



李小霞, 柳碧薇, 雷小婷, 等. 养殖鱼类对干啤酒糟和发酵啤酒糟饲料的表现消化率[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(5): 1-6.

养殖鱼类对干啤酒糟和发酵啤酒糟饲料的表现消化率

李小霞¹, 柳碧薇¹, 雷小婷¹, 胡文锋², 潘庆¹

(1 华南农业大学 动物科学学院, 广东 广州 510642; 2 华南农业大学 食品学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】研究草鱼 *Ctenopharyngodon idellus*、尼罗罗非鱼 *Oreochromis niloticus*、黄颡鱼 *Peltobagrus fulvidraco* 和高体革鲮 *Scortum barcoo* 对干啤酒糟和发酵啤酒糟干物质、粗蛋白质、粗脂肪和粗纤维的表现消化率, 评价干啤酒糟和发酵啤酒糟对鱼类的营养价值。【方法】以 Cr_2O_3 为外源指示剂, 以 70% 基础饲料和 30% 待测饲料组成试验饲料, 饲养试验鱼 4 周后, 用虹吸法收集粪便。【结果】不同鱼种对干啤酒糟和发酵啤酒糟饲料的表现消化率存在极显著差异 ($P < 0.001$); 草鱼和尼罗罗非鱼对干啤酒糟和发酵啤酒糟饲料的表现消化率显著高于黄颡鱼和高体革鲮 ($P < 0.05$); 经发酵处理后, 4 种试验鱼对发酵啤酒糟饲料中主要营养成分的表现消化率均显著高于对干啤酒糟饲料的表现消化率 ($P < 0.05$)。【结论】草食性和杂食性鱼类可以较好地利用干啤酒糟, 而肉食性鱼类的利用能力较差; 发酵处理使鱼类对干啤酒糟的利用能力得到有效改善; 发酵啤酒糟可在草食性和杂食物性鱼类中适量应用, 但在肉食性鱼类中仍要限制其用量。

关键词: 鱼; 干啤酒糟; 发酵啤酒糟; 表现消化率
中图分类号: S963.16

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2016)05-0001-06

Apparent digestibility coefficients of dried or fermented brewer's grains for cultured fish

LI Xiaoxia¹, LIU Biwei¹, LEI Xiaoting¹, HU Wenfeng², PAN Qing¹

(1 College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】To determine the apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude lipid and crude fiber of dried or fermented brewer's grains in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*), tilapia (*Oreochromis niloticus*), yellow catfish (*Peltobagrus fulvidraco*) and *Scortum barcoo*. 【Method】The experimental diets were consisted of 70% basal diet and 30% test feed ingredients, and Cr_2O_3 was added as an exogenous indicator. The fecal samples were collected by siphon after four weeks of feeding. 【Result】The apparent digestibility coefficients of dried and fermented brewer's grains in different fish were significantly different ($P < 0.001$). The apparent digestibility coefficients of dried and fermented brewer's grains in grass carp and tilapia were significantly higher compared with those in yellow catfish and *Scortum barcoo* ($P < 0.05$). After fermentation, the apparent digestibility coefficients of fermented brewer's grain significantly increased compared to those of dried brewer's grain in four fish species ($P < 0.05$). 【Conclusion】Herbivorous and omnivorous fish can utilize the dried brewer's grain better compared with carnivorous fish. The utilization of dried brewer's grain in fish can be improved by fermentation. Fermented brewer's grain can be used in considerable amounts for herbivorous and omnivorous fish, but only in limited amounts for carnivorous fish.

收稿日期: 2016-01-27 优先出版时间: 2016-07-05

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20160705.1200.050.html>

作者简介: 李小霞 (1985—), 女, 博士研究生, E-mail: xiaoxl@jany@163.com; 通信作者: 潘庆 (1969—), 女, 教授, 博士, E-mail: qpan@scau.edu.cn

基金项目: 广东省科技计划项目 (2009B020309001)

Key words: fish; dried brewer's grain; fermented brewer's grain; apparent digestibility coefficient

