鱼消化能力、血清代谢指标、肌肉氨基酸和脂肪酸组成的影响,为大口黑鲈饲料配方的优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

配制以鱼粉、豆粕、玉米蛋白粉和血粉为主要蛋白质源、鱼油和菜籽油为主要脂肪源的基础饲料(表 1)。为了控制维生素 K_3 含量,在基础饲料中添加不同水平的亚硫酸烟酰胺甲萘醌(MNB,纯度 96.33%,由浙江某饲料开发有限公司提供),同时减少沸石粉的用量,配制 5 种试验饲料,使得饲料中维生素 K_3 的含量分别为 0.78(K0 组)、5.80(K5 组)、10.82(K10 组)、15.84(K15 组)和 20.85 mg/kg(K20 组)。根据 GB 5009.158—2016 和 GB/T 18872—2017,通过高效液相色谱法测定 K0 组饲料中维生素 K_1 和维生素 K_3 的含量分别为 53.2 μg/kg 和 0.78 mg/kg。通过反相高效液相色谱法没有检测出 K0 组饲料中的维生素 K_2 含量[36]。以上各种维生素 K 的含量均委托河南海瑞正检测技术有限公司检测。

根据配方将各种原料称重后粉碎,过 60 目筛网,然后与鱼油、菜籽油和乌贼膏充分混匀,再加入水用制粒机制成颗粒料,在烘箱中 40 ℃干燥 12 h。干燥之后,将颗粒料储存在阴凉、干燥、通风良好的地方备用。

1.2 饲养管理

本试验在上海海洋大学滨海养殖基地进行,试验开始之前将水泥池和网箱进行消毒处理,每个水泥池内放置 4 个网箱(长×宽×高=1.8 m×0.7 m×0.8 m)。试验鱼购自浙江省湖州市,经过 2 周暂养适应试验条件,暂养期间使用购买的商品

料进行投喂。在正式试验开始前将暂养鱼饥饿处理 24 h,随机挑选 600 尾体质健康、规格均匀的大口黑鲈幼鱼[初均重(12.96±0.07) g]随机分成 5 组,每组 4 个重复,每个重复 30 尾,以重复为单位养殖于网箱。每天进行 2 次(08:00 和 16:00)表观饱食投喂,持续 8 周,记录每天的摄食量。当有大口黑鲈死亡,及时将鱼取出,计数并称重。在饲养期间,养殖水体 24 h 充气,不定期吸污、更换经过曝气的自来水,控制溶解氧浓度大于 5 mg/L、氨氮含量小于 0.5 mg/L、水温 28~31 ℃、pH 7.5~8.5。

表 1　基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients/(g/kg)	
鱼粉 Fish meal	450
豆粕 Soybean meal	110
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	110
血粉 Blood meal	50
α-淀粉 α-starch	100
鱼油 Fish oil	40
菜籽油 Rapeseed oil	20
大豆磷脂 Soyean lecithin	30
维生素预混料(不含维生素 K) Vitamin premix (without vitamin K)[1)]	5
矿物质预混料 Mineral premix[2)]	5
乌贼膏 Squid paste	10
氯化胆碱 Choline chloride	5
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	10
牛磺酸 Taurine	3
沸石粉 Zeolite powder	52
合计 Total	1 000
营养水平 Nutrient levels[3)]	
粗蛋白质 Crude protein/%	47.14
粗脂肪 Crude lipid/%	12.16
总能 Gross energy/(MJ/kg)	18.66
维生素 K_3 Vitamin K_3/(mg/kg)	0.78

1)维生素预混料(不含维生素 K)为每千克饲料干物质提供 Vitamin premix (without vitamin K) provided the following per kg of diet DM: VA 1 960 IU, VD_3 826 IU, VC 160 mg, VE 20 mg, VB_1 17.64 mg, VB_2 19 mg, VB_3 16 mg, VB_6 24 mg, VB_{12} 0.25 mg, VH 0.1 mg, 叶酸 folic acid 4.8 mg, 肌醇 inositol 190 mg。

2)矿物质预混料为每千克饲料干重提供 Mineral premix provided the following per kg of diet DM: Cu 1.9 mg, Zn 32.8 mg, Mn 5.9 mg, Fe 19.6 mg, I 1.98 mg, Se 0.35 mg, Co 0.30 mg, Mg 49.8 mg。

3)总能为计算值,其余为实测值。Gross energy was a calculated value, while the others were measured values.

1.3　样品采集

养殖试验结束后,试验鱼饥饿 24 h,每个重复随机选取 7 尾鱼,用 1 mL 注射器从尾静脉处取血,储存在离心管中,在 4 ℃下静置 24 h 后在 4 000 r/min转速下离心 10 min 获得的血清保存在 -20 ℃条件下,用于血清代谢指标的分析。取出内脏团后,剥离胃和肠道,并将肠道外围的脂肪和肠道内的残余粪便清理干净,用于消化酶活性的测定。取侧线以上的肌肉冷冻干燥至恒重,粉碎并密封用于肌肉氨基酸和脂肪酸组成分析。之后,对剩余的大口黑鲈投喂含有三氧化二钇(Y_2O_3,0.1 mg/g)的饲料(相应减少沸石粉的用量),每天投喂 1 h 后采集粪便,持续 2 周,用于表观消化率的测定。所有样品均在 -20 ℃条件下保存。

