

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17098

## 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

薛云飞, 蒋广震, 蔡万存, 钱好, 刘文斌

南京农业大学 动物科技学院, 江苏省水产动物营养重点实验室, 江苏 南京 210095

**摘要:** 采用由 30%待测蛋白源饲料原料和 70%基础饲料组成的试验饲料, 以三氧化二钇( $Y_2O_3$ )作外源指示剂, 添加量为 0.05%, 以平均体重( $34.38 \pm 1.06$ ) g 的团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)幼鱼作研究对象, 在 30℃和 25℃两种水温条件下比较研究其对鱼粉(FM)、豆粕(SBM)、菜粕(RSM)、棉粕(CSM)、酵母浸粉(YEF)、肉骨粉(MBM)和花生粕(PNM)7 种蛋白源饲料原料的干物质(DM)、粗蛋白(CP)、总能(GE)、总氨基酸(TAA)及必需氨基酸(EAA)的表观消化率。结果显示: 水温 30℃时, 酵母浸粉的干物质、总能、粗蛋白和必需氨基酸的表观消化率最高; 水温 25℃时, 原料干物质和总能的表观消化率最高的为鱼粉, 粗蛋白、必需氨基酸和总氨基酸的表观消化率最高的为豆粕。在两个水温下, 原料干物质、粗蛋白、总氨基酸和必需氨基酸的表观消化率最低的均是肉骨粉, 总能的表观消化率最低的是棉粕。在 30℃时团头鲂对蛋白源饲料原料各营养成分的表观消化率高于 25℃时, 且酵母浸粉在两个水温下各营养成分的消化率差异显著( $P < 0.05$ )。在 30℃时, 酵母浸粉的各养分表观消化率较高, 但其氨基酸平衡性较差, 需适量添加蛋氨酸, 满足团头鲂对氨基酸的需求; 在 25℃时, 豆粕和鱼粉各养分表观消化率较高, 可作为团头鲂饲料的优质蛋白源饲料原料。肉骨粉在两个水温下均表现出最低表观消化率, 需搭配其他饲料适量使用。

**关键词:** 团头鲂; 蛋白源饲料原料; 水温; 表观消化率

中图分类号: S963; Q96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)01-0086-11

饲料原料的营养价值由多方面因素决定, 包括原料的各营养组成, 动物对原料中营养成分的消化、吸收及利用率<sup>[1]</sup>, 故需要对饲料原料的营养价值进行测评。在养殖生产中, 饲料原料的表观消化率是其营养价值测评的决定性指标<sup>[2-3]</sup>。因此, 精准测定鱼类对饲料原料各营养成分的表观消化率并获取数据, 对鱼类饲料配方的配制优化至关重要。鱼类属于低等变温生物, 外界环境(尤其水温)对鱼类生长的影响尤为显著。早期研究认为, 在自然环境下, 正常的水温变动并不会使鱼类对饲料的消化率发生明显变化, 但是随着研究的进一步深入, 不少学者发现鱼类对饲料的消化率可能会受水温的影响<sup>[4]</sup>。田宏杰等<sup>[5]</sup>在对施氏鲟(*Acipenser schrenckii* Brandt)幼鱼的研究中发现, 水温 14℃时鱼体各消化器官中脂肪酶活力高于

21℃和 28℃时, 且不同水温对淀粉酶的活力产生不同影响。水温变化导致的水中溶解氧含量及氨氮浓度变化, 可能引起鱼类消化酶活性变化, 影响鱼类正常生理机能, 进而影响鱼类对饲料的消化率<sup>[6-7]</sup>。另一方面, 鱼类胃肠道的排空率可能会受水温的影响, 随水温的升高许多鱼类的排空率会表现出上升<sup>[8]</sup>。因此, 研究不同饲料原料在不同水温时的表观消化率, 为不同水温饲喂条件下鱼类饲料配方的精准配制提供重要的理论根据, 有助于节能减排, 优化饲料资源利用。

团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)亦称鳊鱼、武昌鱼, 具有营养丰富、经济价值高等优良特性, 是中国主要淡水养殖草食性鱼类品种之一。近十年来, 团头鲂的养殖产量整体呈现逐年递增的趋势, 到 2014 年增至 78.30 万 t, 与 2013

收稿日期: 2017-03-22; 修订日期: 2017-05-27.

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-45-14).

作者简介: 薛云飞(1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料. E-mail: 2015805092@njau.edu.cn

通信作者: 刘文斌, 教授, 博士生导师. 研究方向为水产动物生理与营养学. E-mail: wbliu@njau.edu.cn

年相比增幅 7.12%<sup>[9]</sup>。在全国范围内团头鲂的养殖地区广泛, 从南到北均有分布, 主要集中在湖北、安徽、江苏等省份。然而, 不同养殖地区的水温差异较大, 不同水温下团头鲂对饲料的消化率可能存在差异。到目前为止, 有关团头鲂对饲料原料表观消化率的试验研究还不够充分, 以往研究均在单一环境温度下进行, 而在不同水温下的消化率研究鲜有报道。吴建开等<sup>[10]</sup>、姜雪姣等<sup>[11-12]</sup>分别在(26±1)°C和(27±0.6)°C条件下研究了团头鲂对常规饲料原料和非常规饲料原料的表观消化率。本研究试图通过分析 25°C和 30°C水温条件下团头鲂幼鱼对 7 种蛋白源饲料原料中粗蛋白、总能、氨基酸和干物质表观消化率的变化特点, 为配制科学高效的团头鲂优质配合饲料提供最新的基础依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验饲料与配制

试验饲料由待测蛋白源饲料原料与基础饲料按照 3 : 7 的比例构成, 基础饲料配方及营养组成见表 1。试验选取 7 种蛋白源饲料原料: 鱼粉(fish meal, FM) (购自美国阿拉斯加)、豆粕(soybean meal, SBM) (购自新疆阿拉尔瑞泰生物蛋白有限公司)、菜粕(rapeseed meal, RSM) (购自福州集佳油脂有限公司)、棉粕(cottonseed meal, CSM) (购自新疆阿拉尔瑞泰生物蛋白有限公司)、酵母浸粉(yeast extract fermentation, YEF) (购自湖北宜昌安琪酵母股份有限公司)、肉骨粉(meat and bone meal, MBM) (购自澳大利亚)、花生粕(peanut meal, PNM) (购自山东泗水县鸿远油脂有限公司)。试验测定团头鲂对其氨基酸和营养成分的表观消化率, 各蛋白源饲料原料氨基酸含量及营养成分见表 2。试验蛋白源饲料原料粉碎后过 60 目筛, 配制时用 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 作外源指示剂, 添加量为 0.05%, 混合均匀, 并用制粒机制成颗粒料, 储存于 4°C 冰箱中备用。

### 1.2 试验设计

试验鱼养殖在室内控温循环系统中, 养殖水族箱( $d=0.72$  m,  $h=0.85$  m)水深 0.60~0.65 m。所用团头鲂幼鱼购自江苏扬州四大家鱼良种育种场。试验开始前试验鱼暂养于循环系统中, 使用商品

饲料进行饱食投喂, 经 7 d 的驯化后挑选出规格一致、体重(34.38±1.06) g、活力旺盛的团头鲂用于实验, 随机分为 16 组, 每组 3 个重复, 每个重复平均 20 尾鱼。驯化阶段, 观察试验鱼摄食和排便规律。正式试验开始前, 停饲 3 d。