消化率(Digestibility coefficients)是指被动物消化道吸收的能量或营养物质占摄入食物总量的百分比。消化率反映了养殖动物对饲料营养物质的消化、吸收状况,是饲料营养价值评定的重要指标之一,也是配制成本合理、营养均衡的配合饲料的基础^[1-2]。研究鱼类对饲料的表现消化率,不仅能够提高水产配合饲料的营养价值、降低饲料成本、减少对养殖水体的污染,同时,可丰富鱼类营养生理学的专业知识。

众所周知,鱼粉和豆粕是水产养殖动物的优质蛋白源。近年来,随着水产养殖业的迅猛发展,饲料需求逐年增加,致使优质蛋白源供求紧张、价格高涨,严重制约水产养殖业的可持续发展。寻找质优价廉、来源丰富的蛋白源成为解决这一问题的重要途径^[3-4]。因此,有必要研究鱼类对新资源蛋白源的消化率,为饲料配方和鱼类生长提供参考数据。

中国是啤酒生产量最大的国家。据统计,2014年中国境内的酿造厂共生产啤酒492亿L,占全球产量的1/4。干啤酒糟(Dried brewer's grain)是啤酒生产的最主要的副产物,其主要成分是大麦芽壳^[5]。随着啤酒产量的不断增加,酿造过程中副产物——干啤酒糟产量也迅速增加。目前,酿造厂主要将干啤酒糟作为粗饲料或有机肥低价出售,如何开发和合理利用干啤酒糟成为当前营养饲料研究者关心的热点。因干啤酒糟中粗纤维含量较高,限制了其在养殖业上的广泛应用,目前应用研究多集中在畜禽动物^[6-7],在水产养殖业的研究较少。早期研究认为,鱼类饲料中干啤酒糟的适宜添加量为25%~30%^[8-9],过量添加将导致养殖水体富营养化,引起鱼浮头或泛池死亡。有研究指出,干啤酒糟经过二次加工处理,可以改善营养结构,提高营养价值,从而成为较理想的蛋白源,扩大其在养殖业上的应用范围^[10-11]。

本试验以草鱼 *Ctenopharyngodon idellus*、尼罗罗非鱼 *Oreochromis niloticus*、黄颡鱼 *Peltobagrus fulvidraco* 和高体革鲃 *Scortum barcoo* 为研究对象,旨在通过消化率试验评估干啤酒糟和发酵啤酒糟在草食性、杂食性和肉食性鱼类配合饲料中的营养价值,进一步完善饲料消化率数据库,为其在鱼类饲料中的合理应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 饲料配制

试验用干啤酒糟由广州珠江啤酒集团有限公司 <http://xuebao.scau.edu.cn>

提供;发酵啤酒糟是以干啤酒糟为原料,在华南农业大学食品学院进行微生物发酵后制得的产品,两者营养成分见表1。依据草鱼、尼罗罗非鱼、黄颡鱼和高体革鲃的营养需要,分别配制草鱼、尼罗罗非鱼、黄颡鱼和高体革鲃的参考饲料,其配方及基本营养成分见表2。为测定4种鱼对干啤酒糟和发酵啤酒糟的表现消化率,配制由70%的参考饲料和30%待测饲料组成^[12]的试验饲料,试验饲料营养成分见表3。饲料粉碎后过40目筛,同时添加质量分数为0.2%的Cr₂O₃作为外源指示剂,采用逐级扩大法将微量成分与其他饲料混合均匀,用单螺杆挤压制成直径为1.2~1.5mm的颗粒饲料,室温风干后于-20℃条件下保存备用。

表1 干啤酒糟和发酵啤酒糟的营养成分组成(干物质)
Tab. 1 Nutritional compositions of dried and fermented brewer's grains (dry mass) w/%

饲料	水分	粗蛋白质	粗脂肪	粗纤维	总磷	钙
干啤酒糟	12.10	20.99	4.40	18.35	0.48	0.52
发酵啤酒糟	12.00	26.62	5.58	13.89	0.51	0.87

1.2 试验动物及饲养管理

4种试验用鱼均由广州白云区鱼苗场提供。养殖试验在室内循环过滤系统(300L)中进行,水源为曝气自来水,养殖期间不间断充氧。试验开始前投喂参考饲料对养殖鱼进行为期2周的驯养。选取初始平均体质量分别为2.5、5.5、2.3和12.8g的草鱼、尼罗罗非鱼、黄颡鱼和高体革鲃,随机分布于24个试验桶中,每种鱼分2个试验组,分别为干啤酒糟饲料组(DBG)和发酵啤酒糟饲料组(FBG),每个试验组设3个重复,每个重复30尾鱼,进行为期60d的养殖试验。每天投喂2次(08:30、15:30),投喂量为鱼体质量的4%~5%。试验期间水温为(26.6±1.2)℃,pH为7.4~7.8,溶解氧>5.0mg·L⁻¹,氨氮<0.3mg·L⁻¹。

