

复合诱食剂对牙鲆摄食生长的影响

陈京华, 张文兵, 麦康森, 艾庆辉, 王小洁, 刘付志国, 马洪明, 谭北平, 徐 玮

(中国海洋大学 教育部海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003)

摘要:以初始体质量为 (3.01 ± 0.04) g的牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)为实验对象,进行为期70 d的摄食生长实验。共配制5种等氮等能饲料,其中以鱼粉和豆粕为蛋白源(豆粕蛋白替代45%的鱼粉蛋白)配制出基础饲料,分别在基础饲料中添加0.0%、0.5%、1.0%和1.5%的复合诱食剂配制4种豆粕取代饲料,同时以全鱼粉饲料为对照饲料,研究复合诱食剂对牙鲆摄食生长的影响。结果表明,当豆粕取代饲料中诱食剂添加量为1.0%时,牙鲆的摄食率($P < 0.05$)、饲料效率($P < 0.05$)、鱼体脂肪含量($P < 0.01$)以及肝脏、肠胰蛋白酶活力和肠氨肽酶活力($P < 0.01$)显著高于不添加诱食剂组;当豆粕取代饲料中诱食剂的添加量为0.0%和0.5%时,牙鲆的特定生长率显著低于全鱼粉组($P < 0.05$);而当添加量为1.0%和1.5%时,牙鲆的特定生长率与全鱼粉组比较没有出现显著差异($P > 0.05$)。结论认为,当以豆粕蛋白替代45%的鱼粉蛋白时,添加1.0%的复合诱食剂能够显著提高牙鲆幼鱼对饲料的摄食率和生长率。[中国水产科学, 2006, 13(6):959-965]

关键词:牙鲆;复合诱食剂;饲料;豆粕;摄食;生长

中图分类号:S963

文献标识码:A

文章编号:1005-8737-(2006)06-0959-07

鱼粉是水产饲料的主要蛋白质来源。然而,由于其供需不平衡,鱼粉的价格不断上扬,严重阻碍了水产养殖业的可持续发展^[1]。人们试图利用廉价的豆粕蛋白部分或全部替代鱼粉蛋白,以达到减少鱼粉使用量、降低饲料成本的目的。有关饲料中豆粕替代鱼粉的研究已有许多相关报道^[2-3]。然而,因豆粕含量过高而导致的适口性下降是造成鱼类生长下降的主要因素之一^[4-6]。

鱼类对食物中一些特殊化学气味的反应具有高度的种间特异性^[7-10]。有机酸对金鱼、鲤鱼和罗非鱼等杂食性鱼类具有一定的诱食作用^[11]。一些碱性和中性物质(甘氨酸、脯氨酸、牛磺酸、缬氨酸和甜菜碱等)则对肉食性鱼类诱食效果较好^[12]。研究表明,对于某一特定的养殖动物而言,复合诱食剂往往比单一诱食剂效果更好^[7,10]。

牙鲆(*Paralichthys olivaceus* Temminck et Schlegel)是中国重要的海水经济鱼类之一。有关牙鲆营养需求的研究已有许多报道^[13-14]。但是有关饲喂牙鲆高含量植物蛋白饲料中添加诱食剂的研究较少^[15]。梁萌青等^[15]通过研究证明,在牙鲆饲料中添加

1.0%商业诱食剂同时减少5%的鱼粉用量,不影响其摄食生长。本实验是以鱼粉和豆粕为主要蛋白源,以豆粕蛋白替代45%的鱼粉蛋白,在已有研究的基础上,通过在饲料中添加不同含量的复合诱食剂,探讨其对牙鲆摄食生长的影响及其在高豆粕饲料中的适宜添加量。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

实验共制作5种等氮等能(粗蛋白50.5%、总能20.5 kJ/g)饲料(表1)。全鱼粉饲料(对照饲料)主要以鱼粉(购自六和集团有限公司,粗蛋白69.5%,粗脂肪10.4%)为蛋白源,豆油和鱼油为脂肪源。豆粕取代饲料主要以鱼粉和豆粕为蛋白源,以豆粕(购自六和集团有限公司,粗蛋白53.6%,粗脂肪0.8%)蛋白替代45%的鱼粉蛋白,配制出基础饲料,在基础饲料中分别添加0.0%、0.5%、1.0%和1.5%的复合诱食剂。复合诱食剂的组成及比例为 $W_{\text{甜菜碱}}:W_{\text{DMPT}}:W_{\text{盐酸三甲胺}}:W_{\text{柠檬酸}}:W_{\text{甘氨酸}}:W_{\text{牛磺酸}}:W_{\text{L-谷氨酸钠}}=5:2:10:1:1:1:1$ 。甜菜碱和DMPT(二甲基-

