

大口黑鲈对六种非粮蛋白源的表现消化率

时于惠 祝书杰 谭北平 张文兵 周小秋 邵卫华 迟淑艳

APPARENT DIGESTIBILITY OF SIX NEW NON-GRAIN PROTEIN INGREDIENTS FOR LARGEMOUTH BASS (*MICROPTERUS SALMOIDES*)

SHI Yu-Hui, ZHU Shu-Jie, TAN Bei-Ping, ZHANG Wen-Bing, ZHOU Xiao-Qiu, GAO Wei-Hua, CHI Shu-Yan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2022.2021.0350>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

黄颡鱼对四种动物性蛋白原料在不同制粒工艺下的表现消化率研究

APPARENT DIGESTIBILITY OF NUTRIENTS IN FOUR ANIMAL PROTEIN INGREDIENTS WITH DIFFERENT PROCESSING TECHNOLOGY FOR YELLOW CATFISH (*PELTEOBAGRUS FULVIDRACO*)

水生生物学报. 2020, 44(6): 1215–1221 <https://doi.org/10.7541/2020.141>

酶解豆粕替代鱼粉对大口黑鲈的生长性能、消化酶活性、肝脏功能及代谢的影响

EFFECTS OF ENZYMATIC HYDROLYZED SOYBEAN MEAL ON GROWTH PERFORMANCE, LIVER FUNCTION AND METABOLISM OF LARGEMOUTH BASS (*MICROPTERUS SALMOIDES*)

水生生物学报. 2019, 43(5): 1001–1012 <https://doi.org/10.7541/2019.119>

不同饲料原料对黄颡鱼表现消化率及消化酶活性的影响

APPARENT DIGESTIBILITY COEFFICIENTS OF SEVERAL FEED INGREDIENTS AND THEIR EFFECT ON DIGESTIVE ENZYME ACTIVITIES OF JUVENILE YELLOW CATFISH (*PELTEOBAGRUS FULVIDRACO*)

水生生物学报. 2020, 44(2): 357–363 <https://doi.org/10.7541/2020.043>

大口黑鲈生长相关标记的聚合及其效果分析

ANALYSIS OF THE PYRAMIDING EFFECT OF GROWTH-RELATED MOLECULAR MARKERS IN LARGEMOUTH BASS (*MICROPTERUS SALMOIDES*)

水生生物学报. 2019, 43(5): 962–968 <https://doi.org/10.7541/2019.114>

大口黑鲈的卵巢发育周年变化及反季节繁殖研究

STUDY ON THE ANNUAL DEVELOPMENT OF OVARY AND OUT-OF-SEASON SPAWNING IN LARGEMOUTH BASS *MICROPTERUS SALMOIDES*

水生生物学报. 2021, 45(1): 76–88 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.151>

饲料脂肪水平对杂交鲟幼鱼生长、饲料消化率、抗氧化水平和肌肉脂肪酸组成的影响

EFFECTS OF DIETARY LIPID LEVELS ON GROWTH PERFORMANCE, FEED DIGESTIBILITY, ANTIOXIDANT STATUS AND FILLET FATTY ACID COMPOSITIONS OF JUVENILE HYBRID STURGEON

水生生物学报. 2021, 45(2): 250–258 <https://doi.org/10.7541/2021.2019.256>

doi: 10.7541/2022.2021.0350

大口黑鲈对六种非粮蛋白源的表现消化率

时于惠¹ 祝书杰¹ 谭北平² 张文兵³ 周小秋⁴ 郜卫华^{1*} 迟淑艳^{2*}

(1. 长江大学涝渍灾害与湿地农业湖北省重点实验室, 荆州 434024; 2. 广东海洋大学水产经济动物养殖广东南海重点实验室, 湛江 524088; 3. 中国海洋大学教育部海洋培养重点实验室, 青岛 266003; 4. 四川农业大学动物营养研究所, 成都 611130)

摘要: 实验以0.1%三氧化二钇(Y_2O_3)为外源指示剂, 用“70%基础饲料+30%待测饲料原料”的方法配制实验饲料。测定初始体重为 (19.28 ± 0.10) g的大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)对荚膜甲基球菌蛋白、乙醇梭菌蛋白、黄粉虫粉、酶解大豆、小球藻和棉籽浓缩蛋白的干物质、蛋白质、脂肪、能量和氨基酸的表现消化率。结果显示, 6种实验原料干物质的表现消化率在37.27%—86.43%(荚膜甲基球菌蛋白>乙醇梭菌蛋白>酶解大豆>黄粉虫粉>小球藻>棉籽浓缩蛋白), 其中荚膜甲基球菌蛋白干物质的表现消化率最高, 乙醇梭菌蛋白次之, 黄粉虫粉、酶解大豆和小球藻之间没有显著性差异, 均显著高于棉籽浓缩蛋白($P < 0.05$); 蛋白质的表现消化率在79.97%—88.45%(荚膜甲基球菌蛋白>乙醇梭菌蛋白>黄粉虫粉>酶解大豆>小球藻>棉籽浓缩蛋白), 其中荚膜甲基球菌蛋白和乙醇梭菌蛋白均显著高于酶解大豆、小球藻和棉籽浓缩蛋白($P < 0.05$); 脂肪的表现消化率在51.19%—97.48%(乙醇梭菌蛋白>荚膜甲基球菌蛋白>酶解大豆>小球藻>黄粉虫粉>棉籽浓缩蛋白); 能量的表现消化率在43.25%—85.43%(荚膜甲基球菌蛋白>乙醇梭菌蛋白>酶解大豆>黄粉虫粉>小球藻>棉籽浓缩蛋白); 水解总氨基酸表现消化率在70.52%—90.51%(荚膜甲基球菌蛋白>乙醇梭菌蛋白>黄粉虫粉>酶解大豆>小球藻>棉籽浓缩蛋白)。各原料17种氨基酸表现消化率变化趋势与蛋白质表现消化率变化趋势基本一致。综上所述, 荚膜甲基球菌蛋白和乙醇梭菌蛋白的脂肪、能量和氨基酸的表现消化率最高, 且和黄粉虫粉、酶解大豆及小球藻的脂肪、能量、氨基酸的表现消化率均优于棉籽浓缩蛋白。因此, 荚膜甲基球菌蛋白、乙醇梭菌蛋白、小球藻、酶解大豆和黄粉虫粉均是大口黑鲈比较理想的蛋白质来源, 可作为大口黑鲈饲料中替代鱼粉的候选物。

关键词: 荚膜甲基球菌蛋白; 乙醇梭菌蛋白; 黄粉虫粉; 酶解大豆; 小球藻; 棉籽浓缩蛋白; 表现消化率; 大口黑鲈

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2022)08-1187-10



随着生活水平的提高, 人们对优质蛋白源——水产品的需求不断增加, 这促进了水产养殖业迅猛发展。水产养殖业的发展使我国对鱼粉和豆粕的进口依存度达到80%以上^[1], 且随着人口增长和耕地面积的减少, 出现了水产养殖与食用粮竞争耕地资源的现象^[2]。为了降低我国对鱼粉和豆粕的进口依赖度、保障国家粮食安全, 寻找不与人争粮的非粮蛋白源是解决这一问题的重要途径之一。我国非粮蛋白种类丰富, 但在水产养殖业中的应用并未

得到充分挖掘^[1], 因此充分开发利用本土的新型非粮蛋白源作为水产养殖的饲料源尤为迫切。

本研究中所使用的非粮蛋白源分别为荚膜甲基球菌蛋白、乙醇梭菌蛋白、黄粉虫粉、酶解大豆、小球藻和棉籽浓缩蛋白。荚膜甲基球菌蛋白是利用氧、氮、甲烷和矿物质发酵产生的细菌蛋白粉^[3]。乙醇梭菌蛋白是以一氧化碳等废气为碳源、以氨为氮源、通过细菌发酵产生的新型微生物蛋白^[4]。小球藻是以无机碳源为养料培养的微