1.3 样品采集

正式饲养4周后,每天下午于投喂1h后用虹吸法收集成型、包膜完整的粪便,于65℃烘干,置于密封袋中于-20℃条件保存,连续收集直至收集到足够分析的样品。

1.4 指标测定与计算公式

水分含量采用105℃常压干燥法(GB 6435—1986)测定;粗蛋白质含量采用微量凯氏定氮法(GB/T 6432—1994)测定;粗脂肪含量采用索氏抽提

表2 4种鱼参考饲料组成及营养水平(干质量)

Tab.2 Compositions and nutritional levels of reference diets for four fish species (dry mass)

鱼种	饲料原料及质量分数/%									
	豆粕	菜粕	花生粕	鱼粉	面粉	磷酸二氢钙	豆油	Cr ₂ O ₃	维生素预混料 ¹⁾	矿物质预混料 ²⁾
草鱼	20.00	10.00	17.00	5.00	37.70	1.35	3.85	0.20	0.10	0.10
尼罗罗非鱼	20.00	10.00	17.00	5.00	37.70	1.35	3.85	0.20	0.10	0.10
黄颡鱼	23.00	0.00	21.00	25.00	20.00	2.00	2.00	0.20	0.20	0.10
高体革鲂	23.00	0.00	20.00	25.00	18.10	1.60	4.20	0.20	0.10	0.50

鱼种	饲料原料及质量分数/%						营养组成及质量分数 ³⁾ /%				
	氯化胆碱 (w=50%)	维生素C 磷酸酯	膨润 土	沸石 粉	赖氨酸硫酸盐 (w=65%)	羟基蛋氨酸钙 (w≥98.5%)	粗蛋 白质	粗脂 肪	粗纤 维	钙	总磷
草鱼	0.50	0.10	2.00	1.00	0.60	0.50	30.02	5.74	5.41	0.73	0.88
尼罗罗非鱼	0.50	0.10	2.00	1.00	0.60	0.50	30.02	5.74	4.35	0.74	0.87
黄颡鱼	0.50	0.20	0.10	2.00	3.45	0.25	40.91	7.11	4.88	0.65	1.10
高体革鲂	0.20	0.10	2.00	1.00	2.30	1.70	40.30	8.12	4.75	1.48	1.36

1) 每千克维生素预混料中含有:维生素A 320万IU, 维生素D 160万IU, 维生素E 16g, 维生素K 4g, 维生素B₁ 4g, 维生素B₂ 8g, 维生素B₆ 4.8g, 维生素B₁₂ 16mg, 烟酸 28g, 泛酸钙 16g, 叶酸 1.28g, 生物素 64mg, 肌醇 140g, 米糠 777.84g;
 2) 每千克矿物质预混料含有:钙 230g, 钾 36g, 镁 9g, 铁 10g, 锌 8g, 锰 1.9g, 铜 1.5g, 钴 250mg, 碘 32mg, 硒 50mg;
 3) 实测值。

表3 试验饲料营养组成(干物质)

Tab.3 Nutritional compositions of the test diets (dry mass)

鱼种	饲料组别	粗蛋白质	粗脂肪	粗纤维	钙	总磷
草鱼	干啤酒糟	27.3	5.4	7.7	0.8	0.8
	发酵啤酒糟	29.0	5.7	5.4	0.8	0.9
尼罗罗非鱼	干啤酒糟	27.9	5.8	7.5	0.7	0.8
	发酵啤酒糟	29.1	5.8	4.2	0.7	0.9
黄颡鱼	干啤酒糟	34.9	6.3	4.9	0.6	1.1
	发酵啤酒糟	36.6	6.6	4.8	0.6	1.1
高体革鲂	干啤酒糟	36.0	7.0	5.6	1.9	1.1
	发酵啤酒糟	37.0	7.4	5.4	1.8	1.1