1.4　样品分析

取胃和肠道称重,置于 0.85 %生理盐水中冷冻匀浆(m/v=1:4),然后在 4 000 r/min、4 ℃条件下离心 10 min,取上清液在 12 h 内用于测定指标。血清解冻之后同样也在 12 h 内测定指标。采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒测定胃和肠道的淀粉酶、脂肪酶活性和血清代谢指标,用福林法(GB/T 23527—2009)测定胃和肠道蛋白酶活性。以上指标均通过 UV-3200 紫外分光光度计测定。

采用电感耦合等离子体质谱法(GB 5009.268—2016)测定粪便中 Y_2O_3 的含量:将粪便经冷冻干燥后使用微波消解法消解后,使用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP,美国)测定粪便中 Y_2O_3 的含量。用凯氏定氮法(GB/T 6432—1994)测定粪便粗蛋白质含量,用于表观消化率和蛋白质表观消化率的计算。

采用酸水解法测定肌肉氨基酸组成:称量肌肉干物质,加 6 mol/L 盐酸溶液在 110 ℃条件下水解 24 h。水解完后,取 1 mL 水解液于进样瓶中在氨基酸自动分析仪(S-433D,德国)上分析。

采用氯仿-甲醇法提取肌肉总脂,甲酯化后,使用气相色谱仪(7890A,美国)联合质谱仪(5975A,美国)分析脂肪酸组,根据脂肪酸标准品的分析图谱、保留时间以及质谱分析对脂肪酸进行定性和定量分析。

1.5　计算公式

表观消化率(%)=(1-饲料中 Y_2O_3

含量/粪便中 Y_2O_3 含量)×100;

粗蛋白质表观消化率(%)=[1-(粪便中粗蛋白质含量×饲料中 Y_2O_3 含量)/(饲料中粗蛋白质含量×粪便中 Y_2O_3 含量)]×100;

必需氨基酸指数($EAAI$)=($A/AE\times B/BE\times\cdots\cdots\times I/IE$)$^{(1/n)}$。

式中:n 为必需氨基酸数量;A,B,…,I 为大口黑鲈肌肉中必需氨基酸含量;AE,BE,…,IE 为全鸡蛋蛋白质中必需氨基酸含量[37]。

1.6 数据统计分析

所有数据均采用 SPSS 17.0 软件的单因素方差分析(one-way ANOVA)程序进行分析,以平均值±标准差(mean±SD)表示。当方差分析确定组间差异显著时,则用 Duncan 氏法进行多重比较,显著性水平为 $P<0.05$。

2 结 果

2.1 饲料中维生素 K_3 含量对大口黑鲈消化能力的影响

由表 2 可以看出,添加维生素 K_3 的各组胃和肠道的蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性均显著低于未添加维生素 K_3 的 K0 组($P<0.05$)。K10 组、K15 组和 K20 组的表观消化率和蛋白质表观消化率显著低于 K0 组($P<0.05$)。

表 2 饲料中维生素 K_3 含量对大口黑鲈消化能力的影响

Table 2 Effects of dietary vitamin K_3 content on digestive ability of largemouth bass

项目 Items	组别 Groups				
	K0	K5	K10	K15	K20
胃 Stomach					
蛋白酶 Protease/(U/mg prot)	55.65±1.41^{c}	39.70±0.64^{b}	33.54±0.89^{a}	33.76±2.45^{a}	32.97±1.04^{a}
淀粉酶 Amylase/(U/mg prot)	0.84±0.03^{c}	0.55±0.01^{b}	0.27±0.00^{a}	0.29±0.02^{a}	0.28±0.01^{a}
脂肪酶 Lipase/(U/g prot)	19.98±1.48^{b}	11.03±1.80^{a}	10.44±1.64^{a}	11.22±1.31^{a}	10.15±0.49^{a}
肠道 Intestine					
蛋白酶 Protease/(U/mg prot)	2.87±0.06^{b}	1.34±0.07^{a}	1.35±0.02^{a}	1.32±0.02^{a}	1.35±0.06^{a}
淀粉酶 Amylase/(U/mg prot)	0.55±0.04^{b}	0.32±0.02^{a}	0.32±0.02^{a}	0.33±0.02^{a}	0.35±0.02^{a}
脂肪酶 Lipase/(U/g prot)	11.04±0.57^{b}	6.17±0.76^{a}	5.54±0.54^{a}	6.26±0.47^{a}	6.11±0.33^{a}
表观消化率 Apparent digestibility/%	88.89±0.26^{b}	86.94±1.56^{b}	81.35±3.66^{a}	82.88±0.63^{a}	82.47±1.19^{a}
蛋白质表观消化率 Apparent digestibility of protein/%	96.47±0.08^{c}	95.24±0.57^{bc}	93.36±1.35^{a}	93.99±0.22^{ab}	93.57±0.44^{a}

2.2 饲料中维生素 K_3 含量对大口黑鲈血清代谢指标的影响

由表 3 可以看出,K20 组血清尿素氮含量显著高于其他 4 组($P<0.05$),5 组间血清总蛋白、白蛋白、总胆固醇和甘油三酯含量无显著差异($P>0.05$)。

表 3 饲料中维生素 K_3 含量对大口黑鲈血清代谢指标的影响

Table 3 Effects of dietary vitamin K_3 content on serum metabolism indexes of largemouth bass