表 1 基础饲料配方及营养组成

Tab. 1 Formulation and nutrient composition of basal diet %; 风干重 dry matter

原料 ingredient	含量 content	原料 ingredient	含量 content
鱼粉 fish meal	5.00	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.80
肉骨粉 meat and bone meal	4.00	预混料 premix*	1.00
豆粕 soybean meal	11.93	食盐(饲料级) NaCl	0.30
菜粕 rapeseed meal	9.95	氧化钇 Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05
棉粕 cottonseed meal	9.93	营养组成 nutrient composition	
酵母浸粉 yeast extract fermentation	4.00	干物质 dry matter	92.08
花生粕 peanut meal	4.00	粗蛋白 crude protein	27.45
面粉 wheat flour	29.30	粗脂肪 ether extract	7.15
麸皮 wheat bran	14.99	粗灰分 ash	8.21
大豆油 soybean oil	3.80	总能(kJ/g) gross energy	18.23

注: 预混料中含以下维生素(每千克饲料含量): 维生素 A 900000 IU, 维生素 D 200000 IU, 维生素 E 4500 mg, 维生素 K<sub>3</sub> 220 mg, 维生素 B<sub>1</sub> 320 mg, 维生素 B<sub>2</sub> 1090 mg, 维生素 B<sub>5</sub> 2000 mg, 维生素 B<sub>6</sub> 500 mg, 维生素 B<sub>12</sub> 1.6 mg, 维生素 C 5000 mg, 泛酸 1000 mg, 叶酸 165 mg, 胆碱 60000 mg。预混料中含矿物质(每千克饲料含量): 硫酸铜 2.0 g, 硫酸铁 25 g, 硫酸锌 22 g, 硫酸锰 7 g, 亚硒酸钠 0.04 g, 碘化钾 0.026 g, 氯化钴 0.1 g。

Note: \*Premix supplied the following vitamins (per kilogram diet): VA900000 IU, VD200000 IU, VE4500 mg, VK<sub>3</sub> 220 mg, VB<sub>1</sub> 320 mg, VB<sub>2</sub> 1090 mg, VB<sub>5</sub> 2000 mg, VB<sub>6</sub> 500 mg, VB<sub>12</sub> 1.6 mg, VC5000 mg, pantothenate1000 mg, folicacid 165 mg, choline60000 mg. Premix supplied the following minerals (per kilogram diet): CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 2.0 g, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 25 g, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 22 g, KI 0.026 g, MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O 7 g, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0.04 g, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.1 g。

试验设两个水温(25°C和 30°C), 试验用水及处理方式同张春暖等<sup>[13]</sup>, 水体温度用冷水机进行循环调控, 并用温度计实时监测水体温度, 每次投喂饲料时查看水温, 空气温度用空调控制在(27±1)°C。每个温度饲养 8 组试验鱼, 在进行正式试验前将水温缓慢上升至试验所需温度, 避免鱼体应激死亡, 经驯化试验鱼适应试验环境后开始进行正式试验。试验期间, 保持水温恒定(2.05±0.5, 30.0±0.5)°C, 全程充氧, 控制水中溶解氧>5.0 mg/L, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N<0.5 mg/L, pH 为 6.5~7.6, NO<sub>2</sub>-N<0.05 mg/L。

表 2 蛋白源饲料原料营养成分及氨基酸含量  
Tab. 2 Nutrient composition and amino acids of test protein ingredients

%; 风干重 dry matter

营养成分 nutrient composition	蛋白源饲料原料 test protein ingredient						
	鱼粉 fish meal	肉骨粉 meat and bone meal	豆粕 soybean meal	菜粕 rapeseed meal	棉粕 cottonseed meal	酵母浸粉 yeast extract fermentation	花生粕 peanut meal
干物质 dry matter	90.36	92.20	89.39	89.19	89.01	93.81	86.86
粗蛋白 crude protein	59.13	51.41	43.55	34.56	45.81	69.67	46.30
粗脂肪 ether extract	10.51	8.33	0.60	2.20	1.69	0.33	0.92
粗灰分 ash	17.50	34.75	6.09	6.72	7.02	8.91	6.23
总能(kJ/g) gross energy	19.41	16.81	18.28	18.26	18.09	18.30	17.84
氨基酸 amino acid							
天冬氨酸 Asp	5.38	3.05	4.95	2.55	3.63	6.17	5.54
苏氨酸 Thr	2.56	1.32	1.75	1.62	1.33	2.84	1.34
丝氨酸 Ser	2.39	1.75	2.27	1.62	1.82	2.84	2.38
谷氨酸 Glu	7.71	4.91	7.57	6.25	7.81	9.37	8.94
甘氨酸 Gly	3.94	7.05	1.85	1.83	1.64	2.71	2.82
丙氨酸 Ala	3.85	3.47	1.91	1.63	1.58	6.41	1.92
半胱氨酸 Cys	0.58	0.40	0.58	0.68	0.60	0.62	0.56
缬氨酸 Val	2.86	1.60	2.00	1.79	1.73	3.64	1.90
蛋氨酸 Met	1.79	0.58	0.49	0.59	0.51	0.92	0.46
异亮氨酸 Ile	2.46	1.09	1.94	1.40	1.21	2.92	1.58
亮氨酸 Leu	4.44	2.41	3.38	2.61	2.35	4.25	3.15
酪氨酸 Tyr	1.76	0.81	1.39	0.89	0.98	1.68	1.63
苯丙氨酸 Phe	2.53	1.41	2.26	1.51	2.26	2.66	2.44
赖氨酸 Lys	4.43	2.02	2.61	2.07	1.78	4.43	1.57
组氨酸 His	1.52	0.64	1.10	0.97	1.12	1.25	1.08
精氨酸 Arg	3.34	3.28	3.04	2.14	4.86	3.18	5.35
脯氨酸 Pro	2.43	4.18	2.12	2.20	1.41	2.24	1.93

注: 色氨酸在水解过程中被破坏, 故未检测出。

Note: Tryptophan was destroyed during the hydrolysis process, so it had not been detected.

### 1.3 饲养管理与样品采集

正式试验时, 分别随机从 8 组中选取 1 组设为对照组, 其余 7 组为试验组, 对照组饲喂基础饲料, 试验组分别投喂 7 种试验饲料。每日定时饱食投喂, 投喂时间分别为 7:00 和 14:00。观察试验鱼的摄食情况并记录, 试验鱼摄食结束后将残饵清除。养殖 7 d 后收集粪样, 团头鲂在结束投喂的 5~6 h 进入排粪高峰期, 采用密集网捞从水族箱的底部收集新鲜、成形的粪便于培养皿中, 并将培养皿编号, 持续收集 28 d。收集结束后将粪便置于 65℃烘箱中烘干, 密封于自封袋中置于 -20℃存放。

### 1.4 指标测定与计算方法

试验蛋白源饲料原料、饲料及粪样中干物质、水分、粗灰分采用 AOAC 所示方法测得。粗蛋白使用全自动凯氏定氮仪(FOSS KT260, 瑞士)测其含量; 粗脂肪使用索氏抽提法测定; 总能使用氧弹测热仪测得; 氨基酸通过全自动氨基酸分析仪(Hitachi L-8900 型, 日本)测得其组成及含量, 测氨基酸时的前处理采用酸水解, 将饲料和粪便中蛋白水解成单一的氨基酸, 后置于全自动氨基酸分析仪进样测定分析; 重金属钇(Y)使用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP)测得其含量。

