

不同加工工艺的饲料对大菱鲆幼鱼生长及养殖水环境的影响

王际英¹ 李宝山¹ 王世信² 孙永智² 黄炳山¹ 张利民^{1*}

(¹ 山东省海洋生态修复重点实验室 山东省海洋资源与环境研究院,烟台 264006)

(² 山东升索渔用饲料研究中心,烟台 265000)

摘要 比较了两种加工工艺对饲料(D1、D2)颗粒物理性状的影响,并用其投喂初始体重为16 g的大菱鲆幼鱼64 d,比较其对大菱鲆幼鱼生长、饲料利用和养殖水环境的影响。结果显示,D2组饲料平均颗粒直径、平均百粒重和水中稳定性显著高于D1组($P < 0.05$),但其吸水性、堆积密度和沉降速度显著低于D1组($P < 0.05$)。D2组大菱鲆幼鱼的增重率、特异生长率、摄食率及蛋白质效率显著高于D1组($P < 0.05$)。大菱鲆对D2组饲料中干物质和粗蛋白的表观消化率显著高于D1组($P < 0.05$),但对粗脂肪和总磷的表观消化率无显著影响($P > 0.05$)。投喂18 h后,养殖水体中N、P含量均有了显著升高,D2组每升水中每千克鱼产生的亚硝酸盐含量显著高于D1组($P < 0.05$),但硝酸盐和总氮增加量显著低于D1组($P < 0.05$);D2组活性磷酸盐及总磷酸盐增加量显著低于D1组($P < 0.05$)。研究结果表明,不同的加工工艺显著影响了颗粒饲料的物理性状和饲料利用,并对养殖水环境造成了影响。

关键词 大菱鲆;加工工艺;物理性状;生长性能;养殖水环境

中图分类号 S963.7 文献标志码 A 文章编号 1000-7075(2014)03-0060-08

Effects of different feed processing on the growth and the aquaculture environment of turbot juvenile *Scophthalmus maximus*

WANG Ji-ying¹ LI Bao-shan¹ WANG Shi-xin² SUN Yong-zhi²
HUANG Bin-shan¹ ZHANG Li-min^{1*}

(¹ Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006)

(² Shandong Shengsuo Fishery Feed Research Center, Yantai 265000)

ABSTRACT Feed processing technology was a main factor which affects the quality of feed particle and its utilization by cultured animals. In this study, we compared two feed produced with different processing technologies in terms of their physical properties, their effects on the growth of turbot juvenile, and their effects on feed utilization and the aquaculture environment. Two kinds of diets (D1 and D2) were fed to turbot juvenile *Scophthalmus maximus* with initial weight of 16 g for 64 d. D2 showed significantly higher values than D1 ($P < 0.05$) in the average diameter of feed pellets, the average

国家海洋公益性行业科研专项“海水鱼低碳高效养殖关键技术集成与示范”(201205025)、国家海洋公益性行业科研专项“南海深水区高值鱼类大型网箱健康养殖关键技术集成与示范”(201205028)和山东省水生动物营养与饲料“泰山学者”岗位经费共同资助

* 通讯作者。E-mail: zhanglimin@126.com

收稿日期:2013-06-02;接受日期:2013-06-27

作者简介:王际英(1965-),女,研究员,主要从事水生动物营养与饲料方面的研究。E-mail:ytwjy@126.com, Tel:(0535)6395688

weight of 100 feed pellets, and the water stability, but also showed significantly lower values regarding the water absorption, the bulk density, and the settling velocity ($P < 0.05$). The weight gain rate, specific growth rate, feed intake rate, and protein efficient rate of turbot juvenile fed with D2 were all significantly higher than the D1 group ($P < 0.05$). The apparent digestibility coefficient (ADC) of dry matter and crude protein of D2 group was also significantly higher than D1 group ($P < 0.05$). However there were no differences in ADCs of crude lipid and total phosphorus between the two groups ($P > 0.05$). The nitrogen and phosphorus levels in the aquarium increased significantly after 18 h feeding. The nitrite nitrogen per liter water produced by one kilogram of D2 fish was significantly higher than that produced by D1 fish ($P < 0.05$); whereas the nitrate nitrogen and the total nitrogen produced by D2 were significantly lower ($P < 0.05$). The labile phosphate and total phosphate produced by D2 group were also significantly lower than those of D1 group ($P < 0.05$). The results suggested that the physical properties of feed pellets, the feed utilization, and the aquaculture environment could be all affected by different processing techniques.