项目 Items	组别 Groups				
	K0	K5	K10	K15	K20
总蛋白 Total protein/(g/L)	18.19±0.83	18.53±2.70	19.29±1.96	18.87±2.67	19.38±2.50
白蛋白 Albumin/(g/L)	18.33±0.87	19.55±3.61	20.09±1.19	18.68±0.62	17.77±2.51
尿素氮 Urea nitrogen/(mmol/L)	3.88±0.23^{a}	4.01±0.19^{a}	4.07±0.39^{a}	3.96±0.44^{a}	7.79±0.30^{b}
总胆固醇 Total cholesterol/(mmol/L)	9.03±0.17	8.88±0.33	8.93±0.33	8.90±0.34	9.17±1.17
甘油三酯 Triglyceride/(mmol/L)	2.52±0.21	2.37±0.07	2.44±0.04	2.48±0.10	2.43±0.11

2.3 饲料中维生素 K_3 含量对大口黑鲈肌肉氨基酸和脂肪酸组成的影响

在大口黑鲈肌肉中共检测出 17 种氨基酸,其中必需氨基酸 9 种,非必需氨基酸 8 种,色氨酸未检测。由表 4 可知,必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量及必需氨基酸指数在各组之间无显

著差异($P>0.05$),但是随着饲料中维生素 K_3 含量的增加,必需氨基酸和总氨基酸含量呈增加的趋势。K0 组苏氨酸、异亮氨酸和亮氨酸含量显著低于其他 4 组($P<0.05$)。

表 4　饲料中维生素 K_3 含量对大口黑鲈肌肉氨基酸组成的影响(湿重基础)

Table 4　Effects of dietary vitamin K_3 content on amino acid composition of largemouth bass (wet weight basis)　　g/kg

项目 Items	组别 Groups				
	K0	K5	K10	K15	K20
苏氨酸 Thr	8.8±0.2^{a}	9.1±0.1^{b}	9.2±0.0^{b}	9.2±0.2^{b}	9.2±0.0^{b}
缬氨酸 Val	10.2±0.4	9.6±1.0	9.8±0.3	9.7±0.2	9.8±0.1
蛋氨酸 Met	5.0±0.1^{b}	4.7±0.1^{ab}	4.6±0.1^{a}	4.5±0.3^{a}	5.0±0.2^{b}
异亮氨酸 Ile	8.4±0.0^{a}	10.0±0.4^{b}	9.7±0.6^{b}	9.8±0.3^{b}	10.0±0.1^{b}
亮氨酸 Leu	14.6±0.3^{a}	16.4±0.4^{b}	16.1±0.6^{b}	16.3±0.3^{b}	16.3±0.2^{b}
苯丙氨酸 Phe	8.5±0.5	8.3±0.3	7.8±1.0	8.4±0.3	8.7±0.2
组氨酸 His	6.0±0.0^{c}	5.1±0.4^{a}	5.6±0.2^{b}	5.2±0.2^{a}	5.3±0.1^{ab}
赖氨酸 Lys	16.7±0.4	16.4±0.5	17.0±0.6	16.7±0.4	16.7±0.4
精氨酸 Arg	10.9±0.5^{b}	10.1±0.4^{a}	10.5±0.5^{ab}	10.3±0.1^{ab}	10.2±0.1^{ab}
总必需氨基酸 TEAA	89.1±0.7	89.6±2.9	90.2±1.1	90.2±1.9	91.2±0.8
必需氨基酸指数 EAAI	1.56±0.01	1.55±0.05	1.56±0.02	1.56±0.03	1.59±0.01
天冬氨酸 Asp	18.7±0.5	18.8±0.3	19.1±0.3	18.6±0.7	18.6±0.4
丝氨酸 Ser	7.9±0.3	8.0±0.2	7.7±0.9	8.1±0.1	8.2±0.1
谷氨酸 Glu	28.2±0.5	27.0±1.5	27.5±0.6	28.1±0.7	27.9±0.7
甘氨酸 Gly	9.8±0.2	10.0±0.5	10.2±0.1	10.3±0.1	9.8±0.1
丙氨酸 Ala	12.2±0.8	12.6±0.9	13.0±0.3	13.2±0.1	13.1±0.3
半胱氨酸 Cys	1.5±0.3	1.1±0.2	1.2±0.1	1.1±0.2	1.3±0.4
酪氨酸 Tyr	5.7±0.5^{ab}	6.1±0.3^{ab}	5.7±0.2^{a}	6.1±0.1^{ab}	6.5±0.8^{b}
脯氨酸 Pro	6.0±0.6	5.3±0.5	5.8±0.8	5.2±0.6	5.4±0.5
总非必需氨基酸 TNEAA	90.2±1.4	88.8±2.3	90.2±0.4	90.7±1.4	90.9±0.5
总氨基酸 TAA	179.3±1.8	178.4±2.7	180.4±1.1	180.9±3.2	182.1±0.7

在大口黑鲈肌肉中共检测出 15 种脂肪酸,其中饱和脂肪酸 5 种,单不饱和脂肪 4 种酸,多不饱和脂肪酸 6 种。由表 5 可以看出,K15 组的单不饱和脂肪酸含量显著高于其他4组($P<0.05$),其中 C16:1n7 和 C18:1n5 的含量均显著高于其他 4 组($P<0.05$)。饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量在各组之间无显著差异($P>0.05$)。

表 5　饲料中维生素 K_3 含量对大口黑鲈肌肉脂肪酸组成的影响(湿重基础)

Table 5　Effects of dietary vitamin K_3 content on fatty acid composition of largemouth bass (wet weight basis)　　mg/g