收稿日期:2006-02-15; 修订日期:2006-04-28。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30371120)。

作者简介:陈京华(1978-),硕士。Tel:0532-82031950;E-mail:chen_jinhua@163.com

通讯作者:麦康森。E-mail:kmai@ouc.edu.cn

β -丙酸噻亭)纯度均为 98%,购自沈阳圆融化工有限公司。盐酸三甲胺、柠檬酸、甘氨酸、牛磺酸和 L-谷氨酸钠均为分析纯,购自上海惠兴生化试剂有限公司。在制作饲料之前,均单独用每种成分的水溶液对牙鲆进行迷宫实验。把每种成分溶解到水中,配制成不同浓度的水溶液,然后直接注入到水体中,研究其对牙鲆的最佳诱食浓度,并且得到 7 种成分的最佳配比(数据待发表)。饲料中维生素混合物的组成为(mg/kg 饲料):视黄醇醋酸酯,32.0;维生素 D₃,12.9; α -生育酚,200.0;硫胺素,110.0;核

黄素,360.0;盐酸吡哆醇,86.0;泛酸,359.0;烟酸,1 026.0;生物素,10.0;叶酸,20.0;维生素 B₁₂,1.2;肌醇 4 000.0;抗坏血酸,2 000.0;氯化胆碱(50%),10 000.0。矿物质混合物的组成为(mg/kg 饲料):MgSO₄·7H₂O,5 066.9;KCl,3 020.0;KAl(SO₄)₂,12.7;CoCl₂,40.0;ZnSO₄·7H₂O,253.0;CuSO₄·5H₂O,10.0;KI,8.0;MnSO₄·4H₂O,73.2;Na₂SeO₃,2.5;C₆H₅O₇Fe·5H₂O,1 632.0;NaCl,100.0;NaF,4.0;Ca(H₂PO₄)₂·H₂O,13 000.0。

表 1 实验饲料组成成分及含量
Tab. 1 Composition of experimental diets

组 成 Composition	分 组 (诱食剂含量百分比) Treatment (% the supplementation of compound feeding attractant)				
	饲料 0(对照) Diet 0(control)	饲料 1(0.0) Diet 1(0.0)	饲料 2(0.5) Diet 2(0.5)	饲料 3(1.0) Diet 3(1.0)	饲料 4(1.5) Diet 4(1.5)
成 分 Ingredients					
鱼粉 Fish meal	70.0	38.5	38.5	38.5	38.5
豆粕 Soybean meal	0.0	41.0	41.0	41.0	41.0
面粉 Wheat meal	21.0	8.5	8.0	7.5	7.0
鱼油 Menhaden fish oil	0.5	3.8	3.8	3.8	3.8
豆油 Soybean oil	1.0	0.7	0.7	0.7	0.7
维生素混合物 Vitamin premix	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
矿物质混合物 Mineral premix	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
大豆卵磷脂 Soy lecithin	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
海藻酸钠 Sodium Alginate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
乙氧基喹啉 Ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
复合诱食剂 Compound feeding attractant	0.0	0.0	0.5	1.0	1.5
营养成分 Nutritional composition					
粗蛋白 Crude protein	51.4	50.1	50.9	50.4	50.4
粗脂肪 Crude lipid	11.8	11.7	11.9	11.6	11.8
能量/(kJ·g ⁻¹) Energy	20.9	20.7	20.4	20.5	21.0

1.2 实验用鱼和饲养管理

实验用鱼为当年人工繁殖的同一批牙鲆(中国水产科学研究院黄海水产研究所提供),初始体质量为(3.01±0.04)g,正式实验前以对照饲料饱食驯养 2 周。养殖实验在中国海洋大学小麦岛流水养殖系统中进行,养殖单位为 50 L 的玻璃钢桶,水流流速为 100 L/h。实验共设 5 个处理,每个处理 3 个重复,每桶放养 20 尾牙鲆。实验周期为 70 d。实验期间系统水温保持在 22.5~25.5℃,盐度为 29.5~32.0,溶解氧含量不低于 7.0 mg/L。采取饱食投喂方式,每天投喂 2 次(08:00、16:00)。每次投喂时间为 1 h,投喂至桶底出现残饵且牙鲆不再摄食