KEY WORDS Turbot *Scophthalmus maximus*; Processing technology; Physical properties; Growth performance; Aquaculture environment

大菱鲆 *Scophthalmus maximus* 隶属于鲽形目 Pleuronectiformes、鲆科 Bothidae、菱鲆属 *Scophthalmus*, 具有生长速度快、经济价值高等优点, 是我国北方重要的大型经济型鱼类。大菱鲆经人工驯化后可摄食配合饲料, 且摄食凶猛, 特别适合大规模集约化养殖。目前, 针对大菱鲆研究主要集中在种质、养殖技术以及营养学需求等方面(吴莹莹等 2012; 陈松林等 2005; 郑珂珂等 2010; Dietz *et al.* 2012; 高淳仁等 2008; 张海涛等 2013; 韩明明等 2013), 而对其饲料加工工艺的研究报道较少。

加工工艺是饲料生产中的重要环节, 也是确保饲料工业和养殖业健康稳定发展的关键因子之一。随着饲料工业的发展, 饲料加工机械越来越先进, 工艺的选择也越来越重要。粉碎、混合、调质、制粒、后熟化等工艺不仅影响饲料中营养物质的保留率和饲料的物理性状(刘雄伟等 2007; 宋晓旻等 2005), 而且影响养殖动物对配合饲料的转化率。

进料速度、调制器温度、主机筒温度和主机频率是饲料工业化生产中的4个可控关键参数。调整这4个参数, 可以改变饲料颗粒的密度、膨化度及耐久度。因此, 本研究在已有加工工艺(D1)的基础上, 通过调节4个关键参数, 以探究其对饲料物理性状的影响, 并比较不同加工工艺的饲料对大菱鲆幼鱼生长、饲料利用及养殖水环境的影响。

1 材料与方法

1.1 实验饲料的制作

根据大菱鲆幼鱼的营养需求, 以鱼粉为主要蛋白源, 鱼油为主要脂肪源, 设计粗蛋白含量为48%、粗脂肪含量为13%的实验饲料。饲料配方及营养组成见表1。设定饲料配方及工艺参数后, 用温格尔饲料挤压机(Wenger X160, USA)加工成颗粒饲料, 加工工艺参数见表2。

1.2 饲料物理性状的测定

平均粒径:将颗粒饲料样品平摊在白纸上, 从中随机取50个颗粒, 用精确度为0.01 mm的游标卡尺测量其直径, 取其平均值。

平均百粒重:将颗粒饲料样品平摊在白纸上, 用直尺按照排列顺序数出100个颗粒, 用0.1 mg的天平称其

质量,每个饲料样品测量 10 次,取其平均值。

表 1 实验饲料配方及其基本成分

Table 1 Ingredients and proximate composition of the experimental diets

成分 Ingredients	含量 Content(%)	成分 Ingredients	含量 Content(%)
鱼粉 Fish meal	50.00	甜菜碱 Betaine	0.30
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrated	16.00	抗氧化剂 Antioxidant	0.10
牛磺酸 Taurine	1.00	Cr ₂ O ₃	0.50
乌贼内脏粉 Squid visceral meal	3.00	合计 Total	100
鱼油 Fish oil	8.00	基本成分 Basic components(DM)	
α-淀粉 α-Starch	6.60	粗蛋白 Crude protein	47.97
面粉 Wheat flour	10.00	粗脂肪 Crude lipid	12.82
复合维生素 ^a Vitamin premix	1.00	灰分 Ash	13.67
复合矿物质 ^b Mineral premix	2.00	总能 Gross energy(kJ/g)	20.72
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	总磷 Total phosphorus	1.23
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O	1.00	Cr ₂ O ₃	0.46

a, b, 维生素及矿物质预混料配方见侯华鹏等(2012)

a, b, formulas of vitamin and mineral premix are the same as Hou Huapeng (2012)

表 2 饲料加工工艺参数

Table 2 Parameters of feed processing technology

工艺参数 Feed processing parameters	组别 Groups	
	D1	D2
进料速度 Charging rate(Hz)	50	70
调制器温度 Modular temperature(°C)	90	95
主机筒温度 Main barrel temperature(°C)	70	95
主机频率 Host frequency (%)	38	46

水中稳定性:参照 SC/T 1077-2004,并有所改进。取 10 g(精确到 0.1 g)样品,放入 60 目圆筒形网筛中。将网筛置于(25 ± 2)°C 的海水中 5 min 后,将网筛缓慢提至水面,再缓慢沉入水中,使饲料离开筛底,反复 3 次后,斜置网筛,沥干水分。将网筛中的饲料置于 105°C 烘箱烘干至恒重,称重(m_2)。同时,称取一份饲料测定其干物质重量(m_1)。饲料水中稳定性(%) = $(m_1 - m_2)/m_1 \times 100$ 。