项目 Items	组别 Groups				
	K0	K5	K10	K15	K20
C14:0	0.11±0.01	0.11±0.02	0.10±0.01	0.12±0.01	0.12±0.01
C15:0	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00
C16:0	1.44±0.07	1.41±0.19	1.37±0.06	1.48±0.07	1.45±0.07
C17:0	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.01	0.02±0.00	0.02±0.01
C18:0	0.19±0.01	0.19±0.03	0.18±0.01	0.19±0.02	0.19±0.01
ΣSFA	1.78±0.09	1.74±0.24	1.68±0.08	1.84±0.10	1.78±0.10
C16:1n7	0.34±0.03^{a}	0.35±0.04^{a}	0.34±0.02^{a}	0.44±0.03^{c}	0.40±0.02^{b}

续表 5

项目 Items	组别 Groups				
	K0	K5	K10	K15	K20
C18:1n5	1.86±0.10[a]	1.80±0.22[a]	1.82±0.12[a]	2.19±0.11[b]	1.97±0.11[a]
C18:1n9	0.03±0.00	0.03±0.00	0.02±0.00	0.03±0.01	0.03±0.00
C20:1n7	0.05±0.00	0.05±0.01	0.05±0.00	0.06±0.00	0.06±0.00
ΣMUFA	2.28±0.13[a]	2.23±0.27[a]	2.23±0.15[a]	2.72±0.14[b]	2.46±0.13[a]
C18:2n6	1.02±0.09	0.97±0.12	0.97±0.04	1.00±0.03	1.01±0.06
C18:3n3	0.10±0.01	0.09±0.02	0.09±0.01	0.09±0.01	0.10±0.00
C20:4n6	0.03±0.00	0.03±0.00	0.02±0.00	0.03±0.00	0.02±0.01
C20:5n3	0.04±0.00	0.04±0.01	0.04±0.00	0.04±0.00	0.04±0.01
C22:5n6	0.06±0.00	0.05±0.00	0.05±0.00	0.05±0.00	0.05±0.01
C22:6n3	0.77±0.08	0.75±0.16	0.72±0.01	0.81±0.13	0.71±0.04
ΣPUFA	2.01±0.18	1.93±0.29	1.90±0.07	2.02±0.12	1.94±0.11

SFA:饱和脂肪酸 saturated fatty acids;MUFA:单不饱和脂肪酸 monounsaturated fatty acids;PUFA:多不饱和脂肪酸 polyunsaturated fatty acids。

3 讨 论

3.1 饲料中维生素 K_3 含量对大口黑鲈消化能力的影响

饲料利用效率取决于鱼的消化和吸收能力[38],消化能力与消化酶的活性密切相关,包括蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶[39]。已有研究表明,维生素 K_3 能够促进畜禽肠道蠕动和分泌,进而促进动物的消化吸收[40],但是在水产动物中鲜有此方面的报道。本试验结果表明,饲料中添加维生素 K_3 后,大口黑鲈的消化酶活性均显著降低,表观消化率和蛋白质表观消化率也有同样的结果。但是 Yuan 等[22]研究发现,适量的维生素 K 能够显著增强建鲤肝胰脏和肠道的消化酶活性,提高前肠的胆囊收缩素含量,并且认为消化酶活性的提高可能与胆囊收缩素有关。在大西洋鲑的研究中也发现胆囊收缩素能够促进大西洋鲑胰蛋白酶和糜蛋白酶的分泌[41]。吕梅等[23]研究发现适量的维生素 K_3 可以显著提高五龙鹅的表观消化率。Yuan 等[22]还发现维生素 K 可能促进肠道的生长发育,提高肠道刷状缘酶活性,提高建鲤的吸收能力。本课题组前期研究发现添加维生素 K_3 的试验组肠体比显著高于对照组[35],推测维生素 K_3 可以通过延长消化时间的方法帮助大口黑鲈吸收足够的营养;相反,对照组的肠体比显著低于试验组,可能会导致鱼体消化能力不足,需要通过其他途径,如提高消化酶的活性,使机体的营养水平满足生长发育的需求。但无论是改变肠长还是消化酶活性,添加维生素 K_3 均降低了机体对营养物质的消化吸收率,这是否与机体的整体代谢率下降有关,还有待验证。

3.2 饲料中维生素 K_3 含量对大口黑鲈血清代谢指标的影响

肝脏是维生素 K 代谢的主要部位,维生素 K 的羧化作用是在肝脏中完成的。饲料中维生素 K 的含量可能会影响肝脏的消化、合成、储存和解毒功能[24]。血清总蛋白、白蛋白和尿素氮含量是反映蛋白质代谢的重要指标,血清中总蛋白和白蛋白含量低表明水生生物营养不良,蛋白质代谢状态不佳[42-43]。动物血清中 90%~95%的蛋白质在肝脏中合成,血清总蛋白含量可以作反映为动物肝脏合成蛋白质能力的一个指标,当肝功能严重受损时,蛋白质的合成效率会降低,尤其是白蛋白。仅当肝脏病变到一定程度之后,血清中的白蛋白含量才会出现显著差异[44]。在本研究中,血清总蛋白和白蛋白含量在各组间无显著差异,这一结果与王洋等[24]对松浦镜鲤的研究结果一致。氨和尿素是蛋白质代谢的终产物,大多数鱼类是排氨动物,而形成尿素不仅有助于解除氨的毒性,还可以降低体内由三羧酸循环产生的二氧化碳溶于血液所产生的酸性。本试验中,K20 组血清尿素氮含量显著高于其他 4 组,可能是机体的一种自我保护机制,也可能是由尿素氮排泄不畅导致的。Chiou 等[45]给小鼠注射高剂量的维生素 K,