试验饲料和基础饲料中营养成分的表观消化

率的计算方法及公式如下:

$$\text{饲料中干物质表观消化率}=(1-S_Y/F_Y)\times 100\%$$

$$\text{饲料粗蛋白、总能及各氨基酸的表观消化率}=[1-(F_i/S_i)\times(S_Y/F_Y)]\times 100\%$$

式中,  $S_Y$  为饲料中  $Y_2O_3$  的含量(%);  $F_Y$  为粪便中  $Y_2O_3$  的含量(%);  $S_i$  为待测饲料中某营养成分含量(%);  $F_i$  为收集粪便中某营养成分含量(%)。

待测蛋白原料中总能量、干物质、粗蛋白质及氨基酸的表观消化率的计算方法及公式如下:

$$D_i=(D_T-rD_R)/(1-r)$$

$$r=(W_RX_R)/W_TX_T$$

式中,  $D_i$  表示所测蛋白源饲料原料中某一营养成分的表观消化率(%);  $D_T$  表示试验饲料中某种营养成分的表观消化率(%);  $D_R$  表示基础饲料中某种营养成分的表观消化率(%);  $W_R$  表示摄入试验饲料中的基础饲料质量(g);  $W_T$  表示摄入的试验饲料质量(g);  $X_R$  表示基础饲料中某种营养成分的百分含量(%);  $X_T$  表示试验饲料中某种营养成分的百分含量(%)。

### 1.5 数据处理与分析

试验所得数据使用统计软件 SPSS20.0 进行双因素方差分析 (two-way ANOVA)。当差异显著

时, 用 One-way ANOVA 中的 Tukey 法进行方差分析并进行  $T$  检验, 分析结果采用平均值 $\pm$ 标准误差 ( $\bar{x}\pm SE$ ) 表示, ( $P<0.05$ ) 表示差异显著, ( $P<0.01$ ) 表示差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料干物质、粗蛋白和总能的表观消化率

不同水温下团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料营养成分中干物质、粗蛋白和总能的表观消化率见表 3。

在 30℃ 时, 7 种蛋白源饲料原料干物质的表观消化率在 24.88%~90.63%, 基础饲料的消化率为 62.98%, 酵母浸粉干物质的消化率最高, 为 90.63%, 肉骨粉和棉粕的消化率与其他蛋白源饲料原料相比显著较低 ( $P<0.05$ ), 肉骨粉的消化率最低, 为 24.88%。在 25℃ 时, 7 种蛋白源饲料原料干物质的表观消化率在 33.65%~79.79%, 基础饲料的消化率为 63.72%, 鱼粉和酵母浸粉干物质的表观消化率与其他试验蛋白源饲料原料相比显著较高 ( $P<0.05$ ), 豆粕和菜粕的消化率显著高于棉粕、肉骨粉和花生粕 ( $P<0.05$ ), 肉骨粉最低, 与其余蛋白源饲料原料相比显著较低 ( $P<0.05$ )。由表 3

表 3 团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料在 30℃ 和 25℃ 下营养成分的表观消化率  
Tab. 3 Apparent digestibility of nutrients in seven test protein ingredients under the temperature of 30℃ and 25℃ for *Megalobrama amblycephala*

%;  $n=3$ ;  $\bar{x}\pm SE$

蛋白源饲料原料 test protein ingredient	干物质 dry matter		粗蛋白 crude protein		总能 gross energy	
	30℃	25℃	30℃	25℃	30℃	25℃
鱼粉 FM	82.67 $\pm$ 4.42 <sup>ab</sup>	79.79 $\pm$ 2.39 <sup>A</sup>	89.15 $\pm$ 1.46 <sup>a</sup>	88.80 $\pm$ 1.65 <sup>B</sup>	95.25 $\pm$ 4.20 <sup>ab</sup>	89.79 $\pm$ 2.75 <sup>A</sup>
肉骨粉 MBM	24.88 $\pm$ 6.13 <sup>d</sup>	33.65 $\pm$ 4.45 <sup>D</sup>	52.32 $\pm$ 4.24 <sup>b</sup>	64.23 $\pm$ 2.28 <sup>C</sup>	60.37 $\pm$ 1.47 <sup>de</sup>	65.08 $\pm$ 7.37 <sup>CD</sup>
豆粕 SBM	76.15 $\pm$ 2.27 <sup>abc</sup>	71.04 $\pm$ 2.7 <sup>AB</sup>	93.71 $\pm$ 1.83 <sup>a</sup>	96.53 $\pm$ 0.37 <sup>A</sup>	83.71 $\pm$ 3.11 <sup>bc</sup>	78.42 $\pm$ 2.53 <sup>AB</sup>
菜粕 RSM	72.06 $\pm$ 8.55 <sup>bc</sup>	67.26 $\pm$ 4.12 <sup>B</sup>	90.81 $\pm$ 3.49 <sup>a</sup>	91.10 $\pm$ 3.33 <sup>AB</sup>	78.91 $\pm$ 7.18 <sup>c</sup>	72.86 $\pm$ 3.72 <sup>BC</sup>
棉粕 CSM	36.78 $\pm$ 7.87 <sup>d</sup>	52.51 $\pm$ 1.90 <sup>C</sup>	85.86 $\pm$ 3.69 <sup>a</sup>	88.52 $\pm$ 1.77 <sup>B</sup>	47.77 $\pm$ 6.46 <sup>e</sup>	58.17 $\pm$ 1.24 <sup>D</sup>
酵母浸粉 YEF	90.63 $\pm$ 4.06 <sup>a*</sup>	78.22 $\pm$ 1.75 <sup>A</sup>	94.88 $\pm$ 0.52 <sup>a*</sup>	93.03 $\pm$ 0.31 <sup>AB</sup>	102.69 $\pm$ 4.38 <sup>a*</sup>	87.98 $\pm$ 1.06 <sup>A</sup>
花生粕 PNM	63.60 $\pm$ 3.18 <sup>c</sup>	58.34 $\pm$ 1.48 <sup>C</sup>	92.34 $\pm$ 1.49 <sup>a</sup>	91.95 $\pm$ 2.60 <sup>AB</sup>	72.96 $\pm$ 2.80 <sup>cd</sup>	69.64 $\pm$ 2.32 <sup>BC</sup>
水温 temperature		0.758		0.056		0.249
原料 ingredient		0.000		0.000		0.000
交互作用 interaction		0.055		0.123		0.092

注: 同列肩标不同大小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 相同大小写字母表示差异不显著 ( $P>0.05$ ), 同行大小写字母分别表示两个水温; 同行肩标“\*”表示前后两者差异显著 ( $P<0.05$ ), 同行肩标“\*\*\*”表示前后两者差异极显著 ( $P<0.01$ )。

Note: In the same row, values with different superscripts mean significant differences ( $P<0.05$ ), the same superscripts mean no significant differences ( $P>0.05$ ), the different superscripts mean two temperatures; “\*” means significant differences ( $P<0.05$ ); “\*\*\*” means extremely significant differences ( $P<0.01$ ).