吸水性:将饲料样品粉碎并过 60 目筛,准确称取 4 g(精确到 0.1 mg)粉料,置于 50 ml 具塞离心管中,称重(m_1),沿壁缓缓加入蒸馏水 30 ml,用漩涡振荡器间歇振荡 30 min 后,以 1000 g 离心分离 10 min,将离心管内上层液体沥干后称重(m_2)。吸水性(%) = $4/(m_2 - m_1) \times 100$ 。

1000 ml 堆积密度:将饲料样品沿壁缓慢倒入 1000 ml(V)量筒中,不要振动,避免量筒内出现较大空隙。填满量筒后,用直尺将量筒上边缘的颗粒削平,用 0.1 mg 的天平称量筒内饲料的重量(m), m 与 V 的比值为堆积密度,每个饲料样品测定 20 次,取其平均值。

30 cm 沉降速度:参照杨俊成等(2000)、刘峰(2007),并有所改进。在一个容积为 500 ml 的量筒中盛上脱气蒸馏水,取几粒饲料预先在除气蒸馏水中浸泡 20 s,然后用吸管将饲料颗粒放在水柱的弯月面下面,用秒表记录饲料颗粒下沉 30 cm 所用的时间,精度为 0.01 s。重复 30 次。下沉距离(30 cm)与 30 次平均下沉时间的比值即为沉降速度。

饲料耐久度(PDI):采用 Holman NHP200 颗粒饲料耐久性指数测定仪测定。

1.3 大菱鲆生长及消化率实验

大菱鲆生长实验于 2013 年 4 月 23 日 - 2013 年 6 月 18 日在山东省海洋资源与环境研究院海水循环养殖

系统中进行,养殖实验持续 64 d。试验用大菱鲆购自蓬莱宗哲养殖有限公司,为当年孵化同一批鱼苗。正式实验前,1000尾大菱鲆幼鱼暂养于养殖系统中 14 d,待其适应养殖系统后,饥饿 24 h,随机挑选规格整齐、体质健壮、初始体重为 16 g 的幼鱼 480 尾,平均置于 12 桶中。实验分为两个处理,分别为加工工艺一组(D1)和加工工艺二组(D2),每个处理 6 个重复,每个重复 40 尾鱼。养殖水桶高 80 cm、直径 70 cm,准确控制水位为 45 cm。水质条件:水温(15 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$,盐度 28 - 30, pH 7.8 - 8.2,溶氧 > 5 mg/L,氨氮、亚硝酸氮浓度均 < 0.1 mg/L。每天饱食投喂一次(15:00),投喂 30 min 后从排水口将残饵排出,数颗粒计算残饵重量。养殖实验结束前 14 d,在投饵后 6 h 从系统自带的粪便收集系统收集粪便,用 80 目金属网过滤,再用蒸馏水冲洗两次后,置于 -80°C 冰柜中,待分析。

1.4 养殖水环境影响实验

大菱鲆生长实验结束后,每个处理中挑选 90 尾规格接近、体质健壮鱼,随机平均置于 3 个水桶中,精确控制水深 45 cm,驯化 2 d,饱食投喂后 30 min,排出残饵,封闭水循环系统并保持微充气状态。封闭水循环后 18 h,用 PVC 采样瓶采集水桶相同位置的水样 500 ml,处理后置于冰柜中,并与 24 h 内测定水样中的亚硝酸氮、氨氮、硝酸氮、总氮、活性磷酸盐、总磷含量。

1.5 生长指标测定

增重率($WGR, \%$) = (试验结束时鱼体重量 - 试验开始时鱼体重量) / 试验开始时鱼体重量 $\times 100$

特定生长率($SGR, \%/d$) = $(\ln$ 试验结束时鱼体重量 - \ln 试验开始时鱼体重量) / 实验天数 $\times 100$

饲料系数(FCR) = 摄食量 / (试验结束时鱼体重量 - 试验开始时鱼体重量)

摄食率($DFI, \%/d$) = 摄食量 / [(试验结束时鱼体重量 + 试验开始时鱼体重量) / 2 \times 实验天数] $\times 100$

蛋白质效率($PER, \%$) = (试验结束时鱼体重量 - 试验开始时鱼体重量) / (摄食量 \times 饲料中粗蛋白含量) $\times 100$

成活率($SR, \%$) = 试验结束时鱼数 / 试验开始时鱼数 $\times 100$

表观消化率($ADC, \%$) = $[1 - (\text{饲料 } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量} \times \text{粪便营养索含量}) / (\text{粪便 } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量} \times \text{饲料营养索含量})] \times 100$