当注射量≥25 mg/kg 时,小鼠肾脏出现颗粒变性的现象。当饲料中维生素 K_3 含量高达 1 000~2 500 mg/kg,会对马的肾脏造成损伤[46]。由此推测,饲料中维生素 K_3 含量过高可能会引起大口黑鲈肾脏受损,从而导致血清尿素氮含量增加。王洋等[24]对松浦镜鲤的研究也发现,当饲料中维生素 K_3 含量过高时,血清尿素氮含量显著增加,是其他组含量的 2~3 倍。血清总胆固醇和甘油三酯是血清脂质的重要成分,两者都可以作为体内脂质代谢的指标。在本研究中,血清总胆固醇和甘油三酯含量各组间均无显著差异,说明维生素 K_3 对血脂代谢的影响较小,具体机制有待进一步研究。

3.3　饲料中添加维生素 K_3 对大口黑鲈肌肉氨基酸和脂肪酸组成的影响

人体必须从食物中获取赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和缬氨酸等 8 种必需氨基酸,来满足人体新陈代谢的需求[47]。在本研究中,大口黑鲈摄食添加不同水平维生素 K_3 的饲料,肌肉苏氨酸、亮氨酸和异亮氨酸含量均显著增加,更能满足人体对这 3 种必需氨基酸的需求;与此同时,随着饲料中维生素 K_3 含量的增加,肌肉组氨酸、精氨酸和酪氨酸含量有降低的趋势,但必需氨基酸和总氨基酸含量均有增长的趋势,说明维生素 K_3 对肌肉氨基酸组成有一定程度的改善效果;5 组之间必需氨基酸指数没有显著差异,且均大于 0.95[48],说明大口黑鲈属于优质蛋白质食物。水产动物的肌肉富含脂肪酸,是人类获取脂肪酸的重要来源。脂肪酸中的不饱和脂肪酸对人体的身体健康以及生理功能有着极为重要的作用[49]。在本研究中,投喂含有 15.84 mg/kg维生素 K_3 的饲料,可以有效促进大口黑鲈肌肉中 C16:1n7 和 C18:1n5 含量的提升。C16:1n7 可以帮助人体控制体重,改善皮肤状况,预防动脉粥样硬化等[50],但是 C18:1n5 可能会使心血管疾病的发病率增加[51]。C22:6n3(DHA)具有辅助人体脑细胞发育、改善血液循环等功能,虽然其含量在各组间无显著差异,但是 K15 组的肌肉 DHA 含量高于其他组。综上所述,饲料中添加适量的维生素 K_3 对于大口黑鲈的肌肉氨基酸组成具有积极的改善作用。笔者前期研究发现,添加维生素 K_3 的各试验组大口黑鲈的终末体重(44.01~47.46 g)均大于对照组(43.37 g)[35];对草鱼的研究也得出了类似的结果[52-54]。上述结果表明肌肉氨基酸组成与体重有关,也间接证明氨基酸在促进鱼体生长方面发挥着重要作用。不过,关于维生素 K_3 对大口黑鲈氨基酸和脂肪酸组成影响的具体机制还不明确。

4　结　论

饲料中添加维生素 K_3 对大口黑鲈的肌肉氨基酸组成具有积极的改善效果,当饲料中维生素 K_3 含量≥5.80 mg/kg 时使大口黑鲈的消化能力下降,并且高剂量的维生素 K_3 会使蛋白质和脂质相关代谢发生改变。

参考文献:

[1] BOOTH S L. Roles for vitamin K beyond coagulation [J]. Annual Review of Nutrition, 2009, 29: 89-110.

[2] FERLAND G. The vitamin K-dependent proteins: an update [J]. Nutrition Reviews, 1998, 56(8): 223-230.

[3] VERMEER C, JIE K S, KNAPEN M H. Role of vitamin K in bone metabolism [J]. Annual Review of Nutrition, 1995, 15: 1-22.

[4] SHEARER M J. Vitamin K [J]. The Lancet, 1995, 345(8944): 229-234.

[5] STAFFORD D W. The vitamin K cycle [J]. Journal of Thrombosis and Haemostasis, 2005, 3(8): 1873-1878.

[6] GROFF J L, GROPPER S S. Vitamin K [M]// GROFF J L, GROPPER S S. Advanced nutrition and human metabolism. 3rd ed. [S.l.]: Wadsworth, 1999: 351-358.

[7] UDAGAWA M, NAKAZOE J I, MURAI T. Tissue distribution of phylloquinone and menaquinone-4 in sardine, *Sardinops melanostictus* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, 1993, 106(2): 297-301.

[8] GRAHL-MADSEN E, LIE Ø. Effects of different levels of vitamin K in diets for cod (*Gadus morhua*) [J]. Aquaculture, 1997, 151(1/2/3/4): 269-274.

[9] HALVER J E. The vitamins [M]//Fish nutrition. New York: Academic Press, 1989: 31-109.

[10] POSTON H A. Relative effect of two dietary water-soluble analogues of menaquinone on coagulation and packed cell volume of blood of lake trout (*Salvelinus namaycush*) [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1976, 33(8): 1791-1793.