为止,投喂完毕后收集残饵,烘干称重,计算每天摄食饲料量。

1.3 样品采集与分析

实验开始和结束时实验鱼分别饥饿 24 h,用吸水纸吸干鱼体表水分后称量体质量(精确至 0.01 g)。

实验结束后每桶随机抽取 6 尾牙鲆测定鱼体常规成分。鱼体水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分和能量依次采用恒温干燥法(105℃)、凯氏定氮法、索氏抽提法、灼烧法和氧弹仪测定^[16]。每桶随机抽取 6 尾牙鲆,取其肝脏和肠道于-70℃保存,测定消化酶活力。胰蛋白酶(Trypsin)、脂肪酶(Lipase)和淀粉酶(Amylase)活力的测定参照 Holm 等和 Métais 等的

方法^[17-18]。氨肽酶(Leucine aminopeptidase)活力的测定参照 Maroux 等和 Bessey 等的方法^[19-20]。

1.4 计算和统计分析

牙鲆的增重率、特定生长率、摄食率、蛋白质效率、饲料效率参照以下公式计算:

$$\text{增重率} = (W_{\text{终}} - W_{\text{始}}) / W_{\text{始}} \times 100\%$$

$$\text{特定生长率} = (\ln W_{\text{终}} - \ln W_{\text{始}}) / t \times 100\%$$

$$\text{摄食率} / (g \cdot d^{-1} \cdot ind^{-1}) = \sum (W_{\text{食}} / N) / t^{[6]}$$

$$\text{蛋白质效率} = (W_{\text{终}} - W_{\text{始}}) / (W_{\text{f}} \times C_{\text{p}})$$

$$\text{饲料效率} = (W_{\text{终}} - W_{\text{始}}) / W_{\text{f}}$$

式中, C_{p} 为饲料蛋白质量分数(%), N 为每桶养殖鱼的数量, t 为实验天数(d), W_{f} 为摄食饲料干重(g), $W_{\text{食}}$ 为每桶每天摄食饲料干重(g), $W_{\text{终}}$ 为牙鲆终末平均体质量(g), $W_{\text{始}}$ 为牙鲆初始平均体质量(g)。

由于摄食率受鱼体体质量影响较大, 为了避免实验后期鱼体体质量差异对摄食率产生干扰, 本实验只计算前 14 d 的摄食率。

实验数据(Mean ± SE)用 SPSS 11.5 统计软件进行单因素方差分析, 当差异显著时($P < 0.05$), 进行 Tukey 多重比较。

2 结果

2.1 饲料中添加复合诱食剂对牙鲆成活率、摄食和生长的影响

各处理组的成活率在 91.67% ~ 96.67% 之间, 各组之间没有出现显著差异($P > 0.05$)。

随着饲料中复合诱食剂添加量的升高, 牙鲆的摄食率呈上升的趋势。豆粕取代饲料不添加诱食剂组(0.0%)牙鲆的摄食率显著低于全鱼粉组($P < 0.05$)。但当添加诱食剂时(0.5% ~ 1.5%), 其摄食率与全鱼粉组比较没有出现显著差异。其中, 豆粕取代饲料中添加 1.0% 诱食剂组牙鲆的摄食率显著高于不添加诱食剂组($P < 0.05$), 见表 2。

随着饲料中复合诱食剂添加量的增加, 牙鲆的特定生长率呈上升趋势。当豆粕取代饲料中诱食剂的添加量为 0.0% 和 0.5% 时, 牙鲆的特定生长率分别为 3.15% 和 3.21%, 显著低于全鱼粉组 3.64% ($P < 0.05$)。而当诱食剂添加量为 1.0% 和 1.5% 时, 牙鲆的特定生长率(3.49% 和 3.41%)与全鱼粉组比较差异不显著($P > 0.05$)。牙鲆增重率的变化趋势与特定生长率相同(表 2)。

表 2 复合诱食剂对牙鲆增重率、特定生长率、摄食率和成活率的影响
Tab. 2 Effects of compound feeding attractant on weight gain rate, specific growth rate, feed intake and survival of Japanese flounder

