

大豆低聚糖对牙鲆营养效应的研究: II 消化率和消化生理

邓君明^{1, 2} 麦康森¹ 艾庆辉¹ 张文兵¹

(1. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 青岛 266003; 2. 云南农业大学动物科学学院, 昆明 650201)

摘要: 本试验比较研究了不同蛋白源 (鱼粉, FM; 大豆分离蛋白, SPI) 基础饲料中添加大豆低聚糖 (SBOS) 对牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 消化道 (胃、幽门盲囊、前肠、中肠和后肠) 和肝脏消化酶活性、饲料表观消化率和消化道 (胃、小肠) 组织结构的影响。分别以 FM、SPI 作为主要蛋白源, 配制了 4 种等氮等能饲料。其中, 饲料 FM、SPI 分别以 FM、SPI 作为主要蛋白源; 饲料 FM0、SPI0 分别在饲料 FM、SPI 基础上添加 10% SBOS (水苏糖: 2.61%; 棉籽糖: 0.61%)。试验表明: ① 饲料中添加 SBOS 普遍降低了牙鲆消化道和肝脏蛋白酶活性, 但差异均不显著 ($p > 0.05$)。FM 基础饲料中添加 SBOS 显著降低了肝脏脂肪酶活性 ($p < 0.05$), 而对消化道脂肪酶活性无显著影响; SPI 基础饲料中添加 SBOS 显著提高了前肠脂肪酶活性, 降低了胃和中肠脂肪酶的活性, 而对幽门盲囊、后肠和肝脏脂肪酶活性均无显著影响。FM 基础饲料中添加 SBOS 显著降低了中肠淀粉酶活性, 提高了胃淀粉酶活性 ($p < 0.05$), 而对幽门盲囊、前肠、后肠和肝脏淀粉酶活性无显著影响; SPI 基础饲料中添加 SBOS 显著提高了胃和前肠淀粉酶活性, 降低了中肠脂肪酶活性 ($p < 0.05$), 而对幽门盲囊、后肠和肝脏淀粉酶活性无显著影响; ② FM 基础饲料中添加 SBOS 显著降低了饲料干物质表观消化率 ($p < 0.05$), 而对粗蛋白、粗脂肪和能量表观消化率均无显著影响 ($p > 0.05$)。SPI 基础饲料中添加 SBOS 对干物质、粗蛋白、粗脂肪和能量表观消化率均无显著影响; ③ 饲料中添加 SBOS 对牙鲆胃和小肠组织结构均无明显负面影响。试验结果表明, 饲料中添加 SBOS 对牙鲆消化道和肝脏消化酶活性、饲料表观消化率和消化道组织结构均没有表现出明显的负面效应; 大豆蛋白源中含有的 SBOS 不是影响牙鲆对其利用率差的主要因素。

关键词: 牙鲆; 大豆低聚糖; 营养效应; 消化率; 消化生理

中图分类号: S963.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2009)03-0369-07

大豆低聚糖 (Soybean oligosaccharides, SBOS) 是指大豆或泛指豆科作物种子中所含有的低聚糖总称, 主要成分是蔗糖 (Sucrose)、棉籽糖 (Raffinose) 和水苏糖 (Stachyose)。由于单胃动物和鱼类小肠黏膜中缺乏水解 α -1, 6 糖苷键的酶 (α -半乳糖苷酶), 摄入的 SBOS 不能被小肠消化吸收^[1]; 当它们进入后肠后, 由于厌氧微生物如双歧杆菌和乳酸杆菌的发酵作用, 会产生挥发性脂肪酸、二氧化碳、氢气及少量甲烷气体, 引起消化不良、腹胀和腹泻等现象^[2, 3], 同时也降低了含 SBOS 原料的消化能值^[2]。 α -半乳糖苷有良好的热稳定, 即使在 140℃ 的高温下也不分解, 因此一般的加工方法很难使其失活^[4]。对于单胃动物和鱼类而言, SBOS 的负面营养效应主要表现为: (1) 降低胆汁分泌, 脂肪乳化作用减弱, 从而降低脂肪利用率^[5]; (2) 与小肠中消化

酶或底物结合生成无活性的复合物, 从而降低消化酶活性^[5, 6]; (3) 增加小肠内容物的渗透性和液体的保持力, 因而减少了营养物质水解作用^[7]; (4) 由于营养物质水解作用的减弱, 增加小肠内容物的量, 刺激小肠蠕动反射, 增加肠道内饲料运转速度, 从而降低了养分的吸收利用率^[2]; (5) 厌氧性发酵作用产生气体, 导致养分利用率降低^[1]; (6) 降低消化道后肠 pH 值, 从而降低养分利用率^[2]; (7) 干扰其他营养素的消化利用^[8]。

牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 属鲽形目、鲆科、牙鲆属, 因其生长速度快、肉质好、经济价值高, 已成为我国北方工厂化养殖的主要鱼类品种。目前, 有关牙鲆对植物性蛋白源的利用已有较多的研究报告^[9, 10], 但至今未有牙鲆等鲽鱼类对 SBOS 利用效率的报道。本研究是“大豆低聚糖对牙鲆营养效

收稿日期: 2007-03-14 修订日期: 2008-07-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 30371120) 资助

作者简介: 邓君明 (1977-), 男, 江西宁都人; 博士; 主要从事水产动物营养生理研究。E-mail: djunming@163.com

通讯作者: 麦康森, 教育部“长江学者奖励计划”特聘教授, E-mail: kma@ouc.edu.cn

应的研究”系列之一,探讨不同蛋白源(鱼粉, FM; 大豆分离蛋白, SPI)基础饲料中添加 10% SBOS(水苏糖: 2.61%; 棉籽糖: 0.61%)对牙鲆消化道和肝脏中消化酶活性、饲料表观消化率和消化道组织结构的影响。

1 材料与方法

1.1 试验动物及饲料 试验用牙鲆幼鱼为当年人工培育的同一批苗种。试验动物管理、饲料配方及营养组成见前文^[11]。

1.2 样品收集及分析 饲养试验 3周后开始收集粪便,每次投喂 2h后采用虹吸法收集于筛网上,选取包膜完整的粪便置于称量瓶内,冷冻干燥,置-20℃冰箱保存待测。饲养试验结束后,停止喂食 24h,每桶随机取 5尾鱼于冰盘上解剖,取出全部消化器官(胃、幽门盲囊、小肠和肝脏),剔除外壁或表面脂肪,剪开胃和肠道,用预冷 0.65%生理盐水快速冲洗,并用脱脂棉小心揩干,液氮保存。

酶液的制备:先在冰盘内将样品剪碎,加入 10倍体积的预冷 0.65%生理盐水于玻璃匀浆器中匀浆。所得匀浆液于 4℃下离心(8000 r/min, 15min),取上清液保存于 4℃冰箱内,用于测定蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性及蛋白质浓度。每批样品均在 24h内测试完毕。

组织切片的制作:试验结束后,从每桶随机抽取 3尾鱼,打开腹腔,取出胃和中肠,切成块状,用 Bouin's液固定,乙醇梯度脱水,石蜡包埋,组织切片机切片,厚度为 7μm,苏木素和伊红(H&E)染色,中性树脂封片。光镜下观察胃和肠道组织学特征。

饲料和粪便常规成分分析均采用 AOAC 法。

其中,水分的测定为 105℃烘干恒重法(24h);粗蛋白的测定为凯氏定氮法,采用瑞典 TECATOR 公司 1030型蛋白质自动分析仪测定;粗脂肪的测定为索氏抽提法。总能采用氧弹式热量计(Parr 1281,美国)测定。饲料中营养素的表观消化率(ADC)采用盐酸不溶灰分(AIA)法测定。胃蛋白酶和肠蛋白酶活性均采用福林-酚(Folin-phenol)试剂法,脂肪酶活性采用比浊法,淀粉酶活性采用碘-淀粉法,蛋白质含量采用考马斯亮兰法测定。

1.3 计算及统计分析 干物质表观消化率(ADC,%) = 100 × (1 - 饲料中盐酸不溶灰分含量 / 粪便中盐酸不溶灰分含量)

各营养物质表观消化率(%) = 100 × (1 - 饲料中盐酸不溶灰分含量 × 粪便中营养物质含量 / 粪便中盐酸不溶灰分含量 × 饲料中营养物质含量)

采用 SPSS 11.0软件进行统计分析。所有数据均表示为平均值 ±标准误($\bar{x} \pm S.E.M.$),并用 *t*检验进行同一蛋白源基础饲料组间差异分析,显著性水平为 *p* < 0.05。

2 结果

2.1 消化酶活性

试验表明,FM 基础饲料中添加 SBOS对消化道(胃、幽门盲囊、前肠、中肠、后肠)和肝脏蛋白酶活性均无显著影响(*p* > 0.05),但胃、前肠、后肠和肝脏蛋白酶活性均表现出下降的趋势(表 1)。类似地,SPI基础饲料中添加 SBOS对消化道(胃、幽门盲囊、前肠、中肠、后肠)和肝脏中蛋白酶活性也无显著影响,但胃、幽门盲囊和前肠蛋白酶活性也表现出下降的趋势。