收稿日期: 2021-11-26; 修订日期: 2022-01-25

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0900200); 广东省重点领域研发计划(2021B0202050002); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设(2021KJ150)资助 [Supported by the National Key R & D Program of China (2019YFD0900200); Science and Technology Project of Guangdong Province (2021B0202050002); Guangdong Provincial Special Fund For Modern Agriculture Industry Technology Innovation Teams (2021KJ150)]

作者简介: 时于惠(1994—), 硕士研究生; 主要研究方向为水产营养与饲料。E-mail: 1334702977@qq.com

通信作者: 郜卫华, 副教授; E-mail: gwh105@126.com 迟淑艳, 教授; E-mail: 33849096@qq.com *共同通信作者

藻^[5]。三者均属于单细胞蛋白,来源广泛、可工业化大规模培养^[6]。单细胞蛋白中蛋白质含量为40%—80%,不仅富含多种维生素、碳水化合物、脂类、矿物质、酶类和生物活性物质^[7,8],还富含动物生长所需的多种氨基酸,尤其是包括蛋氨酸和赖氨酸等在内的必需氨基酸^[9]。黄粉虫粉是活虫经处死、灭菌、干燥后进一步加工制得的,属于昆虫蛋白,可高度持续供给^[10]。黄粉虫粉中蛋白质含量高,且最高蛋白质含量接近鱼粉、高于豆粕、氨基酸比例较为均衡、不饱和脂肪酸和矿物元素等含量水平也较为丰富^[11-13]。酶解大豆是利用现代生物技术将大豆蛋白通过蛋白酶酶解为可溶性蛋白和小分子多肽的混合物^[14]。不仅有效降低了豆粕中抗营养因子和大分子蛋白的含量,而且提高了豆粕中的多肽和游离氨基酸的水平^[15]。棉籽浓缩蛋白是用软化轧胚、低温烘干的过程取代了棉粕高温蒸炒的过程,且通过萃取和脱酚得到的产物。与棉粕相比,棉籽浓缩蛋白较为彻底地去除了棉酚等有害物质且氨基酸含量有大幅度的提高^[1]。

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*),又称加州鲈,是一种肉质鲜美的食肉性鱼类,因养殖周期短、抗病力强、适温性广、易捕捞、肉质鲜美和营养丰富,在水产养殖中有良好的发展前景^[16]。过去,大口黑鲈依靠投喂野杂鱼或其他肉食性鱼类饲料进行养殖,其专用配合饲料应用不久。为了缩短养殖周期,提高经济效益,现阶段大口黑鲈商品饲料中鱼粉仍处于一个较高的水平,一般在40%—50%^[17],导致大口黑鲈养殖成本较高。因此本实验以肉食性淡水养殖代表鱼类大口黑鲈为研究对象,通过体内消化率实验,探讨大口黑鲈对莱膜甲基球菌蛋白、乙醇梭菌蛋白、黄粉虫粉、酶解大豆、小球藻和棉籽浓缩蛋白6种非粮蛋白源干物质、蛋白质、脂肪、能量和氨基酸的表观消化率,为大口黑鲈饲料选择成本低且营养均衡的蛋白源提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

实验用大口黑鲈购自荆州市鸿昌水产科技有限公司,在长江大学动物科学学院室内水循环系统中进行。实验开始前,在室内暂养两周。正式实验开始前,选取630尾[初始体重约(19.28±0.10)g]健康、规格均一的鱼体,饥饿24h后,随机分到21个实验养殖桶中,每个处理3个重复,每个重复30尾。实验期间水温22—25℃,pH为7.5—8.0,溶解氧≥6 mg,氨氮<0.10 mg/L,亚硝酸盐<0.2 mg/L。

1.2 实验饲料的设计与配制

基础饲料以鱼粉和豆粕为主要蛋白源,添加0.1%的Y₂O₃为外源指示剂,基础饲料配方见表1。6种待测原料分别为莱膜甲基球菌蛋白[恺勒司(上海)商务信息咨询有限公司]、乙醇梭菌蛋白(河北首朗新能源有限公司)、黄粉虫粉(广州泽和诚生物科技有限公司)、酶解大豆(江苏富海生物科技有限公司)、小球藻(武汉德默特生物科技有限公司)和棉籽浓缩蛋白(新疆金兰植物蛋白有限公司),其原料的营养成分见表2和表3。6种实验饲料由70%的基础饲料和30%的待测原料(莱膜甲基球菌蛋白、乙醇梭菌蛋白、黄粉虫粉、酶解大豆、小球

表1 基础饲料的原料组成

基础饲料 Reference diet	含量 Content	基本成分 Chemical composition	含量 Content
鱼粉Fish meal	50	水分Moisture	9.81
谷朊粉Gluten	3	粗蛋白 Crude protein	50.32
豆粕 Soybean meal	14	粗脂肪 Crude lipid	7.62
鸡肉粉 Chicken meal	5	灰分Ash	12.08
面粉 Wheat flour	16	能量 Gross energy (MJ/kg)	20.96
α-纤维素 α-Cellulose	4.85		
鱼油Fish oil	1		
豆油 Soybean oil	1		
大豆磷脂粉 Soy lecithin	2		
预混料Premix ¹	2		
磷酸二氢钙Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1		
抗氧化剂Ethoxyquin	0.05		
三氧化二钇Yttrium oxide	0.10		
测试原料 Test ingredient	0		
总计Total	100		

注: ¹预混料(mg/g or IU/kg): 维生素A≥25×10⁴ IU; 维生素D₃ 7.5—15×10⁴ IU; 维生素E≥2.3 g; 维生素K₃≥0.25 g; 维生素B₁≥0.48 g; 维生素B₂≥0.75 g; 维生素B₆≥0.75 g; 维生素B₁₂≥3 mg; 烟酰胺≥2 g; D-泛酸≥2 g; 叶酸≥0.1 g; D-生物素≥5 mg; MgSO₄·7H₂O≥6.5 g; FeSO₄·7H₂O 2—36 g; ZnSO₄ 6—7.5 g; CuSO₄·5H₂O 0.25—1.25 g; MnSO₄·H₂O 0.5—5 g; CoSO₄·7H₂O 35—100 mg; Na₂SeO₃ 9—25 mg; Ca(IO₃)₂ 125—300 mg; Inositol≥4.75 g; 维生素C≥5 g; 氯化胆碱≤200 g

Note: ¹Premix (mg, g or IU/kg): Vitamin A≥25×10⁴ IU; Vitamin D₃ 7.5—15×10⁴ IU; Vitamin E≥2.3 g; Vitamin K₃≥0.25 g; Vitamin B₁≥0.48 g; Vitamin B₂≥0.75 g; Vitamin B₆≥0.75 g; Vitamin B₁₂≥3 mg; Nicotinamide≥2 g; D-Pantothenic acid≥2 g; Folic acid≥0.1 g; D-biotin≥5 mg; MgSO₄·7H₂O≥6.5 g; FeSO₄·7H₂O 2—36 g; ZnSO₄ 6—7.5 g; CuSO₄·5H₂O 0.25—1.25 g; MnSO₄·H₂O 0.5—5 g; CoSO₄·7H₂O 35—100 mg; Na₂SeO₃ 9—25 mg; Ca(IO₃)₂ 125—300 mg; Inositol≥4.75 g; Vitamin C≥5 g; Choline CMoride≤200 g