法(GB/T 6433—2006)测定;粗纤维采用滤袋法(GB5515—85)测定;钙含量采用高锰酸钾法(GB/T 6436—2002)测定;磷含量采用钼黄分光光度计法(GB/T 6437—2002)测定;铬含量采用火焰原子吸收法(GB/T 13088—2006)进行测定。

参考饲料和试验饲料表观消化率计算公式为:

饲料干物质表观消化率 = (1 - 饲料中 Cr 含量/粪便 Cr 含量) × 100 % ,

饲料中某种营养成分及能量表观消化率 = 100 - 100 × (饲料中 Cr 含量/粪便中 Cr 含量 × 粪便中该营养成分含量/饲料中该营养成分含量),

待测饲料原料干物质、各营养成分表观消化率 = (试验饲料某营养成分表观消化率 - 0.7 × 参考饲料某营养成分的表观消化率) / 0.3 × 100 %。

1.5 数据处理与分析

试验数据用 SAS. 8.0 软件进行双因素方差分析 (Two-way ANOVA), LSD 多重比较检验均值的差异显著性。

2 结果

草鱼、尼罗罗非鱼、黄颡鱼和高体革鲂对干啤酒糟和发酵啤酒糟饲料主要营养成分的表观消化率如表4所示。方差分析表明,鱼种和饲料对干啤酒糟和发酵啤酒糟饲料干物质、粗蛋白质、粗脂肪和粗纤维的表观消化率均有极显著的交互作用 (P < 0.001)。不同的鱼种对干啤酒糟和发酵啤酒糟饲料主要营养成分的表观消化率也存在极显著的差异 (P < 0.001)。

对干啤酒糟干物质的表观消化率由高至低依次

为草鱼、尼罗罗非鱼、高体革鲂、黄颡鱼,在 26.88% ~ 64.25% 之间,种间差异显著 ($P < 0.05$)。4 种鱼对发酵啤酒糟干物质的表观消化率在 42.80% ~ 67.69% 之间,其中,草鱼对发酵啤酒糟干物质的表观消化率显著高于尼罗罗非鱼 ($P < 0.05$),且两者均显著高于黄颡鱼和高体革鲂对发酵啤酒糟干物质的表观消化率 ($P < 0.05$),而高体革鲂和黄颡鱼干物质的表观消化率之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

对于啤酒糟粗蛋白质的表观消化率由高至低依次为草鱼、高体革鲂、尼罗罗非鱼、黄颡鱼,在 59.97% ~ 74.93% 之间,种间差异显著 ($P < 0.05$)。4 种鱼对发酵啤酒糟粗蛋白质的表观消化率由高至低依次为草鱼、尼罗罗非鱼、高体革鲂、黄颡鱼,在 67.43% ~ 87.33% 之间,种间差异显著 ($P < 0.05$)。

对于啤酒糟粗脂肪的表观消化率由高至低依次为尼罗罗非鱼、高体革鲂、草鱼、黄颡鱼,在 62.66% ~ 98.94% 之间,种间差异显著 ($P < 0.05$)。4 种鱼对发酵啤酒糟粗脂肪的表观消化率在 68.72% ~

99.78% 之间,草鱼和尼罗罗非鱼对发酵啤酒糟粗脂肪的表观消化率均显著高于黄颡鱼和高体革鲂 ($P < 0.05$),其中,高体革鲂对发酵啤酒糟粗脂肪的表观消化率显著高于黄颡鱼 ($P < 0.05$),而草鱼和尼罗罗非鱼两者之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

对于啤酒糟粗纤维的表观消化率由高至低依次为尼罗罗非鱼、草鱼、黄颡鱼、高体革鲂,在 6.50% ~ 8.91% 之间。尼罗罗非鱼和草鱼对于啤酒糟粗纤维的表观消化率均显著高于黄颡鱼和高体革鲂 ($P < 0.05$),而草鱼和尼罗罗非鱼之间、黄颡鱼和高体革鲂之间差异不显著 ($P > 0.05$)。4 种鱼对发酵啤酒糟粗纤维的表观消化率由高至低依次为草鱼、尼罗罗非鱼、黄颡鱼、高体革鲂,在 10.47% ~ 18.44% 之间。草鱼和尼罗罗非鱼对发酵啤酒糟粗纤维的表观消化率均显著高于黄颡鱼和高体革鲂 ($P < 0.05$),而黄颡鱼又显著高于高体革鲂对发酵啤酒糟粗纤维的表观消化率 ($P < 0.05$),但草鱼和尼罗罗非鱼两者之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 4 4 种鱼对干啤酒糟和发酵啤酒糟主要营养成分的表观消化率