可看出,水温对干物质的消化率产生的影响不显著( $P>0.05$ ),蛋白源饲料原料对干物质的消化率产生的影响显著( $P<0.05$ ),水温和原料无交互作用( $P>0.05$ )。在不同水温下团头鲂对 7 种饲料原料中酵母浸粉干物质的表观消化率存在显著差异( $P<0.05$ )。

在 30℃时,7 种蛋白源饲料原料粗蛋白的表观消化率在 52.32%~94.88%,基础饲料的消化率为 86.69%,酵母浸粉表现出最高的粗蛋白表观消化率,为 94.88%,而肉骨粉表现出最低的表观消化率,为 52.32%,与其余蛋白源饲料原料相比显著较低( $P<0.05$ ),鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕和花生粕间无显著差异( $P>0.05$ )。在 25℃时,7 种蛋白源饲料原料粗蛋白的表观消化率在 64.23%~96.53%,基础饲料的消化率为 89.52%,豆粕表现出最高的粗蛋白消化率,为 96.53%,而肉骨粉表现出最低的消化率,为 64.23%,与其余蛋白源饲料原料相比显著较低( $P<0.05$ ),鱼粉、酵母浸粉、菜粕、棉粕和花生粕间无显著差异( $P>0.05$ )。从表 3 可见,水温对粗蛋白消化率的影响不显著( $P>0.05$ ),蛋白源饲料原料对其影响显著( $P<0.05$ ),水温和原料无交互作用( $P>0.05$ )。在不同水温下团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料中酵母浸粉粗蛋白的表观消化率存在显著差异( $P<0.05$ )。

在 30℃时,7 种蛋白源饲料原料总能的表观消化率在 47.77%~102.69%,基础饲料的消化率为 69.02%,酵母浸粉和鱼粉的消化率与其余蛋白源饲料原料相比显著较高( $P<0.05$ ),较低的是菜粕、花生粕和肉骨粉,最低的为棉粕,其消化率与其余蛋白源饲料原料(肉骨粉除外)相比显著较低( $P<0.05$ )。在 25℃时,总能的表观消化率在 58.17%~89.79%,基础饲料的消化率为 70.48%,鱼粉表现出最高的表观消化率为 89.79%,酵母浸粉次于鱼粉,棉粕表现出最低的消化率,与其余蛋白源饲料原料相比显著较低( $P<0.05$ )。由表 3 可见,水温对总能消化率产生的影响不显著( $P>0.05$ ),蛋白源饲料原料对总能消化率产生的影响显著( $P<0.05$ ),水温和原料无交互作用( $P>0.05$ )。在不同水温下团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料中酵母浸粉

总能的表观消化率存在显著差异( $P<0.05$ )。

## 2.2 团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料氨基酸的表观消化率

在不同水温下团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料氨基酸的表观消化率见表 4。

在 30℃时,7 种蛋白源饲料原料总氨基酸的表观消化率为 51.18%~95.15%,基础饲料的消化率为 88.61%,其中豆粕最高,而肉骨粉与其余蛋白源饲料原料相比显著较低( $P<0.05$ ),其余 5 种蛋白源饲料原料间无显著差异( $P>0.05$ )。在 25℃时,7 种蛋白源饲料原料总氨基酸的表观消化率在 57.13%~97.4%,基础饲料的消化率为 88.15%,其中豆粕最高,而肉骨粉表现出最低的表观消化率,为 57.13%,与其他蛋白源饲料原料相比显著较低( $P<0.05$ ),其余 4 种蛋白源饲料原料(棉粕除外)间无显著差异( $P>0.05$ )。从表 4 可见,水温对总氨基酸消化率产生的影响不显著( $P>0.05$ ),蛋白源饲料原料对总氨基酸消化率产生的影响显著( $P<0.05$ ),水温和原料无交互作用( $P>0.05$ )。

在 30℃时,7 种蛋白源饲料原料必需氨基酸的表观消化率为 42.97%~95.5%,基础饲料的消化率为 84.92%,酵母浸粉最高,而肉骨粉与其余蛋白源饲料原料相比显著较低( $P<0.05$ ),其余 4 种蛋白源饲料原料(棉粕除外)间无显著差异( $P>0.05$ )。在 25℃时,7 种蛋白源饲料原料必需氨基酸的表观消化率为 49.03%~97.3%,基础饲料的消化率为 84.42%,其中豆粕最高,而肉骨粉表现出最低的表观消化率,为 49.03%,与其余蛋白源饲料原料相比显著较低( $P<0.05$ ),鱼粉、酵母浸粉、菜粕和花生粕之间无显著差异( $P>0.05$ )。从表 4 可见,水温对必需氨基酸的表观消化率产生的影响不显著( $P>0.05$ ),蛋白源饲料原料对必需氨基酸消化率产生的影响显著( $P<0.05$ ),水温和原料无交互作用( $P>0.05$ )。在不同水温下团头鲂对酵母浸粉中必需氨基酸的表观消化率存在显著差异( $P<0.05$ )。

在 30℃时,团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料各必需氨基酸的表观消化率基本都以酵母浸粉最高,而精氨酸的消化率最高的是豆粕,最低表观消化率与总必需氨基酸一致,都是肉骨粉。在 25℃时,

表 4 团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料在 30℃ 和 25℃ 下氨基酸的表现消化率  
Tab. 4 Apparent digestibility of amino acids in seven test protein ingredients under the temperature of 30°C and 25°C for *Megalobrama amblycephala*