藻和棉籽浓缩蛋白)组成。按照配方将各成分研磨粉碎后过60目筛网,从小到大,依次混匀,用TSE-65双螺杆制粒机(北京现代洋工机械科技有限公司)制成粒径为2 mm的颗粒,60℃烘干后保存于-20℃冰箱备用。

1.3 饲养管理及粪便收集

正式实验持续42d。7组实验鱼,其中1组投喂基础饲料,另外6组投喂实验饲料,整个实验过程均

定时(8:00和18:00)定点饱食投喂,30min后清除残饵,5—6h后用虹吸法收集包膜完整的粪便,冷冻干燥干燥后-20℃保存待测。

1.4 样品分析及计算

原料、饲料和粪便的水分采用105℃干燥恒重法检测;粗蛋白采用凯氏定氮仪(GB/T 5009.5-2016)检测;粗脂肪采用索氏抽提法(GB/T 5009.6-2016)检测;灰分采用550℃灼烧法(GB/T 5009.4-

表 2 实验原料近似组成和总能含量

Tab. 2 Proximate and gross energy compositions of ingredients (%)

指标Index	荚膜甲基杆菌蛋白MBM	乙醇梭菌蛋白CAP	黄粉虫粉TMM	酶解大豆ETSP	小球藻CM	棉籽浓缩蛋白CPC
水分Moisture	7.26	4.62	8.27	5.67	6.33	4.79
粗蛋白 Crude protein	73.45	78.29	68.82	39.81	60.45	61.55
粗脂肪Crude lipid	5.03	4.19	3.37	22.54	7.45	1.54
灰分Ash	10.60	9.91	8.77	6.39	5.45	8.11
能量 Gross energy (MJ/kg)	23.42	22.64	21.69	23.63	23.80	20.12

注: 荚膜甲基杆菌蛋白MBM[Methanotroph (*Methylococcus capsulatus*, Bath) bacteria meal]; 乙醇梭菌蛋白CAP(*Clostridium autoethanogenum* protein); 黄粉虫粉TMM(*Tenebrio molitor* meal); 酶解大豆ETSP(Enzyme-treated soy protein); 小球藻CM(*Chlorella* meal); 棉籽浓缩蛋白CPC(Cottonseed protein concentrate)

表 3 实验原料氨基酸的含量(n=3 % 干物质基础)

Tab. 3 Amino acid compositions of ingredients (n=3 % dry-matter basis)

氨基酸 Amino acid	荚膜甲基杆菌蛋白 MBM	乙醇梭菌蛋白 CAP	黄粉虫粉TMM	酶解大豆ETSP	小球藻CM	棉籽浓缩蛋白 CPC
必需氨基酸Essential amino acids						
苏氨酸Thr	2.87	4.02	2.10	1.58	3.73	2.03
缬氨酸Val	3.89	5.44	2.92	2.03	4.19	2.96
蛋氨酸Met	1.73	2.29	1.59	0.57	1.17	0.90
异亮氨酸Ile	2.94	5.28	1.99	1.92	3.32	2.02
亮氨酸Leu	5.04	6.38	4.17	3.15	7.13	3.67
苯丙氨酸Phe	2.91	3.30	2.46	2.12	3.58	3.62
组氨酸His	1.42	1.68	0.90	0.96	1.26	1.83
赖氨酸Lys	3.78	8.70	4.68	2.24	5.18	2.72
精氨酸Arg	4.21	3.40	4.24	2.97	4.08	8.56
非必需氨基酸Non-essential amino acids						
天冬氨酸Asp	5.82	9.54	4.35	4.56	7.04	6.07
丝氨酸Ser	2.20	3.21	3.15	2.02	3.11	2.70
谷氨酸Glu	7.28	9.78	7.67	7.22	9.18	13.00
甘氨酸Gly	3.33	3.87	6.92	1.69	4.58	2.60
丙氨酸Ala	4.70	4.63	3.98	1.80	6.98	2.45
胱氨酸Cys	0.35	0.71	1.10	0.52	0.41	1.09
酪氨酸Tyr	1.81	3.14	1.66	1.55	2.81	1.85
脯氨酸Pro	2.52	2.40	5.00	2.07	5.34	2.40
必需氨基酸总量EAA	28.79	40.49	25.05	17.54	33.64	28.31
非必需氨基酸总量NEAA	28.01	37.28	33.83	21.43	39.45	32.16
水解氨基酸总量TAA	56.80	77.77	58.88	38.97	73.09	60.47

注: 色氨酸由于在水解过程中被破坏, 则未被检出

Note: Trp is destroyed in the hydrolysis process, therefore it is not detected

2016)检测; 能量采用氧弹仪(6200Isoperibol Calorimeter, Illinois, USA)检测; 外源指示剂采用电感耦合等离子体质谱法(PE avio 500)检测; 原料、饲料和粪便用冷冻干燥机(SCIENTZ-10N)进行处理后, 氨基酸采用氨基酸自动分析仪(L-8900, 日立)检测。

实验饲料营养成分表观消化率计算公式为:

饲料干物质表观消化率(%)=(1-饲料中 Y_2O_3 %/粪便中 Y_2O_3 %) $\times$ 100

营养成分表观消化率(%)=[1-(饲料中 Y_2O_3 % $\times$ 粪便营养成分%)/(粪便中 Y_2O_3 % $\times$ 饲料营养成分%)] $\times$ 100

实验原料营养成分表观消化率计算公式为:

实验原料营养成分表观消化率=测定饲料营养成分表观消化率+[(测定饲料营养成分表观消化率-基础饲料营养成分表观消化率) $\times$ (0.7 $\times$ 基础饲料中营养成分含量)/(0.3 $\times$ 实验原料中营养成分含量)]

1.5 数据分析与处理

所有数据都由SPSS20.0进行单因素方差分析(One-way ANOVA)并用Turkey检验进行多重比较, $P<0.05$ 表示显著性差异, 最终结果以平均值 $\pm$ 标准差(mean $\pm$ SD)表示。

2 结果

2.1 大口黑鲈对6种实验原料干物质、蛋白质、脂肪和总能的表现消化率

如表4所示, 实验原料的各营养成分和总能的表现消化率受原料类型的影响显著($P<0.05$)。大口黑鲈对6种实验原料干物质的表观消化率为37.27%—86.43%, (荚膜甲基球菌蛋白>乙醇梭菌蛋白>酶解大豆>黄粉虫粉>小球藻>棉籽浓缩蛋白)荚膜甲基球菌蛋白和乙醇梭菌蛋白干物质的表观消化率显著高于其他实验原料($P<0.05$); 其次是黄粉虫粉、酶解大豆和小球藻; 棉籽浓缩蛋白干物质的表观消化率显著低于其他实验原料($P<0.05$)。

大口黑鲈对6种实验原料蛋白质的表观消化率

为79.97%—88.45%, (荚膜甲基球菌蛋白>乙醇梭菌蛋白>黄粉虫粉>酶解大豆>小球藻>棉籽浓缩蛋白)荚膜甲基球菌蛋白和乙醇梭菌蛋白的蛋白质表观消化率显著高于棉籽浓缩蛋白、酶解大豆和小球藻($P<0.05$); 棉籽浓缩蛋白蛋白质表观消化率显著低于其他实验原料($P<0.05$)。

大口黑鲈对6种实验原料脂肪的表观消化率为51.19%—97.48%, (乙醇梭菌蛋白>荚膜甲基球菌蛋白>酶解大豆>小球藻>黄粉虫粉>棉籽浓缩蛋白)荚膜甲基球菌蛋白和乙醇梭菌蛋白的脂肪消化率显著高于其他实验原料($P<0.05$); 其次是酶解大豆, 均显著高于棉籽浓缩蛋白、黄粉虫粉和小球藻($P<0.05$); 棉籽浓缩蛋白脂肪表观消化率显著低于其他实验原料($P<0.05$)。