表 1 不同蛋白源基础饲料中添加大豆低聚糖对牙鲆消化道和肝脏蛋白酶活性的影响
Tab. 1 Effects of soybean oligosaccharides on the protease activities in the alimentary tract and liver of Japanese flounder fed various protein sources-based diets

饲料 Diets	蛋白酶 Protease (U / g protein)					
	胃 Stomach	幽门盲囊 Pylorus	前肠 Foregut	中肠 Midgut	后肠 Hindgut	肝脏 Liver
FM	126.43 ± 18.42	4.31 ± 0.07	4.93 ± 0.39	4.85 ± 0.17	5.54 ± 0.72	1.47 ± 0.18
FM0	95.97 ± 7.34	4.75 ± 0.29	3.79 ± 0.35	4.71 ± 0.34	4.15 ± 0.87	1.13 ± 0.09
SPI	83.13 ± 7.03	5.51 ± 0.01	5.14 ± 0.67	1.27 ± 0.18	1.27 ± 0.18	1.79 ± 0.06
SPD	69.81 ± 14.15	3.34 ± 0.52	2.95 ± 0.40	1.49 ± 0.47	1.47 ± 0.01	1.85 ± 0.27

注:表中数据为平均值 ±标准误(*n* = 3); ^a*p* < 0.05,同 FM 组相比; ^b*p* < 0.05 同 SPI组相比; 下同
Note: Values are presented as means ± S.E.M., *n* = 3; ^a*p* < 0.05, compared with FM group; ^b*p* < 0.05, compared with SPI group. The same as follows

如表 2所示, FM 基础饲料中添加 SBOS显著降低了肝脏脂肪酶活性 ($p < 0.05$), 而对胃、幽门盲囊、前肠、中肠和后肠脂肪酶活性均无显著影响 ($p > 0.05$)。SPI基础饲料中添加 SBOS显著提高了

前肠脂肪酶活性, 降低了胃和中肠脂肪酶活性, 而对幽门盲囊、后肠和肝脏脂肪酶活性无显著影响, 但幽门盲囊、后肠和肝脏脂肪酶活性均呈现明显下降的趋势。

表 2 不同蛋白源基础饲料中添加大豆低聚糖对牙鲆消化道和肝脏脂肪酶活性的影响
Tab. 2 Effects of soybean oligosaccharides on the lipase activities in the alimentary tract and liver of Japanese flounder fed various protein sources-based diets

饲料 Diets	脂肪酶 Lipase (U/g protein)					
	胃 Stomach	幽门盲囊 Pylorus	前肠 Foregut	中肠 Midgut	后肠 Hindgut	肝脏 Liver
FM	3.40 ± 0.68	23.85 ± 4.74	23.44 ± 1.25	43.95 ± 10.61	27.45 ± 1.46	26.47 ± 2.95
FMO	5.33 ± 0.44	26.64 ± 1.81	24.58 ± 3.57	32.28 ± 4.71	22.50 ± 3.17	9.50 ± 1.31 [†]
SPI	12.85 ± 0.10	35.31 ± 7.03	14.32 ± 0.04	15.76 ± 0.26	17.47 ± 1.83	75.40 ± 11.40
SPIO	6.23 ± 0.33 [‡]	8.27 ± 0.23	25.08 ± 0.90 [‡]	12.69 ± 0.05 [‡]	13.24 ± 0.75	42.84 ± 10.00

FM 基础饲料中添加 SBOS显著降低了中肠淀粉酶活性, 提高了胃淀粉酶活性 ($p < 0.05$), 而对幽门盲囊、前肠、后肠和肝脏淀粉酶活性无显著影响 ($p >$

0.05) (表 3)。SPI基础饲料中添加 SBOS显著提高了胃和前肠淀粉酶活性, 降低了中肠脂肪酶活性, 而对幽门盲囊、后肠和肝脏淀粉酶活性无显著影响。

表 3 不同蛋白源基础饲料中添加大豆低聚糖对牙鲆消化道和肝脏淀粉酶活性的影响
Tab. 3 Effects of soybean oligosaccharides on the amylase activities in the alimentary tract and liver of Japanese flounder fed various protein sources-based diets