1.6 饲料常规成分测定

水分采用烘干恒重法(105°C , GB/T 6435-2006);粗蛋白采用凯氏定氮法(FOSS Kjeltec™ 2100, GB/T 6432-94);粗脂肪采用乙醚浸提法(GB/T 6433-94);灰分采用马福炉灼烧法(550°C , GB/T 6438-2007);能量采用燃烧法(PARR, 6100);饲料中氨基酸采用酸水解法,用安捷伦 1200 系列高效液相色谱仪测定;饲料和粪便中 Cr_2O_3 的测定参考顾宪红等(2006)、朱晓鸣等(2006)的方法,经高氯酸和硝酸消化后,用 AA-800 原子吸收分光光度计石墨炉法测定。

1.7 养殖水环境指标测定

亚硝酸氮和氨氮总含量采用次溴酸盐氧化法(GB17378.4-2007);硝酸氮采用镉柱还原法(GB17378.4-2007);总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ636-2012);活性磷酸盐采用硅钼蓝分光光度法(GB17378.4-2007);总磷采用钼酸铵分光光度法(GB11893-1989)。

1.8 数据处理

实验所得数据采用 SPSS 11.0 软件进行独立样本的 T 检验(Independent-Sample T Test)及单因素方差分析(OneWay ANOVA),结果以平均值 \pm 标准误差(Mean \pm SD)表示,差异显著($P < 0.05$)时用 Duncan's 检验进行多重比较分析。

2 结果

2.1 不同加工工艺对饲料颗粒物理性状的影响

不同加工工艺对饲料物理性状的影响见表3。D1组饲料颗粒的平均粒径、平均百粒重、水中稳定性以及饲料耐久度均显著低于D2组($P < 0.05$),但其吸水性、1000 ml堆积密度和30 cm沉降速度显著高于D2组。

表3 不同加工工艺对饲料物理性状的影响

Table 3 Effects of different processing technology on physical properties of feed

物理性状 Physical properties	组别 Groups	
	D1	D2
平均粒径 Average diameter (mm)	1.14 ± 0.01 ^a	1.27 ± 0.01 ^b
平均百粒重 Average pellets weight (g)	1.49 ± 0.00 ^a	1.54 ± 0.03 ^b
水中稳定性 Water stability (%)	4.09 ± 0.01 ^b	3.85 ± 0.04 ^a
饲料耐久性指数 Pellets durability index (PDI, %)	94.28 ± 0.04 ^a	96.52 ± 0.03 ^b
吸水性 Water absorption (%)	46.52 ± 1.13 ^b	43.12 ± 0.79 ^a
1000 ml堆积密度 Bulk density (g/ml)	0.65 ± 0.00 ^b	0.58 ± 0.00 ^a
30 cm沉降速度 Settling velocity (cm/s)	5.56 ± 0.04 ^a	2.59 ± 0.07 ^b

注:同行上标字母不同,表示二者之间差异显著($P < 0.05$)

Note: Data in the same column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

2.2 不同加工工艺对饲料中氨基酸含量的影响

由表4可见,与D1组实验饲料相比,D2组实验饲料中含硫氨基酸含量有了显著的降低($P < 0.05$),其中蛋氨酸(Met)的含量下降约5%,半胱氨酸(Cys)的含量下降约15.42%,不同的加工工艺对其他氨基酸含量无显著影响($P > 0.05$)。

2.3 不同饲料对大菱鲂幼鱼生长性能及ADC的影响

不同饲料对大菱鲂幼鱼生长性能及ADC的影响见表5。D2组大菱鲂的DFT、WGR、SGR、PER均显著高于D1组($P < 0.05$),与D1组相比,D2组的WGR、SGR和PER分别提高了36.38%、23.81%和16.73%;D2组的FCR显著低于D1组($P < 0.05$)。不同饲料对大菱鲂幼鱼成活率没有影响。大菱鲂对D2组饲料中干物质及粗蛋白的ADC显著高于D1组($P < 0.05$),但是对粗脂肪和总磷的ADC无显著影响($P > 0.05$)。