大口黑鲈对6种实验原料能量的表观消化率为43.25%—85.43%, (荚膜甲基球菌蛋白>乙醇梭菌蛋白>酶解大豆>黄粉虫粉>小球藻>棉籽浓缩蛋白)乙醇梭菌蛋白和荚膜甲基球菌蛋白的能量消化率显著高于其他实验原料($P<0.05$); 其次是酶解大豆, 均显著高于棉籽浓缩蛋白、黄粉虫粉和小球藻($P<0.05$); 棉籽浓缩蛋白能量的表观消化率显著低于其他实验原料($P<0.05$)。

2.2 大口黑鲈对6种实验原料氨基酸的表观消化率

如表5所示, 实验原料的氨基酸表观消化率受原料类型的影响显著($P<0.05$), 且与蛋白质表观消化率的变化趋势相似。大口黑鲈对6种实验原料水解总氨基酸的表观消化率为70.52%—90.51%(荚膜甲基球菌蛋白>乙醇梭菌蛋白>黄粉虫粉>酶解大豆>小球藻>棉籽浓缩蛋白), 且荚膜甲基球菌蛋白、乙醇梭菌蛋白和黄粉虫粉的水解总氨基酸显著高于棉籽浓缩蛋白和小球藻($P<0.05$); 棉籽浓缩蛋白水解总氨基酸的表观消化率显著低于其他实验原料($P<0.05$); 其余各组均无显著性差异。在6种实验原料中精氨酸的表观消化率普遍较高为82.69%—

表4 大口黑鲈对6种实验原料干物质、粗蛋白、粗脂肪和能量的表观消化率($n=3$, %干物质基础)

Tab. 4 Apparent digestibility coefficients (ADCs) of dry matter, crude protein, crude lipid and gross energy in the test ingredients of largemouth bass ($n=3$, % dry-matter basis)

指标 Index	荚膜甲基球菌蛋白 MBM	乙醇梭菌蛋白 CAP	黄粉虫粉 TMM	酶解大豆 ETSP	小球藻 CM	棉籽浓缩蛋白 CPC
干物质Dry matter	86.43 $\pm$ 1.00 ^d	82.77 $\pm$ 0.53 ^c	79.57 $\pm$ 2.25 ^b	79.76 $\pm$ 0.44 ^b	78.25 $\pm$ 1.18 ^b	37.27 $\pm$ 0.60 ^a
粗蛋白 Crude protein	88.45 $\pm$ 0.48 ^d	87.44 $\pm$ 0.76 ^{cd}	83.98 $\pm$ 0.60 ^{bc}	81.15 $\pm$ 1.32 ^{ab}	80.91 $\pm$ 1.94 ^{ab}	79.97 $\pm$ 2.37 ^a
粗脂肪Crude lipid	94.79 $\pm$ 1.71 ^c	97.48 $\pm$ 1.00 ^c	63.11 $\pm$ 1.10 ^b	88.98 $\pm$ 0.82 ^d	79.68 $\pm$ 0.71 ^c	51.19 $\pm$ 2.33 ^a
能量Gross energy	85.43 $\pm$ 1.36 ^c	83.91 $\pm$ 1.49 ^c	76.23 $\pm$ 1.14 ^c	80.53 $\pm$ 1.45 ^d	72.09 $\pm$ 0.66 ^b	43.25 $\pm$ 1.07 ^a

注: 最终结果以平均值 $\pm$ 标准差($n=3$)表示; 同行数据上标不同表示组间存在显著差异($P<0.05$); 下同

Note: Data are mean value $\pm$ S.E.M ($n=3$). Values in each column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$); the same applies below

93.99%。缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和精氨酸的表现消化率在乙醇梭菌蛋白、荚膜甲基球蛋白和黄粉虫粉中均是最高, 9种必需氨基酸的表现消化率在棉籽浓缩蛋白中是最低的。组氨酸的表现消化率在酶解大豆中最高。精氨酸的表现消化率在小球藻中最高。

赖氨酸的表现消化率最高的是荚膜甲基球蛋白。其次是乙醇梭菌蛋白、黄粉虫粉和酶解大豆, 三者无显著性差异, 均显著高于棉籽浓缩蛋白和小球藻($P<0.05$)。

蛋氨酸的表现消化率从高到低依次为黄粉虫粉、荚膜甲基球蛋白、乙醇梭菌蛋白、小球藻、酶解大豆和棉籽浓缩蛋白, 其中棉籽浓缩蛋白和酶解大豆的蛋氨酸表现消化率均显著低于黄粉虫粉、荚膜甲基球蛋白和乙醇梭菌蛋白($P<0.05$)。

3 讨论

实验采用虹吸法收集粪便, 避免了解剖、剥离方法的压力和鱼体的应激^[18]。采用7:3的方式制作实验饲料, 能较好地满足实验动物的营养需要, 使所得实验结果更接近鱼类营养消化需求^[19]。

3.1 单细胞蛋白的表现消化率

荚膜甲基球菌蛋白是利用氧、氮、甲烷和矿物质发酵产生的细菌蛋白粉, 乙醇梭菌蛋白是一种以一氧化碳制废气为碳源、以氨为氮源、通过细菌发酵产生的新型微生物蛋白, 二者均属于单细胞蛋白中的细菌蛋白^[3, 4]。在本研究中大口黑鲈对荚膜甲基球菌蛋白干物质、蛋白质、氨基酸和脂肪的表现消化率分别为86.43%、88.45%、72.27%—96%和94.79%, 对乙醇梭菌蛋白干物质、蛋白质、氨基酸和脂肪的表现消化率分别为82.77%、87.44%、75.74%—91.72%和97.48%。草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[20]、大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)^[21]、花鲈(*Lateolabrax japonicus*)^[22]、黄颡鱼(*Peltobagrus fulvidraco*)^[19]、麦瑞加拉鲮(*Cirrhinus mrigala*)^[23]、青鱼(*Mylopharyngodon piceu*)^[24]、吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[25]、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)^[26]、红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)^[27]和团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[28]等对国产鱼粉或进口鱼粉的干物质表现消化率略低于荚膜甲基球菌蛋白和乙醇梭菌蛋白, 蛋白质、氨基酸和脂肪的表现消化率与大口黑鲈对荚膜甲基

表 5 大口黑鲈对6种实验原料氨基酸的表现消化率($n=3$, % 干物质基础)

Tab. 5 Apparent digestibility coefficients (ADCs) of amino acid in the test ingredients of largemouth bass ($n=3$, % dry-matter basis)