饲料号(%诱食剂) Diet No. (% compound feeding attractant)	初始体质量/g Initial body weight	终末体质量/g Final body weight	增重率/% Weight gain rate	特定生长率/% Specific growth rate	摄食率/ (g · d ⁻¹ · ind ⁻¹) Feed intake	成活率/% Survival rate
饲料 0(对照) Diet 0(control)	2.95 ± 0.11	37.75 ± 1.32 ^a	1 184.97 ± 90.53 ^a	3.64 ± 0.10 ^a	0.32 ± 0.00 ^a	96.67 ± 1.67
饲料 1(0.0) Diet 1(0.0)	3.02 ± 0.19	27.54 ± 2.5 ^b	807.70 ± 23.79 ^b	3.15 ± 0.04 ^b	0.26 ± 0.01 ^b	93.33 ± 1.67
饲料 2(0.5) Diet 2(0.5)	3.05 ± 0.03	28.83 ± 0.88 ^b	844.78 ± 25.42 ^b	3.21 ± 0.04 ^b	0.29 ± 0.01 ^{ab}	91.67 ± 4.41
饲料 3(1.0) Diet 3(1.0)	3.00 ± 0.07	34.61 ± 2.07 ^{ab}	1 055.67 ± 93.11 ^{ab}	3.49 ± 0.11 ^{ab}	0.31 ± 0.01 ^a	96.67 ± 3.33
饲料 4(1.5) Diet 4(1.5)	3.02 ± 0.10	33.14 ± 2.40 ^{ab}	999.22 ± 90.04 ^{ab}	3.41 ± 0.12 ^{ab}	0.30 ± 0.01 ^{ab}	93.33 ± 4.41
单因素方差分析 One-way ANOVA						
<i>F</i>	0.10	4.67	4.59	5.08	5.68	0.45
<i>P</i>	0.98	0.02	0.02	0.02	0.01	0.77

注: 同一列上标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Figures within the same column with different superscripts were significantly different determined by Tukey multiple test($P < 0.05$).

豆粕取代饲料中添加 1.0% 诱食剂组的饲料效率(0.77)与全鱼粉组(0.81)比较差异不显著,但显著高于豆粕取代饲料不添加诱食剂组 0.52 的饲料

效率($P < 0.05$)。各处理组的蛋白质效率没有出现显著差异($P > 0.05$),见表 3。

表 3 复合诱食剂对牙鲆鱼体常规成分、蛋白质效率和饲料效率的影响

Tab. 3 Effects of compound feeding attractant on whole-body composition, protein efficiency ratio and feed efficiency ratio of Japanese flounder							
饲料号(%诱食剂) Diet No. (% compound feeding attractant)	水分/% Moisture	粗蛋白/% Crude protein	粗脂肪/% Crude lipid	灰分/% Ash	能量/% Energy	蛋白质效率 Protein efficiency ratio	饲料效率 Feed efficiency ratio
饲料 0(对照) Diet 0(control)	74.0 ± 0.2	18.5 ± 0.2	4.0 ± 0.1 ^{ab}	3.5 ± 0.0 ^b	5.6 ± 0.1	1.6 ± 0.1	0.81 ± 0.08 ^a
饲料 1(0.0) Diet 1(0.0)	73.6 ± 0.2	18.2 ± 0.4	3.3 ± 0.2 ^c	4.9 ± 0.3 ^a	5.5 ± 0.1	1.1 ± 0.2	0.52 ± 0.02 ^b
饲料 2(0.5) Diet 2(0.5)	73.5 ± 0.4	17.9 ± 0.3	4.1 ± 0.1 ^{ab}	4.5 ± 0.1 ^a	5.6 ± 0.2	1.4 ± 0.2	0.72 ± 0.17 ^{ab}
饲料 3(1.0) Diet 3(1.0)	73.2 ± 0.4	17.9 ± 0.1	4.6 ± 0.2 ^a	4.3 ± 0.2 ^a	5.8 ± 0.3	1.5 ± 0.1	0.77 ± 0.02 ^a
饲料 4(1.5) Diet 4(1.5)	73.6 ± 0.2	17.8 ± 0.2	3.9 ± 0.1 ^{bc}	4.7 ± 0.0 ^a	5.7 ± 0.1	1.3 ± 0.1	0.64 ± 0.06 ^{ab}
单因素方差分析 One-way ANOVA							
<i>F</i>	0.77	1.36	13.22	12.82	0.36	2.47	4.94
<i>P</i>	0.57	0.32	0.00	0.00	0.83	0.11	0.02

注:同一列上标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Figures within the same column with different superscripts were significantly different determined by Tukey multiple test($P < 0.05$).