表4 饲料氨基酸组成

Table 4 Amino acids composition of experimental diets

氨基酸 Amino acids	组别 Groups	
	D1 (mg/kg diet, DM)	D2 (mg/kg diet, DM)
天冬氨酸 Asp	45.49 ± 1.48	46.17 ± 0.13
谷氨酸 Glu	59.93 ± 0.08	60.86 ± 0.85
丝氨酸 Ser	18.79 ± 0.05	17.33 ± 1.49
苏氨酸 Thr	23.63 ± 0.88	25.50 ± 0.51
精氨酸 Arg	22.00 ± 0.51	22.66 ± 0.52
甘氨酸 Gly	25.14 ± 0.73	24.11 ± 0.23
丙氨酸 Ala	34.45 ± 1.81	34.29 ± 0.67
缬氨酸 Val	19.99 ± 0.41	19.21 ± 0.06
蛋氨酸 Met	9.54 ± 0.00 ^b	9.08 ± 0.73 ^a
异亮氨酸 Ile	24.42 ± 1.30	24.24 ± 0.03
亮氨酸 Leu	37.50 ± 0.98	38.55 ± 0.48
苯丙氨酸 Phe	17.46 ± 0.07	17.48 ± 0.58
半胱氨酸 Cys	5.24 ± 0.56 ^c	4.54 ± 0.19 ^a
赖氨酸 Lys	27.80 ± 1.61	28.56 ± 0.46
组氨酸 His	11.12 ± 0.07	10.89 ± 0.08
酪氨酸 Tyr	9.45 ± 0.22	9.34 ± 0.16
总计 Total	391.96 ± 4.92	394.83 ± 9.01

注:同行上标字母不同,表示二者之间差异显著($P < 0.05$)

Note: Data in the same column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

2.4 不同饲料对大菱鲆幼鱼养殖水环境的影响

实验开始前及投喂 18 h 后,不同饲料对大菱鲆幼鱼养殖水环境的影响见表 6。由表 6 可见,实验开始前,水体中氨氮及亚硝酸氮的含量均较低[0.02 mg/(L·kg)、0.00 mg/(L·kg)];投喂 18 h 后,水体中 N、P 含量均有了显著的升高,但不同饲料对水体中 N、P 含量的影响存在较大差异。D2 组每升水中每千克鱼产生的亚硝酸氮含量显著高于 D1 组 ($P < 0.05$),但硝酸氮、总氮、活性磷酸盐及总磷酸盐含量显著低于 D1 组 ($P < 0.05$),其中 D2 组总氮及总磷的增加量较 D1 组分别降低 10.47% 和 56.76%。不同饲料对水体中氨氮的增加量无显著影响 ($P > 0.05$)。

表 5 不同饲料对大菱鲆幼鱼生长性能及 ADC 的影响

Table 5 Effects of different feed on growth performance and ADC of turbot juvenile

生长性能及 ADC Growth performance and ADC		组别 Groups	
		D1	D2
均初体重	Initial body weight (IBW, g)	16.13 ± 0.43	15.97 ± 0.39
均末体重	Final body weight (FBW, g)	31.65 ± 0.60 ^a	36.94 ± 0.78 ^b
WGR	Weight gain rate (WGR, %)	96.24 ± 4.12 ^a	131.25 ± 3.08 ^b
SGR	Specific growth rate (SGR, %/d)	1.05 ± 0.03 ^a	1.30 ± 0.02 ^b
DFI	Daily feed intake (DFI, %)	0.80 ± 0.01 ^a	0.83 ± 0.01 ^b
FCR	Feed coefficient rate (FCR)	0.79 ± 0.03 ^b	0.68 ± 0.01 ^a
PER	Protein efficient rate (PER, %)	2.63 ± 0.09 ^a	3.07 ± 0.03 ^b
SR	Survival rate (SR, %)	100	100
干物质 ADC	Apparent digestibility coefficient of dry matter (%)	70.44 ± 1.27 ^a	74.13 ± 0.54 ^b
粗蛋白 ADC	Apparent digestibility coefficient of crude protein (%)	90.25 ± 1.78 ^a	93.84 ± 0.99 ^b
粗脂肪 ADC	Apparent digestibility coefficient of crude lipid (%)	91.30 ± 1.13	91.88 ± 2.41
磷 ADC	Apparent digestibility coefficient of total phosphorus (%)	32.85 ± 2.29	33.61 ± 3.44

注:同行上标字母不同,表示二者之间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Data in the same column with different letters are significantly different ($P < 0.05$)

表 6 不同饲料对大菱鲆幼鱼养殖水环境的影响 [mg/(L·kg)]

Table 6 Effects of different feed on aquaculture environment of turbot juvenile [mg/(L·kg)]