氨基酸 amino acid	蛋白源饲料原料 test protein ingredient														水温 temper- ature	原料 ingre- dient	交互 作用 interac- tion
	鱼粉 FM		肉骨粉 MBM		豆粕 SBM		菜粕 RSM		棉粕 CSM		酵母浸粉 YEF		花生粕 PNM				
	30℃	25℃	30℃	25℃	30℃	25℃	30℃	25℃	30℃	25℃	30℃	25℃	30℃	25℃			
赖氨酸 Lys	95.44± 1.16 <sup>a</sup>	96.03± 0.43 <sup>a</sup>	58.07± 3.19 <sup>c</sup>	63.89± 3.70 <sup>D</sup>	94.79± 2.21 <sup>a</sup>	97.09± 0.54 <sup>A</sup>	92.54± 3.85 <sup>a</sup>	92.34± 1.98 <sup>A</sup>	75.63± 4.16 <sup>b</sup>	77.34± 1.46 <sup>C</sup>	96.86± 0.48 <sup>a*</sup>	95.16± 0.38 <sup>A</sup>	88.69± 3.73 <sup>a</sup>	85.52± 2.65 <sup>B</sup>	0.588	0.000	0.709
蛋氨酸 Met	92.50± 0.45 <sup>ab*</sup>	94.18± 0.20 <sup>BC</sup>	66.07± 3.11 <sup>d</sup>	71.59± 2.76 <sup>E</sup>	94.31± 1.76 <sup>ab</sup>	98.26± 0.94 <sup>A</sup>	95.09± 2.78 <sup>a</sup>	97.42± 1.02 <sup>AB</sup>	82.51± 3.04 <sup>c</sup>	86.54± 0.81 <sup>D</sup>	96.33± 0.99 <sup>a</sup>	93.48± 0.12 <sup>C</sup>	84.93± 5.70 <sup>bc</sup>	86.58± 0.38 <sup>D</sup>	0.086	0.000	0.577
精氨酸 Arg	93.32± 1.84 <sup>a</sup>	95.49± 0.70 <sup>A</sup>	48.99± 4.65 <sup>b</sup>	53.26± 4.68 <sup>B</sup>	97.32± 2.79 <sup>a</sup>	98.72± 0.35 <sup>A</sup>	93.75± 4.82 <sup>a</sup>	96.34± 2.25 <sup>A</sup>	93.64± 1.46 <sup>a</sup>	94.65± 0.14 <sup>A</sup>	91.73± 1.50 <sup>a</sup>	91.97± 0.53 <sup>A</sup>	96.27± 1.32 <sup>a</sup>	95.63± 0.81 <sup>A</sup>	0.271	0.000	0.973
组氨酸 His	94.86± 1.02 <sup>ab</sup>	94.12± 0.72 <sup>A</sup>	74.59± 1.91 <sup>d</sup>	74.57± 2.98 <sup>C</sup>	97.39± 0.81 <sup>a</sup>	98.14± 0.91 <sup>A</sup>	95.23± 2.7 <sup>b</sup>	95.27± 1.06 <sup>A</sup>	88.73± 1.85 <sup>c</sup>	88.71± 1.65 <sup>B</sup>	98.48± 0.74 <sup>a*</sup>	94.52± 1.07 <sup>A</sup>	90.39± 2.29 <sup>bc</sup>	88.62± 1.40 <sup>B</sup>	0.406	0.000	0.837
亮氨酸 Leu	93.39± 1.50 <sup>a</sup>	94.3± 0.70 <sup>A</sup>	60.77± 3.80 <sup>c</sup>	64.46± 5.37 <sup>C</sup>	95.50± 2.48 <sup>a</sup>	97.82± 0.29 <sup>A</sup>	91.25± 3.87 <sup>ab</sup>	91.72± 2.76 <sup>AB</sup>	82.72± 3.51 <sup>b</sup>	84.64± 1.37 <sup>B</sup>	96.66± 0.67 <sup>a*</sup>	94.39± 0.42 <sup>A</sup>	91.62± 2.18 <sup>ab</sup>	90.15± 1.91 <sup>AB</sup>	0.616	0.000	0.937
异亮氨酸 Ile	92.09± 1.65 <sup>a</sup>	93.11± 0.79 <sup>AB</sup>	62.39± 3.80 <sup>c</sup>	66.87± 5.26 <sup>D</sup>	95.77± 2.15 <sup>a</sup>	98.59± 0.48 <sup>A</sup>	90.67± 3.82 <sup>ab</sup>	89.92± 2.97 <sup>BC</sup>	82.58± 3.59 <sup>b</sup>	84.30± 1.60 <sup>C</sup>	97.88± 0.56 <sup>a*</sup>	95.77± 0.41 <sup>AB</sup>	91.36± 2.64 <sup>ab</sup>	89.85± 2.05 <sup>BC</sup>	0.604	0.000	0.892
缬氨酸 Val	92.44± 1.71 <sup>ab</sup>	93.32± 0.95 <sup>ABC</sup>	62.40± 3.60 <sup>c</sup>	66.76± 5.00 <sup>D</sup>	95.09± 2.62 <sup>a</sup>	97.70± 0.48 <sup>A</sup>	90.24± 3.95 <sup>ab</sup>	89.67± 3.04 <sup>BC</sup>	84.1± 3.27 <sup>b</sup>	85.88± 1.46 <sup>C</sup>	97.50± 0.51 <sup>a*</sup>	95.47± 0.48 <sup>AB</sup>	90.85± 2.53 <sup>ab</sup>	88.81± 2.10 <sup>BC</sup>	0.643	0.000	0.886
苯丙氨酸 Phe	91.25± 1.71 <sup>ab</sup>	91.88± 0.78 <sup>AB</sup>	58.05± 3.25 <sup>c</sup>	63.09± 4.24 <sup>C</sup>	95.78± 1.98 <sup>ab</sup>	97.30± 0.37 <sup>A</sup>	90.41± 4.29 <sup>ab</sup>	89.5± 2.64 <sup>B</sup>	87.51± 1.99 <sup>b</sup>	89.16± 0.88 <sup>B</sup>	96.29± 0.50 <sup>a**</sup>	93.33± 0.32 <sup>AB</sup>	92.35± 2.19 <sup>ab</sup>	91.25± 1.10 <sup>AB</sup>	0.675	0.000	0.731
苏氨酸 Thr	92.54± 1.58 <sup>a</sup>	94.09± 1.08 <sup>ABC</sup>	59.66± 3.93 <sup>c</sup>	64.63± 6.15 <sup>D</sup>	94.25± 2.78 <sup>a</sup>	97.86± 0.56 <sup>A</sup>	89.57± 3.83 <sup>ab</sup>	89.81± 3.11 <sup>ABC</sup>	81.5± 3.85 <sup>b</sup>	84.20± 2.11 <sup>C</sup>	97.03± 0.85 <sup>a</sup>	95.36± 0.77 <sup>AB</sup>	88.72± 3.29 <sup>ab</sup>	86.78± 3.35 <sup>BC</sup>	0.469	0.000	0.899
必需氨基酸 EAA	91.74± 1.69 <sup>a</sup>	92.97± 0.83 <sup>AB</sup>	42.97± 5.06 <sup>c</sup>	49.03± 6.37 <sup>D</sup>	94.46± 2.95 <sup>a</sup>	97.3± 0.37 <sup>A</sup>	89.6± 4.95 <sup>ab</sup>	90± 3.1 <sup>ABC</sup>	78.75± 4.11 <sup>b</sup>	81.17± 1.56 <sup>C</sup>	95.5± 0.68 <sup>a*</sup>	93.19± 0.36 <sup>AB</sup>	88.24± 3.49 <sup>ab</sup>	86.18± 2.37 <sup>BC</sup>	0.516	0.000	0.891
总氨基酸 TAA	92.00± 1.56 <sup>a</sup>	93.76± 0.74 <sup>AB</sup>	51.18± 4.07 <sup>b</sup>	57.13± 4.26 <sup>C</sup>	95.15± 2.69 <sup>a*</sup>	97.4± 0.27 <sup>A</sup>	91.04± 4.27 <sup>a</sup>	92.75± 2.62 <sup>AB</sup>	86.96± 2.96 <sup>a</sup>	89.2± 0.72 <sup>B</sup>	94.2± 0.89 <sup>a</sup>	93.17± 0.45 <sup>AB</sup>	92.5± 1.97 <sup>a</sup>	90.81± 1.59 <sup>AB</sup>	0.261	0.000	0.801

注: 同列肩标不同大小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 相同大小写字母表示差异不显著( $P>0.05$ ), 同行大小写字母分别表示两个水温; 同行肩标“\*”表示前后两者差异显著( $P<0.05$ ), 同行肩标“\*\*”表示前后两者差异极显著( $P<0.01$ ).

Note: In the same row, values with different superscripts mean significant differences ( $P<0.05$ ), the same superscripts mean no significant differences ( $P>0.05$ ), the different superscripts mean two temperatures; “\*” means significant differences ( $P<0.05$ ); “\*\*” means significant differences ( $P<0.01$ ).