氨基酸 Amino acid	荚膜甲基球菌蛋白 MBM	乙醇梭菌蛋白 CAP	黄粉虫粉 TMM	酶解大豆 ETSP	小球藻 CM	棉籽浓缩蛋白 CPC
必需氨基酸Essential amino acid						
苏氨酸Thr	88.71±0.32 ^c	88.93±0.91 ^c	82.72±2.11 ^b	83.37±1.01 ^{bc}	82.75±2.68 ^b	65.55±3.80 ^a
缬氨酸Val	89.52±0.69 ^c	89.54±0.77 ^c	86.14±0.62 ^c	79.01±1.38 ^b	79.75±1.00 ^b	60.39±3.94 ^a
蛋氨酸Met	88.18±0.68 ^{de}	85.79±1.40 ^{cd}	91.76±0.96 ^e	79.48±1.20 ^b	81.92±1.74 ^{bc}	74.28±3.66 ^a
异亮氨酸Ile	90.34±0.64 ^d	88.63±0.67 ^d	85.87±0.67 ^{cd}	82.43±1.01 ^c	76.56±3.06 ^b	56.59±2.17 ^a
亮氨酸Leu	88.30±0.62 ^{cd}	90.81±0.75 ^d	88.02±0.83 ^{cd}	84.51±0.82 ^c	80.31±1.73 ^b	62.67±2.84 ^a
苯丙氨酸Phe	83.69±0.39 ^b	89.69±1.25 ^c	88.07±1.08 ^c	87.01±0.17 ^{bc}	83.61±1.28 ^b	68.97±2.55 ^a
组氨酸His	72.27±0.23 ^b	75.74±1.15 ^b	73.45±1.84 ^b	91.51±0.38 ^c	60.35±2.57 ^a	63.24±3.98 ^a
赖氨酸Lys	96.00±0.48 ^d	90.73±0.39 ^c	91.83±0.42 ^c	89.39±0.89 ^c	79.24±0.91 ^b	62.00±2.00 ^a
精氨酸Arg	92.90±0.58 ^{bc}	91.72±0.37 ^b	91.81±0.65 ^{bc}	91.60±1.07 ^b	93.99±0.75 ^c	82.69±1.14 ^a
非必需氨基酸Non-essential amino acid						
天冬氨酸Asp	93.54±0.45 ^c	90.27±1.47 ^{de}	85.18±0.69 ^b	89.13±0.47 ^{cd}	86.40±1.98 ^{bc}	75.69±1.63 ^a
丝氨酸Ser	90.21±1.01 ^{bc}	88.20±0.71 ^{bc}	91.38±1.05 ^c	90.54±1.04 ^c	85.48±1.62 ^b	73.91±3.66 ^a
谷氨酸Glu	94.33±0.49 ^c	87.12±0.56 ^{bc}	85.09±1.20 ^b	91.43±0.40 ^d	88.53±0.86 ^c	73.45±1.94 ^a
甘氨酸Gly	91.06±0.81 ^c	89.69±0.86 ^c	89.03±1.12 ^c	82.00±1.26 ^b	80.54±2.26 ^b	64.22±3.20 ^a
丙氨酸Ala	89.91±0.56 ^c	87.27±1.04 ^{de}	84.20±1.27 ^{cd}	76.62±1.39 ^b	80.03±1.99 ^{bc}	62.07±3.29 ^a
胱氨酸Cys	87.49±1.44 ^b	88.49±0.48 ^{bc}	85.78±0.14 ^b	92.83±1.29 ^d	90.78±1.67 ^{cd}	81.61±0.67 ^a
酪氨酸Tyr	86.58±0.60 ^c	90.08±0.47 ^d	88.91±0.29 ^{cd}	87.14±0.45 ^{cd}	79.59±1.22 ^b	72.50±2.02 ^a
脯氨酸Pro	90.15±0.89 ^c	89.96±0.71 ^c	88.73±0.43 ^c	86.92±0.45 ^c	81.33±2.21 ^b	64.24±3.97 ^a
必需氨基酸总量EAA	89.20±0.52 ^c	89.14±0.60 ^c	87.89±0.74 ^c	85.86±0.74 ^c	81.93±1.39 ^b	69.08±2.30 ^a
非必需氨基酸总量NEAA	91.82±0.56 ^d	88.71±0.71 ^{cd}	87.61±0.16 ^{bc}	88.18±0.42 ^{bc}	85.20±1.47 ^b	71.70±2.28 ^a
水解氨基酸总量TAA	90.51±0.54 ^d	88.92±0.63 ^{cd}	87.74±0.41 ^{cd}	87.19±0.56 ^c	83.68±1.42 ^b	70.52±2.27 ^a

球菌蛋白和乙醇梭菌蛋白蛋白质、氨基酸和脂肪的表观消化率基本一致。这说明对于大口黑鲈来说荚膜甲基球菌蛋白和乙醇梭菌蛋白是两种可以替代鱼粉的优质蛋白源,这与细菌蛋白(乙醇梭菌蛋白和荚膜甲基球菌蛋白)抗营养因子、沙门氏菌和生物胺含量较低且蛋白质含量水平较高、氨基酸组成较平衡有关^[4, 29, 30]。有研究表明,荚膜甲基球菌蛋白与豆粕相比蛋氨酸含量较高,与鱼粉相比赖氨酸含量较低^[31]。在本研究中荚膜甲基球菌蛋白蛋氨酸含量为1.73%,在以往研究中豆粕的蛋氨酸含量仅为0.48%^[32]。荚膜甲基球菌蛋白的赖氨酸含量为3.78%,而刘翠等^[19]表明国产鱼粉和进口鱼粉赖氨酸分别为3.62%和3.85%。这说明本研究中荚膜甲基球菌蛋白的蛋氨酸和赖氨酸含量已处于一个较高水平。Utturkar等^[30]表明乙醇梭菌蛋白具有和鱼粉相似的氨基酸谱,且本研究中证实乙醇梭菌蛋白的必需氨基酸均比刘翠等^[19]研究中国产鱼粉和进口鱼粉的必需氨基酸含量高。作为水产动物的限制性氨基酸,乙醇梭菌蛋白中蛋氨酸和赖氨酸分别为2.29%和8.70%,这与Song等^[33]表明乙醇梭菌蛋白氨基酸均衡且富含蛋氨酸和赖氨酸一致。

小球藻属于微藻,富含蛋白质和多不饱和脂肪酸^[34]。本实验中大口黑鲈对小球藻干物质的表观消化率为78.25%,远高于欧洲鲈^[35]对小球藻干物质的表观消化率(41.2%)。可能是本实验中所使用的小球藻经异氧发酵及破壁处理后,碳水化合物含量及细胞壁的破碎情况得到改善,营养物质更容易被消化吸收所致^[34]。以往的研究表明,一般植物性蛋白,比如菜粕的必需氨基酸总量在18.65%^[27]。本研究所用的武汉德默特生物科技有限公司提供的小球藻必需氨基酸总量(33.64%)接近鱼粉,高于一般植物性蛋白^[36],而最终的总氨基酸消化率83.68%的结果也证明了小球藻氨基酸组成和含量的优越性。含硫氨基酸(蛋氨酸和胱氨酸)是小球藻的第一限制性氨基酸^[36],在小球藻的氨基酸谱中,蛋氨酸和胱氨酸含量水平最低,分别为1.17%和0.41%。若将小球藻投入到实际生产中,建议配合蛋氨酸和胱氨酸含量高的原料,通过氨基酸互补作用提高其营养价值。

3.2 黄粉虫粉的表观消化率

黄粉虫粉属于昆虫蛋白,通过各种现代生物科技提取技术(碱提取法、盐提取法和蛋白酶提取法)制作而成,粗蛋白含量可达50%—70%^[37, 38]。在本研究中,黄粉虫粉的蛋白含量为68.82%,大口黑鲈对黄粉虫粉干物质、蛋白质和氨基酸的表观消化率分别为79.57%、83.98%和73.45%—91.83%。

程云旺等^[39]实验结果表明,花鲈对黄粉虫粉的干物质、蛋白质和氨基酸的表观消化率分别为68.74%、74.51%和40.60%—83.07%,稍低于大口黑鲈。大口黑鲈对黄粉虫粉的利用率高于花鲈,可能有两方面原因。一方面本实验所使用的黄粉虫粉是经过酶解发酵的^[40, 41],可被水生动物更好地吸收利用。另一方面黄粉虫粉经酶解发酵后,甲壳素含量可能降低了。以往的研究表明甲壳素含量高可能会阻碍其他营养物质(尤其是脂肪)的消化吸收^[42, 43]。黄粉虫粉的含硫氨基酸较低^[44, 45],且在黄粉虫粉对凡纳滨对虾的研究中发现蛋氨酸是黄粉虫粉的第一限制性氨基酸^[43]。经工艺改良后生产的黄粉虫粉氨基酸谱中蛋氨酸的含量水平为1.59%,高于黄颡鱼^[19]和花鲈^[39]实验中黄粉虫粉蛋氨酸的含量水平(1.03%和1.28%),且接近或高于鱼粉蛋氨酸的含量水平^[19, 24, 27, 28, 32]。因此,黄粉虫粉可在大口黑鲈配合饲料中使用。