2.2 饲料中添加复合诱食剂对鱼体常规成分的影响

饲料中添加复合诱食剂对牙鲆鱼体的粗蛋白、能量和水分含量均没有显著影响($P > 0.05$)。摄食豆粕取代饲料的牙鲆鱼体灰分含量之间没有出现显著差异,但是均显著高于全鱼粉组($P < 0.01$)。

豆粕取代饲料中添加复合诱食剂显著提高了牙鲆鱼体的粗脂肪含量。豆粕取代饲料中不添加诱食剂组(0.0%)牙鲆鱼体的粗脂肪含量(3.3%)显著低于全鱼粉组(4.0%)($P < 0.01$)。豆粕取代饲料中诱食剂添加量为 0.5% 和 1.0% 时,牙鲆鱼体的粗脂肪含量(4.1% 和 4.6%)与全鱼粉组比较没有出现显著差异,但却显著高于不添加诱食剂组($P < 0.01$)。豆粕取代饲料中诱食剂添加量为 1.5% 时,鱼体的粗脂肪含量(3.9%)也显著低于诱食剂添加量为 1.0% 组($P < 0.01$),见表 3。

2.3 饲料中添加复合诱食剂对牙鲆肝和肠道消化酶活力的影响

豆粕取代饲料中不添加诱食剂组(0.0%)牙鲆的肠胰蛋白酶、肝胰蛋白酶和肠氨肽酶活力均显著低于全鱼粉组($P < 0.01$)。而饲料中添加一定量的复合诱食剂组则有助于提高牙鲆胰蛋白酶和氨肽酶活力。当诱食剂添加量为 0.5% 和 1.0% 时,牙鲆的肠胰蛋白酶活力显著高于添加量为 0.0% 和 1.5% 组($P < 0.01$),但与全鱼粉组比较没有出现显著差异。当豆粕取代饲料中添加诱食剂(0.5% ~ 1.5%)时牙鲆的肝胰蛋白酶活力显著高于不添加诱食剂组($P < 0.01$),但与全鱼粉组比较差异不显著。当豆粕取代饲料中添加 1.0% 和 1.5% 诱食剂时牙鲆的肠氨肽酶活力显著高于不添加诱食剂组($P < 0.01$),但与全鱼粉组比较没有出现显著差异。本实验中,摄食不同饲料的牙鲆肠淀粉酶活力和肝脂肪酶活力没有出现显著差异($P > 0.05$),见表 4。

表4 复合诱食剂对牙鲆消化酶活力的影响

Tab. 4 Effects of the compound feeding attractant on the digestive enzymes of Japanese flounder

饲料号(%诱食剂) Diet No. (% compound feeding attractant)	肠胰蛋白酶活力 /(u · mg ⁻¹ protein) Trypsin in intestine	肝胰蛋白酶活力 /(u · mg ⁻¹ protein) Trypsin in liver	肠氨肽酶活力 /(u · mg ⁻¹ protein Leucine) aminopeptidase in intestine	肠淀粉酶活力 /(u · 100 ⁻¹ mg ⁻¹ protein) Amylase in intestine	肝脂肪酶活力 /(u · 1 000 ⁻¹ mg ⁻¹ protein) Lipase in liver
饲料0(对照) Diet 0(control)	29.8 ± 0.3 ^a	50.6 ± 3.5 ^a	35.6 ± 2.6 ^a	35.6 ± 2.1	18.6 ± 0.6
饲料1(0.0) Diet 1(0.0)	16.7 ± 1.5 ^e	35.8 ± 0.7 ^b	20.6 ± 0.9 ^e	35.0 ± 0.3	19.6 ± 0.9
饲料2(0.5) Diet 2(0.5)	31.7 ± 0.9 ^a	52.9 ± 1.5 ^a	25.1 ± 1.2 ^{bc}	36.0 ± 1.1	16.2 ± 1.0
饲料3(1.0) Diet 3(1.0)	28.3 ± 0.9 ^{ab}	54.7 ± 2.1 ^a	31.3 ± 0.9 ^{ab}	34.2 ± 0.3	17.7 ± 1.1
饲料4(1.5) Diet 4(1.5)	23.7 ± 1.5 ^b	55.4 ± 2.3 ^a	32.6 ± 0.3 ^a	33.1 ± 1.3	17.6 ± 0.3
单因素方差分析 One-way ANOVA					
<i>F</i>	30.56	13.05	18.15	0.87	2.46
<i>P</i>	0.00	0.00	0.00	0.51	0.11

注:同一列上标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Figures within the same column with different superscripts were significantly different determined by Tukey multiple test($P < 0.05$).