[11] TAVEEKIJAKARN P, MIYAZAKI T, MATSUMO-

TO M, et al. Studies on vitamin K deficiency in amago salmon, *Oncorhynchus rhodurus* (Jordan & McGregor)[J]. Journal of Fish Diseases, 1996, 19(13): 209-214.

[12] UDAGAWA M. The effect of dietary vitamin K (phylloquinone and menadione) levels on the vertebral formation in mummichog *Fundulus heteroclitus*[J]. Fisheries Science, 2001, 67(1): 104-109.

[13] 蒋明,王卫民,文华,等.维生素 K_3 对草鱼生长、体成分和凝血时间的影响[J].淡水渔业,2007,37(2):61-64.
JIANG M, WANG W M, WEN H, et al. Effects of dietary vitamin K_3 on growth, carcass composition and blood coagulation time for grass carp fingerling (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Freshwater Fisheries, 2007, 37(2): 61-64. (in Chinese)

[14] 段元慧,朱晓鸣,韩冬,等.异育银鲫幼鱼对饲料中维生素 K 需求的研究[J].水生生物学报,2013,37(1):8-15.
DUAN Y H, ZHU X M, HAN D, et al. Dietary vitamin K requirement of juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(1): 8-15. (in Chinese)

[15] 李贞仪.吴郭鱼稚鱼与石斑鱼稚鱼对维生素 K 最适需求量之探讨[D].硕士学位论文.基隆:台湾海洋大学,2003.
LI Z Y. Vitamin K requirements of juvenile hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*) and grouper (*Epinephelus malabaricus*)[D]. Master's Thesis. Keelung City: National Taiwan Ocean University, 2003. (in Chinese)

[16] CHENG L, ZHANG W B, LIN S Q, et al. Effects of dietary vitamin K on growth performances, blood coagulation time and menaquinone-4 (MK-4) concentration in tissues of juvenile large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*[J]. Aquaculture Research, 2015, 46(5): 1269-1275.

[17] SHIAU S Y, LIU J S. Estimation of the dietary vitamin K requirement of juvenile *Penaeus chinensis* using menadione[J]. Aquaculture, 1994, 126(1/2): 129-135.

[18] SHIAU S Y, LIU J S. Quantifying the vitamin K requirement of juvenile marine shrimp (*Penaeus monodon*) with menadione[J]. Journal of Nutrition, 1994, 124(2): 277-282.

[19] MURAI T, ANDREWS J W. Vitamin K and anticoagulant relationships in catfish diets[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1977, 43(7): 785-794.

[20] SHIMENOS. Yellowtail, *Seriola quinqueradiata*[M]. Handbook of Nutrient Requirements of Finfish, [S. l.]: [s.n.] 1991: 181-191.

[21] KROSSØY C, WAAGBØ R, FJELLDAL P G, et al. Dietary menadione nicotinamide bisulphite (vitamin K_3) does not affect growth or bone health in first-feeding fry of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. Aquaculture Nutrition, 2009, 15(6): 638-649.

[22] YUAN J, FENG L, JIANG W D, et al. Effects of dietary vitamin K levels on growth performance, enzyme activities and antioxidant status in the hepatopancreas and intestine of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian)[J]. Aquaculture Nutrition, 2016, 22(2): 352-366.

[23] 吕梅,王宝维,殷太岳,等.维生素 K_3 对五龙鹅生长性能、屠宰性能及养分表观利用率的影响[J].动物营养学报,2016,28(9):2733-2741.
LYU M, WANG B W, YIN T Y, et al. Effects of vitamin K_3 on growth performance, slaughter performance and nutrient apparent availability of *Wulong* geese[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(9): 2733-2741. (in Chinese)

[24] 王洋,徐奇友,王常安.维生素 K_3 对松浦镜鲤幼鱼血清生化指标的影响[J].吉林农业大学学报,2013,35(4):490-495.
WANG Y, XU Q Y, WANG C A. Effects of vitamin K_3 on serum biochemical indexes of fingerling *Songpu* mirror carp[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2013, 35(4): 490-495. (in Chinese)

[25] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会.中国渔业统计年鉴 2020[M].北京:中国农业出版社,2020.
Fishery Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Areas, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2020[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020. (in Chinese)

[26] ANDERSON R J, KIENHOLZ E W, FLICKINGER S A. Protein requirements of smallmouth bass and largemouth bass[J]. The Journal of Nutrition, 1981, 111(6): 1085-1097.

[27] BRIGHT L A, COYLE S D, TIDWELL J H. Effect of dietary lipid level and protein energy ratio on growth and body composition of largemouth bass *Micropterus salmoides*[J]. Journal of the World Aquaculture Soci-

ety,2005,36(1):129-134.

[28] 陈乃松,马建忠,周恒永,等.大口黑鲈对饲料中蛋氨酸需求量的评定[J].水产学报,2010,34(8):1244-1253.
CHEN N S,MA J Z,ZHOU H Y,et al.Assessment of dietary methionine requirement in largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J].Journal of Fisheries of China,2010,34(8):1244-1253.(in Chinese)

[29] CHEN Y J,YUAN R M,LIU Y J,et al.Dietary vitamin C requirement and its effects on tissue antioxidant capacity of juvenile largemouth bass,*Micropterus salmoides*[J].Aquaculture,2015,435:431-436.

[30] DAIRIKI J K,DOS SANTOS DIAS C T,CYRINO J E P.Lysine requirements of largemouth bass,*Micropterus salmoides*:a comparison of methods of analysis of dose-response trials data[J].Journal of Applied Aquaculture,2007,19(4):1-27.