Tab. 4 Apparent digestibility coefficients of main nutritional compositions of dried and fermented brewer's grains in four fish species

鱼种	饲料组别	表观消化率 ¹⁾ /%			
		干物质	粗蛋白质	粗脂肪	粗纤维
草鱼	干啤酒糟	64.25 ± 0.13a	74.93 ± 1.03d	75.03 ± 3.20d	7.91 ± 0.06d
	发酵啤酒糟	67.69 ± 0.67a	87.33 ± 0.32a	99.78 ± 0.07a	18.44 ± 1.49a
尼罗罗非鱼	干啤酒糟	49.19 ± 0.18c	68.31 ± 0.22f	98.49 ± 1.14a	8.91 ± 0.23cd
	发酵啤酒糟	63.50 ± 0.83b	82.85 ± 0.56b	99.42 ± 0.21a	17.61 ± 0.60a
黄颡鱼	干啤酒糟	26.88 ± 0.52f	59.97 ± 0.79g	62.66 ± 0.53f	6.98 ± 0.61e
	发酵啤酒糟	42.80 ± 0.10d	67.43 ± 0.72f	68.72 ± 0.37e	14.14 ± 0.56b
高体革鲂	干啤酒糟	35.08 ± 0.06e	70.13 ± 1.28e	86.85 ± 0.27c	6.50 ± 0.53e
	发酵啤酒糟	43.70 ± 0.13d	77.61 ± 0.16c	94.77 ± 0.20b	10.47 ± 0.17c
P	鱼种	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	饲料	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	鱼种 × 饲料	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

1) 表中数据为平均数 ± 标准误, 同列数据后凡是有一个相同小写字母者, 表示差异不显著 ($P > 0.05$, LSD 多重比较)。

所有试验鱼种对发酵啤酒糟饲料的表观消化率均高于对于干啤酒糟饲料的表观消化率。除草鱼外, 其他 3 种鱼对发酵啤酒糟干物质的表观消化率均显著高于对于干啤酒糟干物质的表观消化率 ($P < 0.05$)。发酵处理后, 4 种鱼对饲料干物质表观消化率提升幅度由高至低依次为: 黄颡鱼 (15.92%)、尼罗罗非鱼 (14.31%)、高体革鲂 (8.32%)、草鱼 (3.44%)。所有试验鱼种对发酵啤酒糟粗蛋白质的表观消化率均显著高于对于干啤酒糟粗蛋白质的表观消化率 ($P < 0.05$)。发酵处理后, 4 种鱼对饲料粗蛋白质表观消化率提升幅度由高至低依次为: 尼罗罗非鱼

(14.50%)、草鱼 (12.80%)、黄颡鱼 (7.83%)、高体革鲂 (7.50%)。除尼罗罗非鱼外, 其他 3 种鱼对发酵啤酒糟粗脂肪的表观消化率均显著高于对于干啤酒糟粗脂肪的表观消化率 ($P < 0.05$)。发酵处理后, 4 种鱼对饲料粗脂肪表观消化率提升幅度由高至低依次为: 草鱼 (24.60%)、高体革鲂 (8.92%)、黄颡鱼 (6.06%)、尼罗罗非鱼 (0.93%)。所有试验鱼种对发酵啤酒糟粗纤维的表观消化率均显著高于对于干啤酒糟粗纤维的表观消化率 ($P < 0.05$)。发酵处理后, 4 种鱼对饲料粗纤维表观消化率提升幅度由高至低依次为: 草鱼 (10.53%)、尼罗罗非鱼 (8.70%)、黄颡