各必需氨基酸表现出的表观消化率与总必需氨基酸一致,最高的为豆粕,最低的为肉骨粉。从表 4 可见,水温对各必需氨基酸消化率产生的影响均不显著( $P>0.05$ ),蛋白源饲料原料对其产生的影响显著( $P<0.05$ ),水温和原料无交互作用( $P>0.05$ )。在不同水温下团头鲂对鱼粉中蛋氨酸的表观消化率存在显著差异( $P<0.05$ ),对原料中精氨酸及苏氨酸消化率的差异均不显著( $P>0.05$ ),其他各必需氨基酸的消化率都是酵母浸粉存在显著差异( $P<0.05$ ),且酵母浸粉苯丙氨酸消化率的差异极显著( $P<0.01$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 不同水温条件下团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料的表观消化率

环境对营养素利用的影响近年来得到许多学者的关注,环境变化可能会影响动物(尤其鱼类)对营养素的利用率。鱼类是变温脊椎动物<sup>[14]</sup>,水体环境温度的改变能够迅速影响鱼类生理状态<sup>[7]</sup>,进而影响鱼类对饲料的利用。早期研究认为,鱼类具有自身调节消化率平衡的能力,在一定范围内水温变化不会影响鱼类对饲料的表观消化率<sup>[4]</sup>。然而,随着水产养殖行业的快速发展,传统的经典营养(模糊营养)已经不能满足现代养殖业的需要,精准营养得到越来越多的关注。随着研究的深入,雷思佳等<sup>[15]</sup>、周志刚等<sup>[16]</sup>发现鱼体对饲料中营养成分的表观消化率随水温的上升而呈现显著上升。本试验结果显示,在 25℃ 和 30℃ 两个水温下,团头鲂对本试验中的 7 种蛋白源饲料原料各养分的表观消化率有所差异。这提示,水温的改变显著影响团头鲂的表观消化率,且这种不同表现可能由于不同水温对鱼类摄食<sup>[17]</sup>、肠道蠕动、消化酶活性<sup>[18]</sup>的影响所造成。同时,水温改变鱼类生理状态,也改变了不同原料的理化性质,同时对鱼类生长和存活也存在一定影响<sup>[19]</sup>。不同蛋白源饲料原料因其蛋白组成、物理性状等均存在差异,在鱼类消化道中停留时间不同<sup>[20]</sup>,进而造成了消化率的差异。鱼类对饲料原料表观消化率的相关研究多参照畜禽动物试验,然而不同于恒温动物,作为变温动物的鱼类在生理机制和摄

食环境都存在巨大差异,由于关于鱼类在不同水温条件下表观消化率的研究数据有限,还不能得出规律性推测,因此需要进一步研究。

#### 3.2 不同水温条件下团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料干物质和总能的表现消化率

饲料营养成分的消化率情况可通过干物质的消化率进行大体评判,饲料干物质的消化率情况反映出鱼体对饲料营养成分的总体消化率水平。关于鱼类在不同水温下干物质消化率的变化情况,雷思佳等<sup>[15]</sup>研究发现,在不同水温下台湾红罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*O. mossambicus*)干物质的表观消化率随水温的升高而上升。本试验结果显示,当水温由 25℃ 上升至 30℃ 时,团头鲂对大部分蛋白源饲料原料干物质的消化率均有所升高,与以上对台湾红罗非鱼的试验结果相类似。由此可见,水温对干物质的消化率产生了影响;但不同水温下表现出最高表观消化率的蛋白源饲料原料发生变化,这表明在 30℃ 时酵母浸粉更适合团头鲂对干物质的消化利用。姜雪姣等<sup>[11]</sup>研究了团头鲂在单一水温下干物质消化率,试验结果中表现出最高干物质消化率的为菜粕。本试验在 25℃ 时最高的为鱼粉,在 30℃ 时最高的为酵母浸粉,与以上结果不同,这可能由于试验鱼生长阶段不同对饲料消化吸收能力也存在差异;同时,水温的不同及相关消化酶活性的不同也可能是试验结果不同的原因。Reigh 等<sup>[21]</sup>的研究表明,饲料中纤维素含量和灰分含量较高会使鱼类对干物质的消化率降低。本研究结果与以上所述结果相符,肉骨粉中包含较多骨质残渣,灰分含量较高,因此,在两个水温下团头鲂幼鱼对肉骨粉的消化率均最低;5 种植物性蛋白原料中棉粕、花生粕的粗纤维与粗灰分含量与其余 3 种相比都较高,所以,在两种水温下棉粕和花生粕的消化率都低于其余三者。

总能的表现消化率是评定饲料原料表观消化率水平的必要指标,田相利等<sup>[22]</sup>的研究表明,水温对鱼类能量收支存在影响。雷思佳等<sup>[15]</sup>研究了不同水温下罗非鱼对饲料总能的消化率,结果显示,总能的消化率随水温的升高而上升。周志刚等<sup>[16]</sup>对鲤(*Cyprinus carpio*)在不同水温下对总能

消化率的试验中得出与以上相同的结论。本试验中, 当水温由 25℃ 上升至 30℃ 时, 团头鲂对大部分蛋白原料(除肉骨粉和棉粕)总能的消化率均有所升高, 与以上两者的研究结果相似。在 25℃ 时, 鱼粉总能的消化率高于酵母浸粉, 而 30℃ 时结果相反, 且表现出最高表观消化率的蛋白源饲料原料由鱼粉变为酵母浸粉, 这表明, 水温的变化对团头鲂对总能量的表观消化率产生了影响, 可能因为在 30℃ 时酵母浸粉更适合团头鲂的摄食及其肠道中的相关消化酶。在 30℃ 时, 酵母浸粉的消化率高达 102.69%, 超过 100%, 以往也在少数消化率测定试验中出现过<sup>[23]</sup>, 这可能是由于计算方法或测定时的系统误差所造成, 但由此可看出在此水温条件下此阶段的团头鲂对酵母浸粉中能量的利用效率较高。在两个水温下, 棉粕都表现出最低的消化率水平, 导致该结果的原因可能为: 棉粕中含有许多抗营养因子, 不仅影响到饲料适口性, 而且使团头鲂对饲料的能量和营养物质的消化利用率降低<sup>[24]</sup>; 其含有较多的纤维素, 鱼类体内相应纤维素酶缺乏, 致使肠道内饲料的移动速度较快降低了总能的表观消化率<sup>[25]</sup>。

### 3.3 不同水温条件下团头鲂对 7 种蛋白源饲料原料粗蛋白和氨基酸的表观消化率

粗蛋白作为水产饲料的首要营养组成成分, 其来源和质量对水产动物的生长至关重要。粗蛋白的表观消化率是饲料配方的设计和试验蛋白源饲料原料表观消化率评价的重要参考指标之一。关于鱼类在不同水温下粗蛋白消化率的变化情况, 周志刚等<sup>[16]</sup>对鲤的研究结果表明粗蛋白的消化率随水温的升高而上升; 而雷思佳等<sup>[15]</sup>对台湾红罗非鱼的试验发现水温对蛋白质消化率的影响不显著。本试验结果显示, 在 30℃ 时, 粗蛋白消化率最高的是植物饲料原料酵母浸粉, 为 94.88%; 在 25℃ 时, 豆粕表现出最高的消化率, 酵母浸粉为 93.03%。这说明水温对团头鲂对蛋白源饲料原料蛋白质的消化率也存在影响, 导致结果不同的原因可能是试验鱼种类及试验方法等的不同, 鱼的品种不同, 蛋白消化酶活性也有所差异。Zhou 等<sup>[26]</sup>通过研究发现团头鲂对动物性饲料蛋白原料蛋白质的表观消化率(76.9%)与非动物性饲料蛋白原

料(85.9%)相比显著较低。在本试验中, 在两个水温条件下, 消化率最高的都是植物饲料原料, 最低的都为动物饲料蛋白原料, 此结果与上述所得试验结果相符。在 25℃ 时, 本试验测得团头鲂对植物饲料蛋白原料豆粕的表观消化率最高, 为 96.53%, 这与吴建开等<sup>[10]</sup>所测(35.5±6.8) g 团头鲂对豆粕的消化率类似, 明建华等<sup>[27]</sup>也曾报道青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)对豆粕的粗蛋白消化率为 95.84%, 与本研究结果类似; 最低的表观消化率为动物饲料蛋白原料肉骨粉, 仅为 64.23%, 这与姜雪姣等<sup>[11]</sup>所得结果(78.66%)有所差异, 与 Zhou 等<sup>[26]</sup>所测结果(牛肉骨粉 77.7%, 猪肉骨粉 46.4%, 禽肉骨粉 61.3%)也不尽相同, 究其原因可能是本试验与以上试验的水温不同, 以致相关消化酶的活性不同; 再者所用试验蛋白源饲料原料肉骨粉的来源、加工生产工艺及试验方法等的不同。