水环境指标 Index of aquaculture environment	组别 Groups		
	对照 Control (0 h)	D1 (18 h, Δ)	D2 (18 h, Δ)
氨氮 Ammonia nitrogen	0.02 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.01 ^b (0.03)	0.05 ± 0.00 ^b (0.03)
亚硝酸氮 Nitrite nitrogen	0.004 ± 0.001 ^a	0.05 ± 0.01 ^b (0.046)	0.09 ± 0.00 ^c (0.086)
硝酸氮 Nitrate nitrogen	60.99 ± 0.43 ^a	66.99 ± 2.25 ^c (6.00)	62.72 ± 1.01 ^b (1.73)
总氮 Total nitrogen	76.44 ± 3.28 ^a	102.05 ± 0.34 ^c (26.61)	92.38 ± 6.85 ^b (15.94)
活性磷酸盐 Labile phosphate	15.20 ± 1.85 ^a	18.42 ± 0.32 ^c (3.22)	17.10 ± 0.54 ^b (1.90)
总磷酸盐 Total phosphate	17.38 ± 0.42 ^a	20.97 ± 0.70 ^c (3.59)	19.67 ± 0.23 ^b (2.29)

注:同行上标字母不同,表示二者之间差异显著 ($P < 0.05$)。Δ 表示该组数值与对照组数值的差值

Note: Data in the same column with different letters are significantly different ($P < 0.05$). Δ means the difference between experimental and control groups

3 讨论

3.1 不同加工工艺对颗粒饲料物理性状的影响

影响饲料物理性状的因子有很多,在饲料配方及加工机械确定的前提下,温度、压力、剪切力等因子的变化对饲料物理性状的影响显著(程译峰 2008;张铁英等 2003)。本研究选择的 4 个参数均为可控变量,研究

表明,进料速度主要影响饲料的制粒速度,调制器温度主要影响饲料中淀粉糊化及蛋白质变性(李石强等 2004),改变饲料的耐水性(程秀花等 2007;王中华 2010),主机筒温度主要影响饲料的膨化率(杨红军等 2007;单达聪等 2007),主机频率主要影响饲料的密度(谢正军等 2002)。参数之间又存在复杂的相互影响关系(陶建新等 2006;McEllhiney 1996)。本研究中,提高进料速度、调制器温度、主机筒温度和主机频率,显著提高了饲料的颗粒粒径、平均百粒重、水中稳定性和饲料的耐久度,降低了饲料吸水率和沉降速度。

沉降速度是饲料主要的物理性状之一,颗粒饲料据其不同的沉降速度,可以分为漂浮性、悬浮性、缓沉性和速沉性4种(刘雄伟等 2007)。饲料颗粒在水中的沉降速度与饲料的密度及吸水率有关(宋晓旻等 2005)。本研究证明,饲料的沉降速度与其吸水性存在一定的正相关关系。根据不同的养殖动物的摄食习性,采用相应沉降速度的饲料,可以提高饲料的利用率,减轻养殖水环境的负担。本研究中,D2组的DFI显著高于D1组,说明大菱鲂更适合摄食缓沉性饲料(2.59 cm/s),且由于D2组饲料的水中稳定性高于D1组,在投喂相同质量的饲料情况下,D2组饲料对水环境造成的压力显著低于D1组。

颗粒饲料的耐久性指数(PDI, Pellet Durability Index)是衡量颗粒饲料成品在输送和搬运过程中抗破碎的相对能力(程宗佳 2004),饲料的PDI主要受饲料的生产温度及产量的影响(李令芳 2008)。在本研究的4个工艺参数中,进料速度、调制器温度和主机筒温度是控制饲料生产温度及产量的关键因子,改变这3个参数,显著改变了颗粒饲料的PDI。D2组的饲料PDI显著高于D1组,说明D2组饲料在运输中产生的粉尘显著小于D1组,从而有利于提高D2组饲料的利用率。