饲料 Diets	淀粉酶 Amylase (U / g protein)					
	胃 Stomach	幽门盲囊 Pylorus	前肠 Foregut	中肠 Midgut	后肠 Hindgut	肝脏 Liver
FM	0.06 ± 0.01	0.39 ± 0.02	0.53 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.21 ± 0.04	0.54 ± 0.03
FMO	0.11 ± 0.01 [†]	0.44 ± 0.06	0.60 ± 0.05	0.12 ± 0.03 [†]	0.24 ± 0.03	0.52 ± 0.09
SPI	0.05 ± 0.02	0.23 ± 0.03	0.30 ± 0.02	0.35 ± 0.04	0.07 ± 0.02	0.35 ± 0.07
SPIO	0.35 ± 0.11 ^Δ	0.33 ± 0.10	0.49 ± 0.04 ^Δ	0.08 ± 0.02 ^Δ	0.04 ± 0.01	0.47 ± 0.13

2.2 饲料表观消化率

FM 基础饲料中添加 SBOS 显著降低了饲料干物质表观消化率 ($p < 0.05$), 而对粗蛋白、粗脂肪和

能量表观消化率均无显著影响 ($p > 0.05$) (表 4)。SPI基础饲料中添加 SBOS对干物质、粗蛋白、粗脂肪和能量表观消化率均无显著影响。

表 4 不同蛋白源基础饲料中添加大豆低聚糖对干物质、粗蛋白、粗脂肪和能量表观消化率的影响
Tab. 4 Effects of soybean oligosaccharides on the apparent digestibility coefficients (%) of dry matter, crude protein, lipid and energy of experimental diets based on various protein sources

饲料 Diets	干物质 Dry matter	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	能量 Energy
FM	71.38 ± 0.33	89.96 ± 0.13	93.70 ± 0.37	84.99 ± 0.22
FMO	68.83 ± 0.27 [†]	89.53 ± 0.11	93.60 ± 0.11	87.29 ± 1.10
SPI	69.67 ± 1.13	88.67 ± 0.55	77.88 ± 1.11	74.44 ± 0.96
SPIO	70.56 ± 1.67	87.70 ± 0.64	69.98 ± 2.62	77.73 ± 1.27

2.3 消化道组织病理学观察

由图 1可知, FM 组牙鲆肠道黏膜上皮细胞排

列整齐, 纹状缘发达, 黏膜层杯状细胞较多, 黏膜下层较薄 (图 1A); FMO 组肠道组织结构基本正

常,部分纹状缘脱落,杯状细胞减少,部分肠道黏膜上皮细胞脱落(图 1B);SPI组肠道组织结构基本正常,部分纹状缘脱落,杯状细胞减少,部分肠道黏膜上皮细胞脱落,基质变宽(图 1C);SPIO组肠道组织结构基本正常,部分纹状缘脱落,杯状细胞减少,部分肠道黏膜上皮细胞脱落,基质变宽(图 1D)。

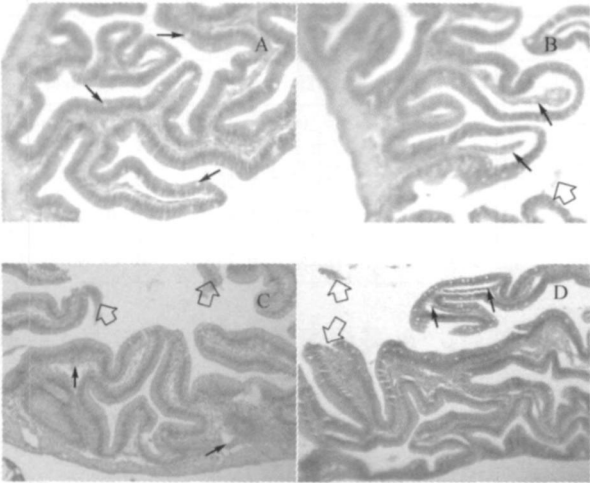


图 1 摄食不同试验饲料组牙鲆小肠组织切片(H&E, 100×)
Fig. 1 Intestine histological structure of Japanese flounder fed the experimental diets

A. 鱼粉组, 箭头(↑)指向杯状上皮细胞, 数量较多, 纹状缘发达;
B. 鱼粉+大豆低聚糖组, 箭头(↑)指向纹状缘部分脱落, 空心箭头指向肠黏膜上皮细胞脱落;
C. 大豆分离蛋白组, 箭头(↑)指向纹状缘部分脱落, 空心箭头指向肠黏膜上皮细胞脱落;
D. 大豆分离蛋白+大豆低聚糖组, 箭头(↑)指向纹状缘部分脱落, 空心箭头指向肠黏膜上皮细胞脱落

A. Diet FM, the black arrow shows the normal well developed goblet epithelium; B. Diet FMO, the black arrow shows striated border abscission, the white arrow striated epithelium cell C. Diet SPI the black arrow shows striated border abscission the white arrow striated epithelium cell D. Diet SPD, the black arrow shows striated border abscission, the white arrow striated epithelium cell