蛋白质由氨基酸构成, 对氨基酸消化率的研究就是将蛋白质拆分进行比较分析。对于团头鲂对总氨基酸的表观消化率, 在 25℃ 和 30℃ 两个水温条件下表现出一致的趋势, 均是豆粕表现出最高的消化率, 肉骨粉的消化率最低, 这一结果与粗蛋白在两个水温下的消化率有所不同, 原因可能是蛋白质中有些氨基酸(如色氨酸等)未被检出。在 25℃ 时, 团头鲂对必需氨基酸的表观消化率最高的为豆粕, 而肉骨粉最低, 在 30℃ 时, 最高的为酵母浸粉, 肉骨粉也最低, 此结果与粗蛋白的在两个水温下的最高与最低消化率一致, 由此可得, 水温对试验饲料中必需氨基酸表观消化率产生的影响与对粗蛋白消化率产生的影响相同。在不同水温下, 团头鲂对原料中各必需氨基酸的消化率基本都是酵母浸粉存在显著差异, 只有蛋氨酸的消化率为鱼粉组差异显著, 可能因为酵母浸粉与鱼粉相比蛋氨酸含量不足, 低于团头鲂的实际营养需求, 须适量添加蛋氨酸这一必需氨基酸, 使氨基酸含量平衡, 满足鱼类营养需求。肉骨粉在两个水温下各氨基酸的表观消化率均最低, 这可能由于其中的骨质不能被消化利用, 骨中所含氨基酸未被吸收; 其次是肉骨粉中氨基酸含量不平衡, 导致较低的消化率水平。总览氨基酸消化率可见, 不同原料中相同氨基酸及相同原

料不同氨基酸的消化率均存在较大差异,这与叶元土等<sup>[28]</sup>所做草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的相关研究结论相同。

综上所述,在两个不同水温下,团头鲂幼鱼对 7 种试验蛋白源饲料原料各营养成分及氨基酸的表观消化率均存在差异,即水温对蛋白源饲料原料中总能、干物质、粗蛋白及氨基酸的表观消化率均存在一定影响,且酵母浸粉在两个水温下各养分消化率差异尤其显著,故水温对酵母浸粉的消化率影响显著。造成消化率差异较大的原因可能是水温不同相关消化酶的活性差距较大。在 25℃ 时,团头鲂对鱼粉和豆粕各营养成分的表观消化率较好,可作为团头鲂的优质蛋白原料;在 30℃ 时,团头鲂对酵母浸粉的各消化率均表现出最高水平,但与鱼粉相比其氨基酸平衡性较差,在实际生产中可适量添加蛋氨酸等含硫氨基酸,使团头鲂对其具有更好的利用效果;在两个水温下,肉骨粉都表现出最低的表观消化率,在生产中需搭配其余饲料原料适量使用。

#### 参考文献:

- [1] Han Q W, Liang M Q, Yao H B, et al. Effects of seven feed ingredients on growth performance, and liver and intestine histology of *Lateolabrax japonicus*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2011, 32(1): 32-39. [韩庆伟, 梁萌青, 姚宏波, 等. 鲈鱼对 7 种饲料原料的表观消化率及其对肝脏、肠道组织结构的影响[J]. *渔业科学进展*, 2011, 32(1): 32-39.]
- [2] Halyer J E. *Fish Nutrition*[M]. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1989: 332-421.
- [3] De Silva S S, Anderson T A. *Fish Nutrition in Aquaculture*[M]. London: Chapman & Hall, 1995: 103-142.
- [4] Usmani N, Jafri A K. Effect of fish size and temperature on the utilization of different protein sources in two catfish species[J]. *Aquaculture Research*, 2002, 33: 959-967.
- [5] Tian H J, Zhuang P, Zhang L Z, et al. Effects of water temperature on activities of digestive enzymes of juvenile *Acipenser schrenckii*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14(1): 126-131. [田宏杰, 庄平, 章龙珍, 等. 水温对施氏鲟幼鱼消化酶活性的影响[J]. *中国水产科学*, 2007, 14(1): 126-131.]
- [6] Hong L, Zhang X M. Effects of environmental stress on physiological function of fish[J]. *Advances in Marine Science*, 2004, 22(1): 114-121. [洪磊, 张秀梅. 环境胁迫对鱼类生理机能的影响[J]. *海洋科学进展*, 2004, 22(1): 114-121.]
- [7] Yang H P, Tong S Y, Wang Z C. An review: Digestive enzymes in fishery animals[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 1998, 13(3): 66-73. [杨蕙萍, 童圣英, 王子臣. 国内外关于水产动物消化酶研究的概况[J]. *大连水产学院学报*, 1998, 13(3): 66-73.]
- [8] Zhang B, Sun Y, Tang Q S. Gastric evacuation rate of fish and its influence factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(4): 665-670. [张波, 孙耀, 唐启升. 鱼类的胃排空率及其影响因素[J]. *生态学报*, 2001, 21(4): 665-670.]
- [9] Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture. *China Fishery Statistical Yearbook*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015: 27-31. [农业部渔业渔政管理局. *中国渔业统计年鉴*[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 27-31.]
- [10] Wu J K, Yong W Y, You W Z, et al. Apparent digestibility and digestible energy of 12 feedstuffs for bluntnose black bream (*Megalobrama amblycephala* Yih)[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(3): 55-62. [吴建开, 雍文岳, 游文章, 等. 团头鲂(*Megalobrama amblycephala* Yih)对 12 种饲料原料消化率和可消化能的测定[J]. *中国水产科学*, 1995, 2(3): 55-62.]
- [11] Jiang X J, Liang D N, Liu W B, et al. Apparent digestibility of proteins, amino acids and phosphorus of seven feed ingredients for bluntnose black bream[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(1): 119-126. [姜雪姣, 梁丹妮, 刘文斌, 等. 团头鲂对 7 种饲料的蛋白质、氨基酸及磷的表观消化率[J]. *中国水产科学*, 2011, 18(1): 119-126.]
- [12] Jiang X J, Liang D N, Liu W B, et al. Apparent digestibility of eight unconventional feed ingredients for *Megalobrama amblycephala*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(6): 932-939. [姜雪姣, 梁丹妮, 刘文斌, 等. 团头鲂对 8 种非常规饲料原料中营养物质的表观消化率[J]. *水产学报*, 2011, 35(6): 932-939.]
- [13] Zhang C N, Wang A M, Liu W B, et al. Effects of dietary lipid levels on fat deposition, lipid metabolize enzyme and antioxidant activities of *Chelon haematocheilus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(1): 108-115. [张春暖, 王爱民, 刘文斌, 等. 饲料脂肪水平对梭鱼脂肪沉积、脂肪代谢酶及抗氧化酶活性的影响[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(1): 108-115.]
- [14] Liu W, Li Z F. Effects of temperatures on the physiological and biochemical index of silver carp and bighead carp[J]. *Journal of Northeast Normal University*, 1996(2): 108-112. [刘伟, 李佐锋. 温度对链鲮鱼生理生化指标的影响[J]. *东北师大学报: 自然科学版*, 1996(2): 108-112.]
- [15] Lei S J, Li D S. Effect of temperature, salinity, food type and