鱼(7.60%)、高体革鲮(3.90%)。

3 讨论与结论

表观消化率是评估饲料营养价值的一个十分重要的指标。鱼类对饲料的消化率不仅与饲料组成及其可消化利用状况有关,而且与鱼类自身对饲料的利用能力也存在密切的联系。表观消化率测定结果的准确性也受到粪便收集方法的影响。研究发现,在鱼类排粪高峰期收集包膜完整的粪便颗粒能够比较准确地反映饲料的消化率^[13]。因此,本试验采用虹吸法,并于排粪高峰期收集包膜完整、新鲜的粪样本进行表观消化率的测定。试验采用“70%基础饲料+30%待测饲料”方法进行试验饲料的配制,同时补充其他元素,以满足试验鱼的生长营养需求^[12]。

本试验结果表明,草鱼、尼罗罗非鱼对干啤酒糟和发酵啤酒糟饲料干物质、粗蛋白质、粗脂肪和粗纤维的表观消化率均高于黄颡鱼和高体革鲮,说明在草鱼和尼罗罗非鱼饲料配方中,适量添加干啤酒糟和发酵啤酒糟是可行的。

草鱼和尼罗罗非鱼分别为草食性和杂食性鱼类的典型代表,自身消化生理特性使得草鱼和尼罗罗非鱼可以很好地利用植物性的蛋白质饲料。干物质的表观消化率反映了鱼类对饲料总体的消化水平,其高低与饲料纤维素和灰分含量以及蛋白质、脂肪、碳水化合物等营养物质的吸收程度有关。研究发现,草鱼对棉籽粕、大豆粕等杂粕性饲料干物质的表观消化率均与对鱼粉饲料干物质的表观消化率差异不显著^[1]。尼罗罗非鱼能够较好地利用植物性饲料,表现出较高的干物质表观消化率^[14-15]。这些报道均与本试验草鱼和尼罗罗非鱼对干啤酒糟和发酵啤酒糟具有较高干物质表观消化率的结果相一致。

蛋白质饲料表观消化率的测定对饲料配方的设计尤为重要。一般认为,肉食性鱼类体内消化酶对动物性蛋白质饲料的消化率较高,因而,对动物性蛋白质的表观消化率要比对植物性蛋白质的表观消化率高^[16],饲料配方中的植物性饲料对肉食性鱼类的健康生长产生不良影响^[16-17]。本试验也再次证实,肉食性鱼类对植物性蛋白质饲料粗蛋白质和粗脂肪的表观消化率要显著低于草食性和杂食性鱼类。

鱼类对糖的利用能力不仅与饲料中糖的复杂程度有关,还与养殖鱼种类和饲料纤维素含量的高低有关。有研究指出,草食性和杂食性鱼类对饲料纤维素的利用率显著高于肉食性鱼类^[16,18]。主要原因可能是草食性和杂食性鱼类的肠道较肉食性鱼类的

肠道长,增加了肠道酶与纤维素的接触时间和接触面积,因而有效促进纤维素的降解和吸收。

微生物发酵技术是将大分子多糖分解为小分子单糖的有效方法^[19]。本试验结果表明,经发酵处理后,草鱼、尼罗罗非鱼、黄颡鱼和高体革鲮对干啤酒糟饲料的表观消化率有了很大的改善。可能是因为经发酵处理后干啤酒糟中粗纤维的含量大大降低(质量分数由18.35%降低为13.89%),从而提高了4种养殖鱼类对饲料营养成分的消化率。同时,发酵处理还可大幅降低饲料中的抗营养因子,从而提高养殖动物对饲料的利用能力。研究发现,发酵处理可显著降低豆粕中的棉籽糖和胰蛋白酶抑制因子,提高大马哈鱼 *Oncorhynchus keta*^[20] 和卵形鲳鲹 *Trachinotus ovatus*^[21] 的生长性能。此外,发酵处理还能补充一些有益微量成分,如小肽、微生物菌体、核苷酸等^[19]。在仔猪的养殖试验中发现,用微生物发酵大豆蛋白饲喂仔猪,不仅可提高仔猪的生长性能,同时提高肠黏膜的绒毛高度、隐窝深度,改善仔猪肠道组织形态^[22]。

综上所述,4种鱼对干啤酒糟和发酵啤酒糟饲料主要营养成分表观消化率的研究结果表明:草食性和杂食性鱼类可以较好地利用干啤酒糟饲料,而肉食性鱼类对干啤酒糟的利用能力较差;干啤酒糟经发酵处理后,4种养殖鱼类对其的利用均得到有效改善;发酵后的干啤酒糟可在草食性和杂食物性鱼类中适量应用,但在肉食性鱼类中仍要限制其用量。

致谢:感谢广州市博善生物饲料有限公司潘军老师在发酵方面给予的指导和帮助!