由图 2、图 3 可知, FM 组胃黏膜完整, 胃黏膜褶皱发达(图 2A), 黏膜层柱状上皮细胞较多, 排列整齐完整(图 3A); FMO 组胃黏膜结构正常, 胃黏膜褶皱发达, 部分胃黏膜脱落(图 2B), 部分柱状上皮细胞开始脱落(图 3B); SPI 组胃黏膜结构基本正常, 部分胃黏膜脱落, 胃黏膜褶皱减弱(图 2C), 黏膜层柱状上皮基本完整, 少部分脱落(图 3C); SPIO 组胃黏膜大量脱落, 胃黏膜褶皱减弱, 胃黏膜褶皱变矮, 胃壁变薄(图 2D), 黏膜层柱状上皮大量脱落(图 3D)。

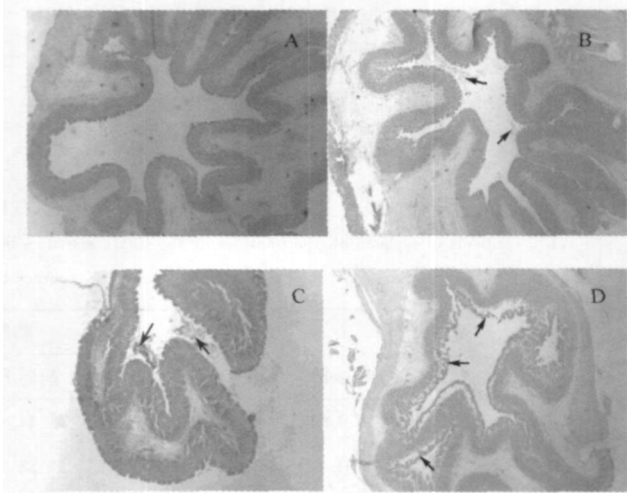


图 2 摄食不同试验饲料组的牙鲆胃组织切片(H&E, 40×)
Fig. 2 Stomach histological structure of Japanese flounder fed the experimental diets

A. 鱼粉组, 胃黏膜完整, 胃黏膜褶皱发达;
B. 鱼粉+大豆低聚糖组, 胃黏膜基本完整, 胃黏膜褶皱发达, 箭头(↑)所指胃黏膜少量脱落;
C. 大豆分离蛋白组, 箭头(↑)所指胃黏膜脱落, 胃黏膜褶皱减弱;
D. 大豆分离蛋白+大豆低聚糖组, 箭头(↑)所指胃黏膜大量脱落, 胃黏膜褶皱变矮, 胃壁变薄

A. Diet FM, showing the normal well developed gastric mucosa mucosa folds were flourished B. Diet FMO, showing the normal developed gastric mucosa the arrow shows few gastric mucosa abscission from epithelium; C. Diet SPI the arrow shows the gastric mucosa abscission from epithelium, mucosa folds became weakened, stomach wall became thinner D. Diet SPD, the arrow shows enterocytes with a marked decrease or even absence of gastric mucosa stomach wall became thinner

3 讨论

3.1 饲料中添加 SBOS 对牙鲆消化酶活性的影响
豆粕是水产饲料重要的植物性蛋白源之一, 其碳水化合物含量约为 25%^[12]。其中, 可溶性碳水化合物约为 11%; 不可溶性碳水化合物约为 13%。SBOS 属于可溶性碳水化合物, 一般占大豆总固形物的 10%, 其中蔗糖约 5%、棉籽糖 1% 和水苏糖 4%^[13]。SBOS(棉籽糖、水苏糖)可与鱼类小肠中消化酶或底物结合生成无活性的复合物, 从而降低消化酶活性^[5]。蔡英华^[14]报道, 随着饲料中棉籽糖(0%—1.5%)、水苏糖(0%—1.5%)含量的增加, 牙鲆胃肠道中蛋白酶活性均呈显著线性下降趋势。然而, 本研究表明, 不同蛋白源(FM、SPI)基础饲料中添加 10% SBOS(水苏糖: 2.61%; 棉籽糖: 0.61%)对牙鲆消化道中蛋白酶活性均无显著影

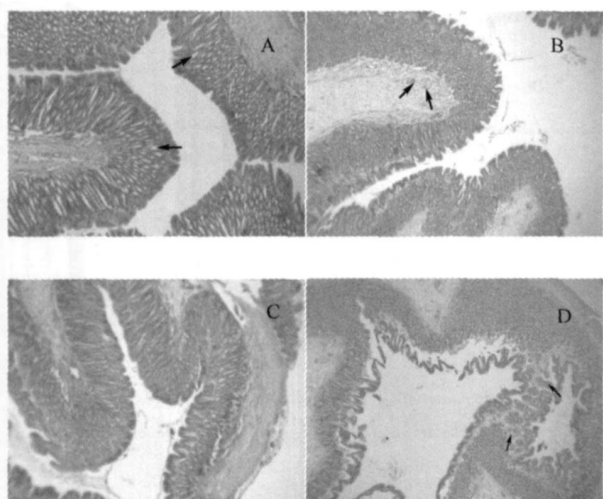


图 3 摄食不同试验饲料组的牙鲆胃组织切片 (H&E, 100×)