- body weight on the digestibility of Tai Wan red tilapia (*Oreochromis niloticus*×*O. mossambicus*)[J]. Marine Science, 2000, 24(9): 11996(2): 1-3. [雷思佳, 李德尚. 食物类型、温度、盐度和体重对台湾红罗非鱼消化率的影响[J]. 海洋科学, 2000, 24(9): 1-3.]
- [16] Zhou Z G, Ren Z L. Effects of water temperature on the apparent digestibility coefficient of crude protein and energy in *Cyprinus carpio*[J]. China Feed, 2005(7): 17-19. [周志刚, 任泽林. 水温对鲤鱼粗蛋白质、能量表观消化率的影响[J]. 中国饲料, 2005(7): 17-19.]
- [17] Elliott J M. The effects of temperature and ration size on the growth and energetics of salmonids in captivity[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1982, 73(1)B: 81-91.
- [18] Bai H W, Zhang Y, Li X, et al. Effects of water temperature on feeding, growth and activities of digestive enzymes of juvenile *Acipenser schrenckii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(5): 799-805. [白海文, 张颖, 李雪, 等. 温度对施氏鲟幼鱼摄食、生长和肠道消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 19(5): 799-805.]
- [19] Qiang J, Xu P, He J, et al. Combined effects of temperature and salinity on growth and survival of (GIFT) Nile tilapia larvae (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(6): 1299-1307. [强俊, 徐跑, 何杰, 等. 温度与盐度对吉富品系尼罗罗非鱼仔鱼生长与存活的联合影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(6): 1299-1307.]
- [20] Du J, Xu G F, Han Y, et al. Research process in the histology of the digestive tract of fish[J]. Chinese Journal Fisheries, 2009, 22(4): 56-64. [杜佳, 徐革锋, 韩英, 等. 鱼类消化道组织学研究进展[J]. 水产学杂志, 2009, 22(4): 56-64.]
- [21] Reigh R C, Braden S L, Craig R J. Apparent digestibility coefficients for common feedstuffs in formulated diets for red swamp crayfish, *Procambarus clarkia*[J]. Aquaculture, 1990, 84(3): 321-331.
- [22] Tian X L, Wang G L, Dong S L, et al. Effects of salinity and temperature on growth, osmophysiology and energy budget of tongue sole (*Cynoglossus semilaevis* Günther)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(4): 771-782. [田相利, 王国栋, 董双林, 房景辉. 盐度和温度对半滑舌鳎生长、渗透生理及能量收支的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(4): 771-782.]
- [23] Mcgoogan B B, Reigh R C. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets[J]. Aquaculture, 1996, 141(3-4): 233-244.
- [24] 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.]
- [25] National Research Council. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp[M]. Pittsburgh: National Academies Press, 2011: 311.
- [26] Zhou Z, Ren Z, Zeng H, et al. Apparent digestibility of various feedstuffs for bluntnose black bream (*Megalobrama amblycephala* Yih)[J]. Aquaculture Nutrition, 2008, 14: 153-165.
- [27] Ming J H, Ye J Y, Zhang Y X, et al. Nutrient apparent digestibility of eight feed ingredients for black carp (*Mylopharyngodon piceus* Richardson)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(10): 2050-2058. [明建华, 叶金云, 张易祥, 等. 青鱼对 8 种饲料原料中营养物质的表观消化率[J]. 动物营养学报, 2012, 24(10): 2050-2058.]
- [28] Ye Y T, Lin S M, Luo L. Apparent digestibility coefficient of 27 feed ingredients for grass carp[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(1): 60-64. [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.]

## Comparative study of the apparent digestibility of seven feed protein ingredients at different temperatures in *Megalobrama amblycephala*

XUE Yunfei, JIANG Guangzhen, CAI Wancun, QIAN Yu, LIU Wenbin

Key Laboratory of Aquatic Nutrition of Jiangsu Province, College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China.

**Abstract:** Blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) is an herbivorous fish belonging to the *Cyprinidae* family. It has been widely cultured in China due to its excellent value. Research on the feed ingredients should be conducted to optimize feed formula under various circumstances. This study investigated the apparent digestibility of dry matter (DM), crude protein (CP), gross energy (GE), total amino acid (TAA), and essential amino acid (EAA) in fish meal (FM), meat and bone meal (MBM), soybean meal (SBM), rapeseed meal (RSM), cottonseed meal (CSM), yeast extract fermentation (YEF), and peanut meal (PNM) at different temperatures (25°C and 30°C) indicated by 0.05% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for blunt snout bream (34.38±2.16 g). The diets consisted of a 70% basal diet and 30% test ingredients. Fish were fed twice daily in recirculation water system aquaria for 4 weeks. During the feeding trial, excrement was collected 30 minutes after feeding, then dried and stored for analysis. At 30°C, the apparent digestibility of DM, CP, GE, TAA, and EAA was approximately 24.88%–90.63%, 52.32%–94.88%, 47.77%–102.68%, 51.18%–95.15%, 42.97%–95.5%, and 50.49%–94.9%, respectively. YEF had the highest apparent digestibility of DM, CP, GE, and EAA. SBM had the highest apparent digestibility of TAA. MBM showed the lowest apparent digestibility of DM, CP, TAA, and EAA. CSM had the lowest apparent digestibility of GE. At 25°C, the apparent digestibility of DM, CP, GE, TAA, and EAA was approximately 33.65%–79.79%, 64.23%–96.53%, 58.17%–89.79%, 57.13%–97.4%, 49.03%–97.3%, and 56.85%–97.09%. SBM had the highest apparent digestibility of CP, TAA, and EAA, FM had the highest apparent digestibility of all other nutritional compositions. The same result was found at 30°C. In addition, the apparent digestibility of DM, CP, TAA, EAA, and MBM was the lowest, while CSM had the lowest apparent digestibility of GE. Therefore, the apparent digestibility of the seven feed protein ingredients were all different at different temperatures in blunt snout bream. In other words, temperature affected the apparent digestibility of feed protein ingredients. In conclusion, the apparent digestibility of animal protein feedstuff was better than nonanimal protein feedstuff for blunt snout bream, perhaps because this is an herbivorous fish that can use plant proteins more efficiently. YEF showed the highest apparent digestibility of all ingredients at 30°C; therefore, it can be used as a high quality fish feed ingredient. However, the amino acid balance of YEF was worse than FM, and should have methionine (Met) added to the feed, to enable the fish to use it better. Conversely, MBM had the lowest apparent digestibility, which may have been due to the numerous bones, which cannot be digested by fish, with the result that the nutriment of bone could not be used by blunt snout bream. Therefore, it should be used rarely in fish feed. At 25°C, the highest apparent digestibilities of all ingredients were in the FM and SBM, which can be used as high quality alternative protein sources for blunt snout bream. At 25°C, MBM was not a good feed ingredient. CSM showed the lowest apparent digestibility of GE under both temperatures, which may have been because CSM had a high level of cellulose, and the fish cannot process cellulose, so that this feed moved faster through the intestinal canal. The apparent digestibility of amino acids varied among different test ingredients, the same was found for single test ingredients. Overall, the apparent digestibility of DM, CP, GE, TAA, and EAA in FM, MBM, SBM, RSM, CSM, YEF, and PNM were different at different temperatures.

**Key words:** *Megalobrama amblycephala*; protein ingredient; temperature; apparent digestibility

**Corresponding author:** LIU Wenbin. E-mail: wbliu@njau.edu.cn