[31] LI S L,LIAN X Y,CHEN N S,et al.Effects of dietary vitamin E level on growth performance, feed utilization,antioxidant capacity and nonspecific immunity of largemouth bass,*Micropterus salmoides*[J].Aquaculture Nutrition,2018,24(6):1679-1688.

[32] 连雪原,陈乃松,王孟乐,等.大口黑鲈维生素 A 需求量[J].动物营养学报,2017,29(10):3819-3830.
LIAN X Y,CHEN N S,WANG M L,et al.Dietary vitamin a requirement of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J].Chinese Journal of Animal Nutrition,2017,29(10):3819-3830.(in Chinese)

[33] ZHOU H,CHEN N,QIU X,et al.Arginine requirement and effect of arginine intake on immunity in largemouth bass,*Micropterus salmoides*[J].Aquaculture Nutrition,2012,18(1):107-116.

[34] ZHU Y,CHEN Y J,LIU Y J,et al.Effect of dietary selenium level on growth performance, body composition and hepatic glutathione peroxidase activities of largemouth bass *Micropterus salmoide*[J].Aquaculture Research,2012,43(11):1660-1668.

[35] WEI X,HANG Y,LI X,et al.Effects of dietary vitamin K_3 levels on growth, coagulation, calcium content,and antioxidant capacity in largemouth bass,Micropterus salmoides[J].Aquaculture and Fisheries,2021,https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.08.004.

[36] 木晓云,董跃伟,温晓江,等.反相高效液相色谱法测定维生素 K_2 软胶囊中 K_2(20)含量[J].分析试验室,2009,28(增刊 1):33-35.
MU X Y,DONG Y W,WEN X J,et al.The content of vitamin K_2(20) in vitamin K_2 soft capsule was determined by RP-HPLC[J].Chinese Journal of Analysis Laboratory,2009,28(S1):33-35.(in Chinese)

[37] 杨月欣,中国疾病预防控制中心营养与健康所.中国食物成分表[M].6 版.北京:北京大学医学出版社,2019:218-219.
YANG Y X, National Institute for Nutrition and Health Chinese Center for Disease Control and Prevention.China food composition tables[M].6th ed.Beijing:Peking University Medical Press,2019:218-219.(in Chinese)

[38] GARCÍA-GASCA A,GALAVIZ M A,GUTIÉRREZ J N,et al.Development of the digestive tract,trypsin activity and gene expression in eggs and larvae of the bullseye puffer fish *Sphoeroides annulatus*[J].Aquaculture,2006,251(2/4):366-376.

[39] LIN Y,XIAO Q Z.Dietary glutamine supplementation improves structure and function of intestine of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian)[J].Aquaculture,2006,256(1/4):389-394.

[40] 刘朝明,吴彩霞,李和平.维生素 K 在畜牧业中的应用[J].农家科技,2011(7):40.
LIU Z M,WU C X,LI H P.Application of vitamin K in animal husbandry[J].Farmer science and technology,2011(7):40.(in Chinese)

[41] EINARSSON S,DAVIES P S,TALBOT C.Effect of exogenous cholecystokinin on the discharge of the gallbladder and the secretion of trypsin and chymotrypsin from the pancreas of the Atlantic salmon,*Salmo salar* L[J].Comparative Biochemistry and Physiology, Part C:Pharmacology,Toxicology & Endocrinology,1997,117(1):63-67.

[42] 刘艳丰,唐淑珍,张文举,等.沙棘叶黄酮对阿勒泰羊生长性能、屠宰性能和血清生化指标的影响[J].畜牧兽医学报,2014,45(12):1981-1987.
LIU Y F,TANG S Z,ZHANG W J,et al.Effects of flavonoids of sea buckthorn leaves on growth performance,slaughter performance and serum biochemical indexes of Altay sheep[J].Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica,2014,45(12):1981-1987.(in Chinese)

[43] 占今舜,杨群,钟小军,等.不同精粗比饲粮对湖羊肉品质、血液指标和肠道发育的影响[J].草业科学,2019,36(12):3166-3174.
ZHAN J S,YANG Q,ZHONG X J,et al.Effects of total mixed rations with different concentration-roughage ratios on meat quality,serum indices,and intestinal tract development in *Hu* sheep[J].Pratacultural Science,2019,36(12):3166-3174.(in Chinese)

[44] 罗云.联合检测血清总胆汁酸和前清蛋白在肝脏疾病诊断中的应用[J].重庆医学,2007,36(12):1167-1168,1170.
LUO Y. Application of combined detection of serum total bile acids and prealbumin in diagnosis of liver diseases[J]. Chongqing Medicine, 2007, 36(12): 1167-1168,1170.(in Chinese)

[45] CHIOU T J,ZHANG J,FERRANS V J,et al.Cardiac and renal toxicity of menadione in rat[J].Toxicology,1997,124(3):193-202.

[46] REBHUN W C,TENNANT B C,DILL S G,et al.Vitamin K_3-induced renal toxicosis in the horse[J].Journal of the American Veterinary Medical Association,1984,184(10):1237-1239.