3.2 不同加工工艺饲料对大菱鲂幼鱼生长的影响

加工工艺不仅影响了颗粒饲料的物理性状,也对饲料中的营养成分造成了影响。研究表明,随着进料速度的增加,增强了螺杆的剪切和挤压作用,淀粉糊化度小幅度提高,蛋白质体外消化率增加,蛋白质变性程度增大(程译峰 2008;邢建军等 2001)。物料流量的增加尽管会引起压力的上升,但仍然可以提高 V_{B1} 、 V_{B2} 、 V_{B12} 等在产品中的存留量。随着调质和制粒温度的升高,淀粉的糊化度随之升高,但当温度超过85℃后,淀粉糊化度差异不显著(程译峰 2008);随着加工温度的升高,饲料中蛋白质发生美拉德反应的几率增高,但蛋白质体外消化率也随之递增。本研究中,随着调质温度和主机筒温度的提高,饲料中含硫氨基酸(蛋氨酸、半胱氨酸)遭到了一定程度的破坏,但是对其他氨基酸的影响不显著。大菱鲂生长实验结果显示,D2组实验鱼的WGR和DFI显著高于D1组,FCR数显著低于D1组,说明实验鱼对D2组饲料的利用更好。通过对饲料营养学的进一步研究表明,实验鱼对D2饲料中蛋白质的利用率较高(D2组饲料蛋白质效率及粗蛋白的ADC均显著高于D1组,而粗脂肪的ADC无差异),从而获得了更好的生长性能及饲料利用。因此,D2工艺不但能加工出适合大菱鲂摄食的饲料颗粒,而且能提高大菱鲂对饲料中蛋白质的利用率。

3.3 不同加工工艺的饲料对养殖水环境的影响

饲料是养殖水体中N、P元素的主要来源(Axler *et al.* 1996; Benfey *et al.* 2001),水体中的N、P元素主要由无机和有机两种形态组成(沈培 2011)。本研究中,投喂18 h后,养殖水体中三态氮(氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮)含量增长均低于10%,而有机氮(总氮-三态氮)含量均有了极显著的增高(126.77%、304.08%),说明养殖过程主要增加了水体中有机氮的含量,而代谢产生的无机氮对水体中氮元素的增加指数影响较小,与徐永健等(2004)在网箱养殖对环境造成的影响方面的研究相反,这可能与养殖环境及管理策略有关。水体中的有机氮主要由可溶性蛋白质、尿素及维生素组成(沈培 2011),有机氮的增加量反映了养殖动物对饲料中蛋白质的利用,本研究结果表明,D2加工工艺显著提高了大菱鲂对饲料中蛋白质的消化吸收率,从而降低了养殖水环境中有机氮的增加量。

目前,随着人们对养殖污染的重视,关于水生动物对磷的利用的研究也越来越多,但大多集中在总磷的消化率方面(刘行彪等 2012),而对于养殖中活性磷酸盐的排放的研究相对较少,且研究方法存在争议(杨雨虹等 2008)。水环境中的活性磷酸盐可以直接被植物、细菌和藻类利用,是造成水体富营养化的主要影响因素之一(雷泽湘等 2006;高光等 2000)。本研究中,大菱鲂幼鱼对两组饲料中磷的ADC无显著差异,但投喂

18 h 后,实验组养殖水体中活性磷酸盐的增加量分别为 3.22、1.90 mg/(L·kg),总磷酸盐的增加量分别为 3.59、2.29 mg/(L·kg),而非活性磷酸盐(总磷酸盐、活性磷酸盐)的增加量分别为 0.37、0.39 mg/(L·kg)。可见,D2 加工工艺显著提高了大菱鲆对饲料中活性磷酸盐的吸收利用率,而对非活性磷酸盐的消化吸收率影响不显著,具体原因有待于进一步研究。