参考文献:

- [1] 叶元土,林仕梅,罗莉. 草鱼对27种饲料原料中氨基酸的表观消化率[J]. 中国水产科学, 2003, 10(1): 60-64.
- [2] ZHOU Q C, YUE Y R. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus* [J]. Aquac Res, 2012, 43(6):806-814.
- [3] OLSEN R L, HASAN M R. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production [J]. Trends Food Sci Technol, 2012, 27(2): 120-128.
- [4] 黄云,肖调义,胡毅. 鱼类饲料中替代蛋白营养的研究进展[J]. 饲料博览, 2010(2): 11-15.
- [5] KAUR V I, SAXENA P K. Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps[J]. Bioresource Technol, 2004, 91(1):101-104.
- [6] MIYAZAWA K, SULTANA H, HIRATA T, et al. Effect

- of brewer's grain on rumen fermentation, milk production and milk composition in lactating dairy cows[J]. Anim Sci J, 2007, 78(5):519-526.
- [7] 杨璐玲, 吕永艳, 宋希海, 等. 啤酒糟对饲粮养分瘤胃降解特性及表观消化率的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(3): 792-802.
- [8] ZERAI D B, FITZSIMMONS K M, COLLIER R J, et al. Evaluation of brewer's waste as partial replacement of fish meal protein in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, diets [J]. J World Aquacult Soc, 2008, 39(4):556-564.
- [9] 张琼, 李俊波, 罗辉, 等. 啤酒糟对鲤鱼生长性能和体成分的影响[J]. 科学养鱼, 2009(10): 66-67.
- [10] 邱峰, 李志东, 李娜, 等. 生物技术在啤酒糟综合利用中的应用[J]. 药物生物技术, 2007, 14(1): 76-78.
- [11] ALIYU S, BALA M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications[J]. African J Biotechnol, 2013, 10(3):324-331.
- [12] CHO C Y, KAUSHIK S J. Nutritional energetics in fish: Energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. World Rev Nutr Diet, 1990, 61: 132-172.
- [13] 董小林, 解绶启, 雷武, 等. 粪便收集方式对异育银鲫表观消化率测定的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(3): 450-456.
- [14] 董晓慧, 郭云学, 叶继丹, 等. 吉富罗非鱼幼鱼对10种饲料表观消化率的研究[J]. 动物营养学报, 2009, 21(3):326-334.
- [15] 姜瑞丽, 王岩, 谢宁峡, 等. 尼罗罗非鱼对豆粕、菜粕、肉骨粉和羽毛粉的表观消化率[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(3): 339-343.
- [16] JI H, SUN H T, XIONG D L. Studies on activity, distribution, and zymogram of protease, α -amylase, and lipase in the paddlefish *Polyodon spathula*[J]. Fish Physiol Biochem, 2012, 38(3):603-613.
- [17] 郭善军, 陈章宝. 团头鲂、淡水白鲳、黄颡鱼的淀粉和蛋白酶活性研究[J]. 重庆工学院学报, 2004, 18(5): 34-37.
- [18] 于凌云, 白俊杰, 刘邦辉, 等. 皇竹草和人工配合饲料营养成分分析及其对2月龄草鱼的增重效果[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(28):11388-11389.
- [19] 胡新旭, 高书锋, 周映华, 等. 发酵蛋白饲料替代鱼粉的应用研究进展[J]. 饲料研究, 2012(11): 18-22.
- [20] KROGDAHL A, PENN M, THORSEN J, et al. Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: An update on recent findings regarding responses in salmonids[J]. Aquac Res, 2010, 41(3): 333-344.
- [21] 刘兴旺, 王华朗, 张海涛, 等. 豆粕和发酵豆粕替代鱼粉对卵形鲳鲆摄食生长的影响[J]. 中国饲料, 2010(18): 27-29.
- [22] KIM Y G, LOHAKARE J D, YUN J H, et al. Effect of feeding levels of microbial fermented soy protein on the growth performance, nutrient digestibility and intestinal morphology in weaned piglets[J]. J Anim Sci, 2007, 20(3): 399-404.

【责任编辑 柴 焰】