[47] 王小生.必需氨基酸对人体健康的影响[J].中国食物与营养,2005(7):48-49.
WANG X S.Effects of essential amino acids in food on human body health[J].Food and Nutrition in China,2005(7):48-49.(in Chinese)

[48] 冯东勋.利用必需氨基酸指数(EAAI)评价新饲料蛋白源[J].中国饲料,1997(7):10-13.
FENG D X.The essential amino acid index (EAAI) was used to evaluate the protein source of neologous compounds[J]. China Feed, 1997(7): 10-13.(in Chinese)

[49] ÇELIK M, DILER A, KÜÇÜKGÜLMEZ A. A comparison of the proximate compositions and fatty acid profiles of zander (*Sander lucioperca*) from two different regions and climatic conditions[J].Food Chemistry,2005,92(4):637-641.

[50] 夏琛,崔心禹,项婷,等.棕榈油酸功能的研究进展[J].中国油脂,2020,45(2):39-43.
XIA C, CUI X Y, XIANG T, et al. Progress in the function of palmitoleic acid[J].China Oils and Fats, 2020,45(2):39-43.(in Chinese)

[51] 陈哲,朱帅伟,马立威,等.反式油酸对H9c2心肌细胞增殖抑制及诱导凋亡作用的研究[J].中国药学杂志,2020,55(3):199-205.
CHEN Z,ZHU S W,MA L W,et al.Effect of trans-oleic acid on proliferation inhibition and apoptosis induction in H9c2 cardiomyocyte[J].Chinese Pharmaceutical Journal,2020,55(3):199-205.(in Chinese)

[52] 李昌伟,韦君,韦玲静,等.投喂蚕豆对官垌草鱼生长性能和肌肉氨基酸、脂肪酸含量的影响[J].广西畜牧兽医,2019,35(2):51-54.
LI C W,WEI J,WEI L J,et al.Effects of broad bean feeding on growth performance and muscle amino acid and fatty acid contents of *Guandong* grass carp[J]. Guangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2019,35(2):51-54.(in Chinese)

[53] 李乃顺,冷向军,李小勤,等.绿原酸对草鱼鱼种生长、非特异性免疫和肉质的影响[J].水生生物学报,2014,38(4):619-626.
LI N S,LENG X J,LI X Q,et al.The effects of chlorogenic acid on the growth, non-specific immune index and the meat quality of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J].Acta Hydrobiologica Sinica,2014,38(4):619-626.(in Chinese)

[54] 冷向军,孟晓林,李家乐,等.杜仲叶对草鱼生长、血清非特异性免疫指标和肉质影响的初步研究[J].水产学报,2008,32(3):434-440.
LENG X J,MENG X L,LI J L,et al.Effect of *Duzhong* (*Eucommia ulmoides* Oliver) leaf on growth, serum non-specific immune index and meat quality of grass carp[J].Journal of Fisheries of China,2008,32(3):434-440.(in Chinese)

Effects of Dietary Vitamin K_3 Content on Digestive Ability, Serum Metabolism Indexes, Muscle Amino Acid and Fatty Acid Composition of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*)

WEI Xiang[1,2,3]　YAN Ketao[4]　DAI Yufeng[5]　HUA Xueming[1,2,3*]　LI Xiang[1,2,3]　HANG Ying[1,2,3]

(1. *Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition of the Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai* 201306, *China*; 2. *Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai* 201306, *China*; 3. *National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai* 201306, *China*; 4. *Administration Bureau of Wangwu Revervoir, Longkou* 265721, *China*; 5. *Zhenglu Animal Husbandry and Veterinary Station, Changzhou* 213111, *China*)

Abstract: An 8-week feeding trail was carried out to investigate the effects of dietary vitamin K_3 content on the digestive ability, serum metabolism indexes, muscle amino acid and fatty acid composition of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). vitamin K_3 was supplemented into a basal diet with the levels of 0.78 (K0 group), 5.80 (K5 group), 10.82 (K10 group), 15.84 (K15 group) and 20.85 mg/kg (K20 group), and then the five experimental diets were fed to healthy juvenile largemouth bass with the initial average body weight of (12.96±0.07) g. The results showed that the activities of protease, amylase and lipase in the stomach and intestine of the groups with vitamin K_3 supplementation were significantly lower than those of K0 group ($P<0.05$). The apparent digestibility and protein apparent digestibility of K10, K15 and K20 groups were significantly lower than those of K0 group ($P<0.05$). The serum urea nitrogen content of K20 group was significantly higher than that in the other four groups ($P<0.05$), but there were no significant differences in the serum total protein, albumin, total cholesterol and triglyceride contents among the five groups ($P>0.05$). There were no significant differences in the contents of muscle essential amino acids, non-essential amino acids and total amino acids among all groups ($P>0.05$), essential amino acid index as well, but with the increase of dietary vitamin K_3 content, the contents of essential amino acids and total amino acids showed an increasing trend. The content of muscle monounsaturated fatty acids of K15 group was significantly higher than that of other four groups ($P<0.05$), and the contents of C16∶1n7 and C18∶1n5 were significantly increased compared with other groups ($P<0.05$). There were no significant differences in the contents of muscle saturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids among all groups ($P>0.05$). In summary, dietary supplementation of vitamin K_3 can improve the muscle amino acid composition, but it decreases the digestive ability when the vitamin K_3 content is equal or greater than 5.80 mg/kg, and high dose of dietary vitamin K_3 changes protein and fatty acid metabolism. [***Chinese Journal of Animal Nutrition***, **2022**, **34**(**1**):**533-543**]

Key words: largemouth bass; vitamin K_3; digestion; metabolism; muscle composition

* Corresponding author, professor, E-mail: xmhua@shou.edu.cn

(责任编辑　管景颖)