3 讨论

在实验的前期阶段,牙鲆摄食豆粕取代饲料后具有吐出现象,而对全鱼粉组饲料则能较好地适应。这说明以豆粕部分替代鱼粉后,饲料的适口性降低,从而影响了牙鲆的摄食,抑制其生长^[4-6]。本实验中,在豆粕取代饲料中添加复合诱食剂显著提高牙鲆的摄食率和特定生长率,尤其当添加量为1.0%时,牙鲆的摄食率和特定生长率与全鱼粉组均未出现显著差异。这说明添加1.0%的复合诱食剂能够显著提高牙鲆对高豆粕饲料的摄食率,进而促进其生长。这与梁萌青等^[15]的研究结果相似,该研究表明在牙鲆饲料中添加1.0%商业诱食剂同时减少5%的鱼粉用量没有降低其摄食和生长。

本实验选择的7种诱食剂成分均已对牙鲆进行过迷宫实验(数据待发表),结果表明这些单一的成分对牙鲆均有较好的诱食作用,在此基础上通过筛选配比得到了7者的最佳组合比例,本研究所用的复合诱食剂就是按此最佳比例配制而成。同时其他研究者也证明这些诱食剂对养殖动物具有显著诱食效果。Lourdes等^[12]认为甜菜碱和一些商业诱食剂对鲷有很好的诱食效果。中岛谦二研究了鲷和鲤

对一系列含硫化合物的摄食反应,结果表明,DMPT是最有效的诱食剂,可提高实验鱼的咬饵频率^[21]。有关加州鲈鱼的实验则证明甘氨酸对实验鱼有极显著的诱食效果^[22]。吕民主等^[23]研究证明,氧化三甲胺对鲫鱼有极显著的促生长作用,但是当添加量超过2 500 mg/kg饲料时,其促生长效果显著降低。三甲胺使用不当也可以抑制鱼类摄食,当饲料中加入腐败鱼肉产生的三甲胺及其氧化物时能引起大菱鲆、鲈鱼和大鳞大马哈鱼摄食率下降^[24-26]。而且三甲胺具有很强的刺激性气味,对味觉有很强的刺激作用。在本实验中,当诱食剂添加量为1.5%时,牙鲆的摄食率、特定生长率和饲料效率均逐渐下降,这可能与三甲胺的抑制效应有关。对于某一特定的养殖动物而言,复合诱食剂往往比单一诱食剂效果更好。单一的诱食剂可能只对鱼类的嗅觉、视觉或味觉形成单一的刺激,而复合诱食剂往往对鱼类形成综合的诱食刺激,这种刺激更强烈,可以更好地引诱鱼类摄食^[7,10,27]。有机酸和某些氨基酸的结合使用对齐氏罗非鱼有更好的诱食效果^[10]。许国煊等^[27]也证明复合诱食剂比单一的甜菜碱、牛磺酸对大口鲶有更好的诱食效果。

消化酶研究结果表明,不添加诱食剂组(0.0%)牙

胰蛋白酶和氨肽酶活力显著低于全鱼粉组。牙鲆在摄食含有豆粕的饲料后胰蛋白酶活力下降,主要是因为豆粕中含有胰蛋白酶抑制因子和植酸,二者均能够降低牙鲆的蛋白酶活力^[28]。而在饲料中添加1.0%的复合诱食剂后,牙鲆胰蛋白酶和氨肽酶活力显著升高,且与全鱼粉组比较没有出现显著差异,这说明诱食剂在诱导牙鲆摄食的过程中,能够促进牙鲆消化腺分泌更多的与蛋白质代谢相关的酶,从而有利于更好地消化植物蛋白含量高的饲料,提高生长。

4 结论

本实验结果表明,在豆粕蛋白含量较高的饲料(豆粕蛋白替代45%的鱼粉蛋白)中添加1.0%的复合诱食剂($W_{\text{甜菜碱}}: W_{\text{DMPT}}: W_{\text{盐酸三甲胺}}: W_{\text{柠檬酸}}: W_{\text{甘氨酸}}: W_{\text{牛磺酸}}: W_{\text{L-谷氨酸钠}} = 5: 2: 10: 1: 1: 1: 1$)能够显著提高牙鲆对饲料的摄食率,从而促进牙鲆的生长。