3.3 酶解大豆的表观消化率

豆粕是大豆提取豆油后得到的一种副产物^[46],酶解大豆是将大豆进行预处理后,利用现代生物技术将大豆通过蛋白酶酶解降解为可溶性蛋白和小分子多肽的混合物。大口黑鲈^[26]、大黄鱼^[21]、青鱼^[24]和吉富罗非鱼^[25]等对豆粕干物质、蛋白质、和脂肪的表观消化率分别为68.28%、80.12%和81.18%; 68.20%、84.50%和90%; 78.68%、93.49和97.38%; 71.34%、88.70%和97.49%。在本实验中大口黑鲈对酶解大豆的干物质、蛋白质和脂肪的表观消化率为79.76%、81.15%和88.95%。相较于普通豆粕干物质的表观消化率,酶解大豆干物质的表观消化率更高。干物质的消化率反映了鱼类对饲料原料整体的消化水平,是评判饲料原料可消化物质的指标,与粗纤维、灰分含量以及蛋白质、脂肪、碳水化合物等营养物质的吸收密切相关^[23, 47]。因此,与单一营养物质的消化率相比,干物质消化率可以更好地估计饲料中不可消化物质的数量^[48]。这说明本研究酶解大豆中不可消化的物质数量较少,可能与陈创前等^[15]发现,经过酶处理后的豆粕不但有效地降低了豆粕中抗营养因子和大分子蛋白的含量,而且提高了豆粕中的多肽、游离氨基酸的水平有关。Cervantes-Pahm等^[49]也表明经过酶处理得到的酶解大豆和经过高温、膨化等加工方法得到的豆粕相比,避免了因高温过度引起的美拉德反应造成的对豆粕中氨基酸的破坏,从而使酶解大豆的抗营养因子含量显著低于常规豆粕。本实验酶解大豆水解氨基酸总的表观消化率为87.19%,在必需氨基酸中,组氨酸和精氨酸的表观消化率最高

分别为91.51%和91.60%, 蛋氨酸的表现消化率较低为79.48%。与此结果类似, 在鳙(*Aristichthys nobilis*)^[32]和花鲈^[39]实验的豆粕和大豆浓缩蛋白中也出现蛋氨酸的表现消化率比组氨酸和精氨酸的表现消化率低的情况。

3.4 棉籽浓缩蛋白的表现消化率

棉籽浓缩蛋白是经过萃取提油和脱酚后的产物^[1]。目前, 棉籽浓缩蛋白在水产动物方面的应用鲜有报道。吉富罗非鱼^[25]、团头鲂^[28]、青鱼^[24]、花鲈^[39]、麦瑞加拉鲮^[23]和鳙^[32]等对棉粕或脱酚棉籽蛋白干物质的表现消化率在45.44%—81.20%。与以上结果不同, 大口黑鲈对棉籽浓缩蛋白干物质的表现消化率仅为37.27%, 原因可能与实验用鱼规格过小有关(19.28 g), 特小规格大口黑鲈消化系统尚未完善, 对棉籽浓缩蛋白消化吸收能力较差造成的, 建议后续还需继续研究不同生长阶段下大口黑鲈对棉籽浓缩蛋白的消化率实验, 同时尚需观察肠道排空时间的差异, 验证不同蛋白源在大口黑鲈消化道中的停留时间是否是其对于干物质消化率产生差异的原因。本实验中大口黑鲈对棉籽浓缩蛋白的氨基酸表现消化率结果(56.59%—82.69%)与花鲈^[39]的结果(67.41%—91.97%)相对一致。棉籽浓缩蛋白中低赖氨酸含量和高精氨酸含量可能是造成棉籽浓缩蛋白氨基酸表现消化率低于本研究其他几种非粮蛋白源的原因, 过多的精氨酸会限制赖氨酸的消化利用^[50]。将棉籽浓缩蛋白应用到水产饲料时, 需注意要避开精氨酸特别高的原料。

综上所述, 根据表现消化率数据, 从可靠供应商处获得的乙醇梭菌蛋白、荚膜甲基球菌蛋白、小球藻、酶解大豆和黄粉虫粉是大口黑鲈比较理想的蛋白质来源, 可作为大口黑鲈饲料中替代鱼粉的候选物。这些数据将有助于为大口黑鲈制定经济高效的饲料配方。此外, 应进行比较喂养实验, 以估计这些成分在大口黑鲈饲料中的最佳使用量。

参考文献:

- [1] Xue M. Processing of cottonseed protein concentrated and its nutrient values in aquatic feed [J]. *Feed Industry*, 2021, **42**(12): 1-5. [薛敏. 棉籽浓缩蛋白加工工艺及其在水产饲料中营养价值 [J]. 饲料工业, 2021, **42**(12): 1-5.]
- [2] Makkar H P S. Exploitation of new protein and energy feed material in the world (to be continued) [J]. *China Feed*, 2017(4): 40-44. [Makkar H P S. 全球新蛋白及能量原料的开发(待续) [J]. 中国饲料, 2017(4): 40-44.]
- [3] Chen Y, Chi S, Zhang S, *et al.* Replacement of fish meal with Methanotroph (*Methylococcus capsulatus*, Bath) bacteria meal in the diets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. *Aquaculture*, 2021(541): 736801.
- [4] Yang P, Li X, Song B, *et al.* The potential of *Clostridium autoethanogenum*, a new single cell protein, in substituting fish meal in the diet of largemouth bass (*Micropterus salmoides*): Growth, feed utilization and intestinal histology [J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2021.
- [5] Xu Q, Li H J, Wang Q J. Utilization of single cell protein [J]. *Food Engineering*, 2007(4): 22-25. [许倩, 李宏菊, 王秋京. 单细胞蛋白的利用 [J]. 食品工程, 2007(4): 22-25.]
- [6] Pan S H, Gu M, Liang Z L. Research progress on application of single-cell protein source in aquaculture [J]. *Hebei Fisheries*, 2020(7): 53-56. [潘世会, 谷珉, 梁振林. 单细胞蛋白在水产配合饲料中应用的研究进展 [J]. 河北渔业, 2020(7): 53-56.]
- [7] Matassa S, Boon N, Pikaar I, *et al.* Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint [J]. *Microbial Biotechnology*, 2016, **9**(5): 568-575.
- [8] Øverland M, Skrede A. Yeast derived from lignocellulosic biomass as a sustainable feed resource for use in aquaculture [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, **97**(3): 733-742.
- [9] Gao Z X, Guo S Q, Fei Q. Recent progress in microbial bioconversion of greenhouse gases into single cell protein [J]. *CIESC Journal*, 2021, **72**(6): 3202-3214. [高子熹, 郭树奇, 费强. 生物转化温室气体生产单细胞蛋白的研究进展 [J]. 化工学报, 2021, **72**(6): 3202-3214.]
- [10] Ji F J, Yang H S, Wang D F, *et al.* Advances in application of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal as protein sources in diets of pigs, broilers and fishes [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2021, **57**(9): 39-44. [冀凤杰, 杨焕胜, 王定发, 等. 黄粉虫粉作为蛋白源在猪、肉鸡和鱼类饲料中应用的研究进展 [J]. 中国畜牧杂志, 2021, **57**(9): 39-44.]
- [11] Ao X, Yoo J S, Wu Z L, *et al.* Can dried mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae replace fish meal in weaned pigs [J]. *Livestock Science*, 2020, **239**(1): 104103.
- [12] Loponte R, Nizza S, Bovera F, *et al.* Growth performance, blood profiles and carcass traits of Barbary partridge (*Alectoris barbara*) fed two different insect larvae meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) [J]. *Research in Veterinary Science*, 2017(115): 183-188.
- [13] Ko H, Kim Y, Kim J. The produced mealworm meal through organic wastes as a sustainable protein source for weanling pigs [J]. *Journal of Animal Science and Technology*, 2020, **62**(3): 365-373.
- [14] Zhang G G, Li X, Cai X B, *et al.* Effects of enzymatic hydrolyzed soybean meal on growth performance, liver function and metabolism of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019,