参 考 文 献

- 王中华. 2010. 饲料加工工艺与设备. 北京: 化学工业出版社
- 刘雄伟, 付起鹏. 2007. 水产膨化饲料沉浮性的控制. 渔业现代化, 2:45-46
- 刘峰. 2007. 大黄鱼和半滑舌鳎仔稚鱼人工微颗粒饲料蛋白源选择及其加工工艺相关研究. 中国海洋大学博士研究生学位论文
- 刘行彪, 黄可, 付熊, 吴晗冰, 杨雨虹. 2012. 植酸酶对斑点叉尾鱼回生长性能及磷当量的研究. 水生生物学报, 36(1):57-65
- 李石强, 姚军虎, 成连胜. 2004. 影响颗粒饲料质量的因素. 饲料博览, 3:34-36
- 李令芳. 2008. 影响颗粒饲料耐久性指数的因素及其控制. 饲料工业, 29(1):3-5
- 朱晓鸣, 解绶启, 雷武, 杨云霞, 聂光汉. 2006. 鱼类消化率测定方法. 中华人民共和国水产行业标准(SC/T 1089)
- 邢建军, 李德发, 代建国. 2001. 颗粒饲料加工工艺研究进展. 饲料工业, 22(8):7-10
- 吴莹莹, 柳学周, 王清印, 邱兆星. 2012. 大菱鲆成熟精子、卵子及精子入卵早期过程的电镜观察. 渔业科学进展, 33(3):42-47
- 张铁英, 曹振辉, 葛长荣. 2003. 制粒工艺对饲料质量影响的研究. 江西饲料, 6:27-29
- 张海涛, 梁萌青, 郑珂珂. 2013. 饲料中维生素 C 对大菱鲆繁殖性能的影响. 渔业科学进展, 34(1):73-81
- 陈松林, 刘云国, 季相山. 2005. 精子冷冻保存对大菱鲆后代遗传结构影响的微卫星分析. 高技术通讯, 15(6):87-91
- 杨红军, 时建忠, 顾宪红, 王君华. 2007. 膨化生产 SPF 动物饲料的尝试. 粮食与饲料工业, 6:33-35
- 杨雨虹, 王枫, 王雷, 王瑞霞, 王裕玉, 陆阳, 张永根. 2008. 植酸酶对金鳟磷及水环境中磷含量的影响. 淡水渔业, 38(5):55-60
- 杨俊成, 于庆龙, 秦玉昌, 李军国. 2000. 饲料物理性能指标的测定方法. 中国饲料, 17:23-24
- 宋晓旻, 吴德胜. 2005. 鱼饲料密度的控制方法. 渔业现代化, 1:44-45
- 沈培. 2011. 养殖水体中的氮循环. 科学养鱼, 2:78
- Robert R McEllhiney 主编, 沈再春等译校. 1996. 饲料制造工艺. 北京: 中国农业出版社
- 单达聪, 季海峰, 王雅民. 2007. 干法膨化宠物饲料技术参数关系的研究. 饲料工业, 28(17):2-4
- 郑珂珂, 方伟, 孔凡华, 常青, 梁萌青. 2010. 大菱鲆幼鱼的摄食节律及适宜投喂时间. 渔业现代化, 37(5):26-30
- 侯华鹏, 马睿, 张文兵, 麦康森. 2012. 饲料中过量添加晶体蛋氨酸和蛋氨酸羟基类似物对大菱鲆生长、饲料利用和抗氧化反应的影响. 中国海洋大学学报, 42(3):36-43
- 高淳仁, 王印庚, 杨志, 曲江波, 梁萌青, 常青, 朱建新, 马爱军. 2008. 饲料中添加不同脂肪源、V_C 和 V_E 对大菱鲆生长和非特异性免疫的影响. 海洋水产研究, 29(2):65-72
- 高光, 高锡芸, 秦伯强, 季江. 2000. 太湖水体中碱性磷酸酶的作用阈值. 湖泊科学, 12(4):353-358
- 陶建芳, 刘来亭, 冯建新. 2006. 膨化水产饲料的密度控制技术. 河南水产, 4:25-26
- 顾宪红, 李文英, 张萍. 2006. 饲料中铬的测定. 中华人民共和国国家标准(GB/T 13088)
- 徐永健, 钱鲁闽. 2004. 海水网箱养殖对环境的影响. 应用生态学报, 15(3):532-536
- 程译峰. 2008. 加工工艺对鲤鱼饲料营养和卫生的影响. 江南大学硕士研究生学位论文
- 程秀花, 杨应举. 2007. 加工工艺参数对水产颗粒料耐水性的影响. 饲料工业, 28(23):1-3
- 程宗佳. 2004. 饲料生产的质量管理方法及实验参数对动物生产性能的影响:(一)颗粒饲料稳定性指标. 饲料广角, 20:31-32
- 韩明明, 丁福红, 孟振. 2013. 大菱鲆不同繁殖期的精子质量分析. 渔业科学进展, 34(5):31-35
- 谢正军, 赵建伟, 周秋香. 2002. 调质对膨化的影响. 饲料工业, 23(6):3-4
- 雷泽湘, 谢贻发, 徐德兰, 刘正文. 2006. 大型水生植物对富营养化湖水净化效果的试验研究. 安徽农业科学, 34(3):553-554
- Axler R, Larsen C, Tikkanen C and 3 others. 1996. Water quality issues associated with aquaculture: A case study in mine pit lakes. Wat Env Res 68:995-1011
- Benfey TJ. 2001. Use of sterile triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) for aquaculture in New Brunswick, Canada. ICES J Mar Sci 58:525-529
- Dietz C, Kroeckel S, Schulz C and 1 other. 2012. Energy requirement for maintenance and efficiency of energy utilization for growth in juvenile turbot (*Psetta maxima*, L.): The effect of strain and replacement of dietary fish meal by wheat gluten. Aquaculture(358-359):98-107