Fig 3 Stomach histological structure of Japanese flounder fed the experimental diets (H&E, 100×)

A. 鱼粉组, 箭头 (↑)所指柱状上皮细胞排列整齐、紧密; B. 鱼粉+大豆低聚糖组, 箭头 (↑)所指柱状上皮细胞部分脱落; C. 大豆分离蛋白组, 柱状上皮细胞基本完整, 少部分脱落; D. 大豆分离蛋白+大豆低聚糖组, 箭头 (↑)所指柱状上皮细胞大量脱落

A. Diet FM, the arrow shows the normal well developed cylindrical epithelium; B. Diet FMQ, the arrow shows the cylindrical epithelium abscising from mucous membrane; C. Diet SPI showing enterocytes with many cylindrical epithelium, some abscising from mucus; D. Diet SPD, the arrow shows marked cylindrical epithelium abscising from mucus

响。同时,研究还发现,饲料 FM 中添加 SBOS 除显著降低了肝脏中脂肪酶活性以外,对消化道中脂肪酶活性均无显著影响;饲料 SPI 中添加 SBOS 除显著提高了前肠脂肪酶活性以外,显著降低了其余消化道中脂肪酶的活性。

蔡英华^[14]报道,以 FM 为主要蛋白源饲料中添加 1.5% 水苏糖对牙鲆消化道中淀粉酶活性无显著影响;但随着棉籽糖含量 (0%—1.5%) 的增加,淀粉酶活性显著下降。类似地,本研究也表明,饲料中添加 SBOS 部分降低了消化道中淀粉酶活性,但负面影响程度较小。

3.2 饲料中添加 SBOS 对饲料消化率的影响

由于鱼类小肠黏膜中缺乏水解 α -1,6 糖苷键的酶,摄入的 SBOS 很难为小肠消化吸收。Kaushik *et al.*^[15] 报道,虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 对豆粕 (含 18% 水溶性碳水化合物,主要是 SBOS) 的能量消化率显著低于大豆浓缩蛋白 (含 2% 水溶性碳水化合物)。类似地,Glencross *et al.*^[16] 在对虹鳟的研究中也得到相似结果。蔡英华^[14] 研究发现,随着饲料中水苏糖含量 (0%—1.5%) 的增加,牙鲆对干

物质和粗蛋白的表观消化率均显著线性下降。然而,本试验表明,饲料 FM 中添加 SBOS 除显著降低了干物质表观消化率外,对粗蛋白、粗脂肪和能量表观消化率均无显著影响;饲料 SPI 中添加 SBOS 对干物质、粗蛋白、粗脂肪和能量表观消化率均无显著影响。类似地,有关虹鳟^[17] 和大西洋鲑 (*Salmo salar*)^[7,18,19] 的研究也发现,SBOS 不会对鱼类的生长和饲料表观消化率产生明显负面影响。蔡英华^[14] 报道,以 FM 为主要蛋白源饲料中添加 1.5% 棉籽糖对干物质、粗蛋白、粗脂肪和能量表观消化率均无显著影响。由此可知,SBOS 对鱼类饲料表观消化率影响效果不太一致。造成这种差异的原因可能有:

(1) 饲料中含有的低聚糖来源不同。不同来源的低聚糖,其分子结构和单糖组成可能不同,因此不同鱼类对其降解能力也存在差异^[14,20]; (2) 蛋白源基础饲料不同。本研究表明,不同蛋白源基础饲料中添加 SBOS 表现出不同的消化生理效应; (3) 饲料中低聚糖添加量或植物蛋白源经过发酵等工艺去除后低聚糖含量不同,从而导致实验结果存在差异; (4) 鱼类肠胃中的细菌数量和组成与陆生恒温动物有较大差异,且细菌数量和组成也会随着饲料成分的变化而变化^[21],从而低聚糖在细菌的发酵作用下产生不同量的气体,引发不同程度的消化不良、腹胀和腹泻等现象; (5) 不同生长发育阶段的鱼类对低聚糖的耐受程度不同。水生动物生长的初始阶段,消化系统发育尚不完全。随着水生动物的生长,消化系统的结构和功能逐步完善,因此水生动物利用低聚糖的能力也会随着生长发育的进程而发生阶段性的变化^[22]。