- 43(5): 1001-1012. [张改改, 李向, 蔡修兵, 等. 酶解豆粕替代鱼粉对大口黑鲈的生长性能、消化酶活性、肝脏功能及代谢的影响 [J]. *水生生物学报*, 2019, 43(5): 1001-1012.]
- [15] Chen C Q, Cai H W, Shao J S, *et al.* Study on the compound enzymatic hydrolysis of soybean protein [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(10): 6070-6071. [陈创前, 蔡会武, 邵纪生, 等. 大豆蛋白复合酶解法研究 [J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(10): 6070-6071.]
- [16] Xia Y C, Cao Z, Lin L Y, *et al.* Research progress on main diseases of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *China Animal Health Inspection*, 2018, 35(9): 72-76. [夏焱春, 曹铮, 蔺凌云, 等. 大口黑鲈主要病害研究进展 [J]. *中国动物检疫*, 2018, 35(9): 72-76.]
- [17] He M, Yu Y F, Li X Q, *et al.* Evaluation of nutrient value of fermented soybean meal in diet for largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(10): 4943-4955. [何明, 喻一峰, 李小勤, 等. 大口黑鲈饲料中发酵豆粕营养价值的评定 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32(10): 4943-4955.]
- [18] Storebakken T, Kvien I S, Shearer K D, *et al.* The apparent digestibility of diets containing fish meal, soybean meal or bacterial meal fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*): evaluation of different faecal collection methods [J]. *Aquaculture*, 1998, 169(3-4): 195-210.
- [19] Liu C, Zhou J C, Liu H K, *et al.* Apparent digestibility of nutrients in four animal protein ingredients with different processing technology for yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, 44(6): 1215-1221. [刘翠, 周建成, 刘昊昆, 等. 黄颡鱼对四种动物性蛋白原料在不同制粒工艺下的表观消化率研究 [J]. *水生生物学报*, 2020, 44(6): 1215-1221.]
- [20] Lin S M, Luo L, Ye Y T. Apparent digestibility of crude proteins and crude fats in feed ingredients in grass carp [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2001, 8(3): 59-64. [林仕梅, 罗莉, 叶元土. 草鱼对17种饲料原料粗蛋白和粗脂肪的表观消化率 [J]. *中国水产科学*, 2001, 8(3): 59-64.]
- [21] Li H T, Mai K S, Ai Q H, *et al.* Apparent digestibility of selected protein ingredients for larger yellow croaker *pseudosciaena crocea* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(3): 370-376. [李会涛, 麦康森, 艾庆辉, 等. 大黄鱼对几种饲料蛋白原料消化率的研究 [J]. *水生生物学报*, 2007, 31(3): 370-376.]
- [22] Chang Q, Liang M Q, Wang J L, *et al.* Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, 29(2): 172-176. [常青, 梁萌青, 王家林, 等. 花鲈对不同饲料原料的表观消化率 [J]. *水生生物学报*, 2005, 29(2): 172-176.]
- [23] Fang J G, Liang X F, Liu L W, *et al.* Comparative research on apparent digestibility of twelve ingredients for juvenile *Cirrhinus mrigala* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(6): 1178-1186. [房进广, 梁旭方, 刘立维, 等. 麦瑞加拉鲮幼鱼对12种原料表观消化率的比较研究 [J]. *水生生物学报*, 2016, 40(6): 1178-1186.]
- [24] Ming J H, Ye J Y, Zhang Y X, *et al.* Nutrient apparent digestibility in seven feed ingredients for two-year-old black carp (*Mylopharyngodon piceus* Richardson) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(1): 161-169. [明建华, 叶金云, 张易祥, 等. 2龄青鱼对7种饲料原料中营养物质的表观消化率 [J]. *动物营养学报*, 2014, 26(1): 161-169.]
- [25] Li Y, Deng J M, Tao L L, *et al.* Comparative study on apparent digestibility of five feed ingredients for juvenile GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Feed Industry*, 2017, 38(22): 22-27. [李英, 邓君明, 陶琳丽, 等. 吉富罗非鱼对5种蛋白源营养物质表观消化率的比较研究 [J]. *饲料工业*, 2017, 38(22): 22-27.]
- [26] Wang G J, Wu R Q, Xie J, *et al.* Research on apparent digestibility of several feed ingredients for largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Fishery Modernization*, 2008, 35(6): 36-39. [王广军, 吴锐全, 谢骏, 等. 大口黑鲈对四种蛋白质饲料原料的表观消化率研究 [J]. *渔业现代化*, 2008, 35(6): 36-39.]
- [27] Wang J X, Wei Y L, Xu H G, *et al.* Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*) [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(2): 96-103. [王建学, 卫育良, 徐后国, 等. 红鳍东方鲀对8种饲料原料的表观消化率 [J]. *渔业科学进展*, 2021, 42(2): 96-103.]
- [28] Xue Y F, Jiang G Z, Cai W C, *et al.* Comparative study of the apparent digestibility of seven feed protein ingredients at different temperatures in *Megalobrama amblycephala* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(1): 86-96. [薛云飞, 蒋广震, 蔡万存, 等. 两种水温条件下团头鲂对7种蛋白源饲料表观消化率的比较 [J]. *中国水产科学*, 2018, 25(1): 86-96.]
- [29] Øverland M, Skrede A, Matre T. Bacterial protein grown on natural gas as feed for pigs [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science*, 2001, 51(2): 97-106.
- [30] Utturkar S M, Klingeman D M, Bruno-Barcena J M, *et al.* Sequence data for *Clostridium autoethanogenum* using three generations of sequencing technologies [J]. *Scientific Data*, 2015(2): 150014.
- [31] Schøyen H, Hetland H, Rouvinen-Watt K, *et al.* Growth performance and ileal and total tract amino acid digestibility in broiler chickens fed diets containing bacterial protein produced on natural gas [J]. *Poultry science*, 2007, 86(1): 87-93.
- [32] Yu H, Ge X P, Sun S M, *et al.* Apparent digestibility of 10 kinds of feed ingredients for bighead carp (*Aristichthys nobilis*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(4): 1427-1436. [余含, 戈贤平, 孙盛明, 等. 鳊