参考文献:

- [1] 艾庆辉, 谢小军. 水生动物对植物蛋白源利用的研究进展[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35: 929-935.
- [2] Elangovan A, Shim K F. The influence of replacing fish meal partially in the diet with soybean meal on growth and body composition of juvenile tin foil barb (*Barbodes altus*) [J]. Aquaculture, 2000, 189: 133-144.
- [3] Barros M M, Lim C, Klesius P H. Effect of soybean meal replacement by cottonseed meal and iron supplementation on growth, immune response and resistance of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) to *Edwardsiella ictaluri* challenge [J]. Aquaculture, 2002, 207: 263-279.
- [4] Fowler L G. Substitution of soybean meal and cottonseed products for fish meal in diets fed to Chinook and Coho salmon [J]. Prog Fish-Cult, 1980, 42: 87-91.
- [5] Boonyaratpalin M, Suraneiranat P, Tumpibal T. Replacement of fish meal with various types of soybean products in diets for the Asian seabass, *Lates calcarifer* [J]. Aquaculture, 1998, 161: 67-78.
- [6] Arndt R E, Hardy R W, Sugiura S H, et al. Effects of heat treatment and substitution level on palatability and nutritional value of soy defatted flour in feeds for Coho Salmon, *Oncorhynchus kisutch* [J]. Aquaculture, 1999, 180: 129-145.
- [7] National Research Council (NRC). Nutrient Requirements of Fish [M]. Washington D C: National Academic Press, 1993. 42.
- [8] Goh Y, Tamura T. Effect of amino acids on the feeding behavior of red sea bream [J]. Comp Biochem Physiol, 1980, 66C: 225-229.
- [9] Carr W E S. Chemical stimulation of feeding behaviour [A]. Chemoreception in Fishes [M]. Amsterdam: Elsevier, 1982. 259-273.
- [10] Adams M A, Johnsen P B. Chemical control of feeding in herbivorous and carnivorous fish [A]. Chemical signals in Vertebrates [M]. New York: Plenum, 1986. 45-61.
- [11] Nakajima K, Uchida A, Ishida Y. Effect of supplemental dietary feeding attractant, dimethyl- α -propiethetin on growth of gold-fish [J]. Bull Jpn Soc Fish, 1989, 54: 145-149.
- [12] Reig L, Ginovart M, Flos R. Modification of the feeding behaviour of sole (*Solea solea*) through the addition of a commercial flavour as an alternative to betaine [J]. Aquat Living Resour, 2003, 16: 370-379.
- [13] Kim K D, Lee S M. Requirement of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. Aquaculture, 2004, 229: 315-323.
- [14] Ogata H Y, Oku H, Murai T. Growth, feed efficiency and feed intake of offspring from selected and wild Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. Aquaculture, 2002, 211: 183-193.
- [15] 梁萌青, 常青, 曾端, 等. 诱食剂对牙鲆低鱼粉配方饲料的影响 [J]. 饲料研究, 2004, 4: 34.
- [16] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International, 16th Ed [M]. Association of Official Analytical Chemists Arlington, VA, 1995.
- [17] Holm H, Hanssen L E, Krogdahl A, et al. High and low inhibitor soybean meals affect human duodenal proteinase activity differently: in vivo comparison with bovine serum albumin [J]. J Nutr, 1988, 118: 515-520.
- [18] M tais P, Bieth J. D termination de l' α -amylase par une microtechnique [J]. Ann Biol Clin, 1968, 26: 133-142.
- [19] Maroux S, Louvard D, Baratti J. The aminopeptidase from hog-intestinal brush border [J]. Biochim Biophys Acta, 1973, 321: 282-295.
- [20] Bessey O A, Lowry O H, Brock M J. Rapid coloric method for determination of alkaline phosphatase in five cubic millimeters of serum [J]. J Biol Chem, 1946, 164: 321-329.
- [21] 中岛谦二. 添加摄食引诱剂 DMPT 对海水鱼生长的影响 [J]. 国外水产, 1992, 4: 27-29.
- [22] 吕光俊. 几种氨基酸对加州鲈幼鱼趋向行为影响的观察与分析 [J]. 浙江海洋学院学报 (自然科学版), 2001, 20: 142-145.
- [23] 吕民主, 李梅资, 韦勇. 氧化三甲胺不同添加量对鱼类促生长的研究 [J]. 饲料研究, 2004, 5: 41-43.
- [24] Mackie A M, Adron J W. Identification of inosine and inosine-5'-mono-phosphate as the gustatory feeding stimulants for the turbot, *Scophthalmus maximus* [J]. Comp Biochem Physiol, 1978, 60A: 79-83.
- [25] Mackie A M. Identification of the gustatory feeding stimulants [A]. Chemoreception in Fishes [M]. Amsterdam: Elsevier, 1982. 275-291.
- [26] Hughes S G. Response of first-feeding spring Chinook salmon to four potential feed intake modifiers [J]. Prog Fish-Cult, 1991, 52:

- 15–20.
- [27] 许国焕,丁庆秋,王 燕.几种诱食剂对大口鲶摄食效果的影响[J].水利渔业,2000,20(2):40–41.
- [28] Robaina L, Izquierdo M S, Moyano F J, et al. Soybean and lupin seed meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): nutritional and histological implications[J]. Aquaculture, 1995, 130:219–233.

Effects of a compound feeding attractant on feed intake and growth of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus* Temminck et Schlegel)

CHEN Jing-hua, ZHANG Wen-bing, MAI Kang-sen, AI Qing-hui, WANG Xiao-jie, LIUFU Zhi-guo, MA Hong-ming, TAN Bei-ping, XU Wei

(The Key Laboratory of Mariculture, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: A feeding study was conducted to examine the effects of a compound feeding attractant in the diets containing soybean meal (SBM) on feed intake and growth of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. The compound feeding attractant contained betaine, dimethyl- β -propiothetin, trimethylamine hydrochloride, citric acid, glycine, taurine and L-glutamic acid sodium salt with a ratio of 5: 2: 10: 1: 1: 1: 1. Five isonitrogenous (50.5% crude protein) and isocaloric (20.5 kJ/g) diets were formulated. The control diet (FM diet) contained 70% fish meal as the protein source, while 45% fish meal protein was replaced by SBM protein in the soybean meal diets (SBM diet) supplemented with 0.0%, 0.5%, 1.0% and 1.5% compound feeding attractant. Each diet was randomly fed to triplicate groups of Japanese flounder with initial body weight (3.01 ± 0.04) g. The fish were fed to apparent satiation twice daily (08:00, 16:00). During the experimental period, the water temperature fluctuated between 22.5 °C and 25.5 °C, salinity between 29.5 and 32.0 and dissolved oxygen was not less than 7.0 mg/L. At the end of the 10-week feeding trial, survival and protein efficiency ratio (PER) were not significantly different among dietary treatments ($P > 0.05$). The specific growth rate (SGR) of fish fed SBM diets with 0.0% and 0.5% compound feeding attractant were significantly lower than that in control ($P < 0.05$). However, the SGR of fish fed SBM diets with 1.0% and 1.5% compound feeding attractant were not significantly different from that in control. The fish fed SBM diet containing 1.0% supplemental feeding attractant exhibited significantly higher feed intake (FI, $P < 0.05$) and feed efficiency ratio (FER, $P < 0.05$) than the fish fed SBM diet without supplemental attractant. The FI and FER were not significantly different between the fish fed control diet and SBM diets with compound feeding attractant ($P > 0.05$). The whole-body moisture, crude protein and energy were not significantly affected by the feeding attractant ($P > 0.05$). The whole-body crude lipid in control, and in group of SBM diets with 0.5% and 1.0% feeding attractant were significantly higher than that in group of SBM diet without feeding attractant ($P < 0.01$). The ash in fish fed SBM diets was significantly higher than that in fish fed FM diet ($P < 0.01$). The fish fed SBM diet containing 1.0% compound feeding attractant showed significantly higher activities of trypsin in liver and intestine and leucine aminopeptidase in intestine than the fish fed SBM diet without feeding attractant ($P < 0.01$). The amylase in intestine and lipase in liver were not significantly different among dietary treatments ($P > 0.05$). The results indicate that 1.0% compound feeding attractant added to the SBM diet (SBM protein replaced 45% FM protein) can improve feed intake and growth responses of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(6):959–965]

Key words: *Paralichthys olivaceus*; compound feeding attractant; diet; soybean meal; feed intake; growth

Corresponding author: MAI Kang-sen (K. Mai). E-mail: kmai@ouc.edu.cn