3.3 饲料中添加 SBOS 对牙鲆肠道组织结构的影响

肠道是鱼类极其重要的消化吸收部位,其正常发育对鱼类消化能力有重要的影响。本研究表明,无论是以 FM 还是以 SPI 为主要蛋白源饲料中添加 SBOS 均没有引起牙鲆消化道组织结构明显的病理性变化。类似地, van der Ingh *et al.*^[18] 报道,以 FM 为主要蛋白源饲料中添加 SBOS 并没有引起大西洋鲑消化道结构的改变; Krogdahl *et al.*^[19] 也证实,SBOS 不会导致大西洋鲑肠道病变。蔡英华^[14] 报道,饲料中添加 1.5% 棉籽糖对牙鲆肠道组织结构没有负面影响;而添加 1.5% 水苏糖可导致牙鲆的肠上皮肿大,肠绒毛固有层与肠上皮分离。相反,一些研究认为,饲料中添加 SBOS 反而有利于黏膜肌肉层的发育^[23]。

参考文献:

- [1] Gdali J, Jansman A J M, Buraczewska L, *et al*. The influence of α -galactosidase supplementation on the ileal digestibility of lupin seed carbohydrates and dietary protein in young pigs [J]. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1997, **67**: 115—125
- [2] Coon C, Leske K L, Akavanichan O, *et al*. Effect of oligosaccharide-free soybean meal on true metabolizable energy and fiber digestion in adult rosters [J]. *Poul. Sci.*, 1990, **69**: 787—793
- [3] Zhang L Y, Li D F, Qiao S Y, *et al*. Effects of stachyose on performance, diarrhea incidence and intestinal bacteria in weanling pigs [J]. *Arch. Anim. Nutr.*, 2003, **57**: 1—10
- [4] Lienert I E. Factors affecting the nutritional quantity of soya products [J]. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1981, **58**: 406—415
- [5] Storebakken T, Shearer K D, Rom A J. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon *Salmo salar* [J]. *Aquaculture*, 1998, **161**: 365—379
- [6] Sniricky M R, Grieshop C M, Abin D M, *et al*. The influence of soy oligosaccharides on apparent and true ileal amino acid digestibilities and fecal consistency in growing pigs [J]. *J. Anim. Sci.*, 2002, **80**: 2433—2441
- [7] Refstie S, Svihus B, Shearer K, *et al*. Nutrient digestibility in Atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soybean products [J]. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 1999, **79**: 331—345
- [8] Zhang L Y, Li D F, Qiao S Y, *et al*. The effect of soybean galactooligosaccharides on nutrient and energy digestibility and digesta transit time in weanling piglets [J]. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 2001, **14**: 1598—1604
- [9] Kikuchi K. Partial replacement of fish meal with corn gluten meal in diets for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. *J. World Aquac. Soc.*, 1999, **30**: 357—363
- [10] Deng J M, Mai K S, Ai Q H, *et al*. Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate on feed intake and growth of juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 2006, **258**: 503—513
- [11] Deng J M, Mai K S, Ai Q H, *et al*. Effects of soybean oligosaccharides on nutritional characters of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*): I. Feeding rate, growth and metabolize enzyme activities [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, **33**(1): 7—14 [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: I. 摄食、生长和代谢酶活性. 水生生物学报, 2009, **33**(1): 7—14]
- [12] Bach-Knudsen K E. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding [J]. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1997, **67**: 319—338
- [13] Kennedy I R, Mwandemele O D, MWhirter K S. Estimation of sucrose, raffinose and stachyose in soybean seeds [J]. *Food Chem.*, 1985, **17**: 85—93
- [14] Cai Y H. Effects of antinutritional factors in soybean on the growth performance and digestive physiology of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [D]. Thesis for Master of Science Ocean University of China Qingdao, 2006 [蔡英华. 几种大豆抗营养因子对牙鲆生长和消化生理的影响. 硕士学位论文, 中国海洋大学, 青岛. 2006]
- [15] Kaushik S J, Cravedi J P, Lalles J P, *et al*. Partial or total replacement of fish meal by soyabean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quantity in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1995, **133**: 257—274
- [16] Glencross B D, Boujard T, Kaushik S J. Influence of oligosaccharides on the digestibility of lupin meals when fed to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 2003, **219**: 703—713
- [17] Rumsey G L, Hughes S G, Winfree R A. Chemical and nutritional evaluation of soy protein preparations as primary nitrogen sources of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1993, **40**: 135—151
- [18] van den Ingh T S G A M, Kroghdal A, Olli J J, *et al*. Effects of soybean-containing diets on the proximal and distal intestine in Atlantic salmon *Salmo salar*: a morphological study [J]. *Aquaculture*, 1991, **94**: 297—305
- [19] Kroghdal A, Rom A, Baeverfjord G. Effects of soybean saponin, raffinose and soybean alcohol extract on nutrient digestibilities, growth and intestinal morphology in Atlantic salmon [A]. In: Svennevig N, Kroghdal A (Eds.), Quality in aquaculture [C]. Proc. Intl. Conf. Aquaculture '95 and the satellite meeting Nutrition and Feeding of Cold Water Species, Trondheim, Norway, August 9—12. Eur. Aquacult. Soc. Spec. Publ. No. 23, Gent, Belgium, 1995: 118—119
- [20] Refstie S, Sahstøl M S, Bråthen E, *et al*. Lactic acid fermentation eliminates indigestible carbohydrates and antinutritional factors in soybean meal for Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture*, 2005, **246**: 331—345
- [21] Ringø E, Strøm E, Tabachek J A. Intestinal microflora of salmonids: a review [J]. *Aquac. Res.*, 1995, **26**: 773—789
- [22] Murai T, Ogata H, Villaneda A, *et al*. Utilization of soy flour by fingerling rainbow trout having different body size [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1989, **55**: 1067—1073
- [23] Kihara M, Sakata T. Fermentation of dietary carbohydrates to short-chain fatty acid by gut microbes and its influence on intestinal morphology of a detritivorous teleost tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1997, **118**(4): 1201—1207