- 鱼对10种蛋白质饲料原料中营养物质的表现消化率[J]. *动物营养学报*, 2017, **29**(4): 1427-1436.]
- [33] Song Y S, Frias J, Martinez-Villaluenga C, *et al.* Immunoreactivity reduction of soybean meal by fermentation, effect on amino acid composition and antigenicity of commercial soy products [J]. *Food Chemistry*, 2008, **108**(2): 571-581.
- [34] Xu Q, Hou G, Chen J, *et al.* Heterotrophically ultrahigh-cell-density cultivation of a high protein-yielding unicellular alga *Chlorella* with a novel nitrogen-supply strategy [J]. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2021(9): 774854.
- [35] Batista S, Pintado M, Marques A, *et al.* Use of technological processing of seaweed and microalgae as strategy to improve their apparent digestibility coefficients in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2020, **32**(5): 3429-3446.
- [36] Yang L S, Li G P, Chen L S. Analysis of the contents of protein and amino acid in the powder of *Chlorella pyrenoidosa* and its nutritive value [J]. *Subtropical Plant Science*, 2003, **32**(1): 36-38. [杨鹭生, 李国平, 陈林水. 蛋白核小球藻粉的蛋白质、氨基酸含量及营养价值评价[J]. *亚热带植物科学*, 2003, **32**(1): 36-38.]
- [37] Li J P, Xu T C, Gong D Y, *et al.* Research status of development and utilization of *Tenebrio molitor* protein [J]. *Food and Nutrition in China*, 2015, **21**(7): 36-38. [李渐鹏, 徐同成, 巩东营, 等. 黄粉虫蛋白资源的利用研究概况[J]. *中国食物与营养*, 2015, **21**(7): 36-38.]
- [38] Chen J F. Nutritional characteristic of *Tenebrio molitor* and its application in livestock and poultry diets [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2021, **48**(7): 2424-2430. [陈继发. 黄粉虫的营养特性及其在畜禽饲料中的应用效果[J]. *中国畜牧兽医*, 2021, **48**(7): 2424-2430.]
- [39] Cheng Y W, Lu K L, Wang L, *et al.* Apparent digestibility of seven protein ingredients for *Lateolabrax maculatus* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2021, **51**(1): 57-64. [程云旺, 鲁康乐, 王玲, 等. 花鲈对七种蛋白质原料的表现消化率[J]. *淡水渔业*, 2021, **51**(1): 57-64.]
- [40] Li A K, Yun T T, Zhang X L, *et al.* Progress in research and utilization of new high-quality fermented and enzymatic hydrolysis oilseed meals of protein feedstuff resources [J]. *Feed Industry*, 2012, **33**(22): 1-6. [李爱科, 负婷婷, 张晓琳, 等. 新型优质发酵及酶解饼粕蛋白饲料资源开发利用现状与展望[J]. *饲料工业*, 2012, **33**(22): 1-6.]
- [41] Li F, Wei M, Wu Z M, *et al.* The structural changes of protein subjected to high pressure and its influence on enzymatic hydrolysis and functional properties [J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2015, **43**(10): 292-294. [李凤, 魏明, 吴照民, 等. 高压对蛋白质结构和酶解及功能性质的影响研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2015, **43**(10): 292-294.]
- [42] Alegbeleye W O, Obasa S O, Olude O O, *et al.* Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings [J]. *Aquaculture Research*, 2012, **43**(3): 412-420.
- [43] Olsen R E, Suontama J, Langmyhr E, *et al.* The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, **12**(4): 280-290.
- [44] Longvah T, Mangthya K, Ramulu P. Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae [J]. *Food Chemistry*, 2011, **128**(2): 400-403.
- [45] Ji Y J. Evaluating nutritional value of three kinds of insects [D]. Nanchang: Nanchang University, 2013. [姬玉娇. 三种昆虫的营养价值评价[D]. 南昌: 南昌大学, 2013.]
- [46] Yang L, Tan H Z, Liu S B, *et al.* Analysis of nutritional value and anti-nutritional components of soybean meal in livestock and poultry feed [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2021(3): 41-44. [杨露, 谭会泽, 刘松柏, 等. 豆粕在畜禽饲料中的营养价值与抗营养成分解析[J]. *粮食与饲料工业*, 2021(3): 41-44.]
- [47] Mo W Y, Man Y B, Wong M H. Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: needs and challenge [J]. *Science of the Total Environment*, 2018(613-614): 635-643.
- [48] Brunson J F, Romaine R P, Reigh R C. Apparent digestibility of selected ingredients in diets for white shrimp *Penaeus setiferus* L. [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1997, **3**(1): 9-16.
- [49] Cervantes-Pahm S K, Stein H H. Ileal digestibility of amino acids in conventional, fermented, and enzyme-treated soybean meal and in soy protein isolate, fish meal, and casein fed to weanling pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2010, **88**(8): 2674-2683.
- [50] Zhou F. Study on effects of dietary lysine and arginine on growth performance, and the arginine/lysine Antagonism mechanism in juvenile black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011. [周凡. 饲料赖氨酸和精氨酸对黑鲷幼鱼生长影响及其拮抗作用机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.]

APPARENT DIGESTIBILITY OF SIX NEW NON-GRAIN PROTEIN INGREDIENTS FOR LARGEMOUTH BASS (*MICROPTERUS SALMOIDES*)

SHI Yu-Hui¹, ZHU Shu-Jie¹, TAN Bei-Ping², ZHANG Wen-Bing³, ZHOU Xiao-Qiu⁴,
GAO Wei-Hua¹ and CHI Shu-Yan²

(1. Hubei Key Laboratory of Waterlogging Disaster and Agricultural Use of Wetland, Yangtze University, Jingzhou 434024, China; 2. Guangdong South China Sea Key Laboratory of Aquaculture for Aquatic Economic Animals, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 3. The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 4. Animal Nutrition Institute, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: Apparent digestibility of dry matter (ADMD), crude protein (ACPD), crude lipid (ACLD), gross energy (AED) and amino acids (AACA) in methanotroph (*Methylococcus capsulatus*, Bath) bacteria meal (MBM), cottonseed *Clostridium autoethanogenum* protein (CAP), *Tenebrio molitor* meal (TMM), enzyme-treated soy protein (ETSP), *Chlorell* meal (CM) and cottonseed protein concentrate (CPC) were determined respectively for largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Apparent digestibility coefficients were determined by using a reference diet with 0.1% Yttrium oxide indicator and test diets that contained 70% reference diet and 30% of the test ingredient being evaluated. The largemouth bass with an average body weight of (19.28±0.10) g were randomly divided into 7 groups with 3 replicates per group and 30 fish per replicate. ADMD coefficients of test ingredients ranged from 37.27% to 86.43%, and ADMD coefficients for CAP and MBM (82.77%—86.43%) were significantly higher than TMM, ETSP, CM, and CPC ($P<0.05$). ACPD coefficients of test ingredients ranged from 79.97% to 88.45%. The higher ACPD coefficients were observed in CAP and MBM (87.44%—88.45%), followed by TMM, which were significantly higher than those of CPC (79.97%; $P<0.05$); AACA coefficients of test ingredients ranged from 70.52%—90.51%. The variation trend of the AACA coefficients was basically consistent with that of ACPD coefficients. ACLD coefficients of test ingredients ranged from 51.19%—97.48%. The highest ACLD coefficients were observed in CAP and MBM (94.79%—97.48%). ACLD coefficients for TMM, ETSP and CM (63.11%—88.98%) were significantly higher than those of CPC (51.19%; $P<0.05$). AED coefficients of test ingredients ranged from 43.25% to 85.43%. The highest AED coefficients were observed in CAP and MBM (83.91%—85.43%). AED coefficients for TMM, ETSP and CM (72.09%—80.53%) were significantly higher than those of CPC (43.25%; $P<0.05$). These results indicate that CAP and MBM are the best protein source for largemouth bass, and TMM, ETSP and CM are also high-quality protein source for largemouth bass.

Key words: Methanotroph (*Methylococcus capsulatus* Bath) bacteria meal; Cottonseed *Clostridium autoethanogenum* protein; *Tenebrio molitor* meal; Enzyme-treated soy protein; *Chlorell* meal; Cottonseed protein concentrate; Apparent digestibility; *Micropterus salmoides*