EFFECTS OF SOYBEAN OLIGOSACCHARIDES ON NUTRITIONAL CHARACTERS OF JAPANESE FLOUNDER (*PARALICHTHYS OLIVACEUS*): II. DIGESTIBILITY AND DIGESTIVE PHYSIOLOGY

DENG Jun-Ming^{1, 2}, MA Kang-Sen¹, AI Qing-Hui¹ and ZHANG Wen-Bing¹

(¹ The Key Laboratory of Mariculture Education Ministry of China, Ocean University of China, Qingdao 266003

² College of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201)

Abstract A feeding trial was conducted to investigate the effects of soybean oligosaccharides (SBOS) on the digestive enzymes activity, feed digestibility and intestinal morphology in juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Four isonitrogenous and isocaloric practical diets (crude protein 49%, gross energy 19 kJ/g) including only fish meal (FM) or soy protein isolate (SPI) as a sole protein source with (Diets FM0 and SPI0) or without (Diets FM and SPI) supplemental SBOS (stachyose 2.61%; raffinose 0.6%) were formulated. Each diet was randomly assigned to triplicate aquaria stocked with 30 fish (initial body weight 1.93 ± 0.02 g) each. Fish were maintained in flow-through aquaria at water temperature ranging from 22.0°C to 25.0°C and fed twice (08:00 and 16:00) daily to apparent satiation for 8 weeks. Pepsin/protease activities in alimentary tract and liver were generally decreased by supplemental SBOS, but the difference was not significant ($p < 0.05$). Dietary SBOS supplementation significantly decreased the lipase activity in liver ($p < 0.05$), but not the alimentary tract in fish fed FM-based diets. Supplemental SBOS significantly increased the lipase activity in foregut, decreased in stomach and midgut ($p < 0.05$), but did not affect in pylorus, hindgut and liver in fish fed SPI-based diets ($p > 0.05$). Supplementation with SBOS significantly decreased the amylase activity in midgut, increased in stomach ($p < 0.05$), but did not affect in pylorus, foregut, hindgut and liver in fish fed FM-based diets ($p > 0.05$). Supplemental SBOS significantly increased the amylase activity in stomach and foregut, decreased in midgut ($p < 0.05$), but did not affect in pylorus, hindgut and liver in fish fed SPI-based diets ($p > 0.05$). At the same time, dietary SBOS supplementation significantly decreased the apparent digestibility coefficients (ADC) of dry matter, increased the crude lipid and energy ($p < 0.05$), but did not affect the crude protein of Diet FM ($p > 0.05$). ADCs of dry matter, crude protein, crude lipid and energy of Diet SPI were not significantly affected by dietary supplemental SBOS ($p > 0.05$). Intestinal morphology was not obviously influenced by dietary supplemental SBOS in fish fed FM or SPI-based diets. These results indicated that dietary supplemental SBOS did not negatively affect the digestion of Japanese flounder and SBOS was not the main factor which affected the utilization of soy protein sources.

Key words Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*); Soybean oligosaccharides; Nutritional characters; Digestibility; Digestive physiology