

文章编号: 1674-5566(2013)01-0105-07

## 瘤背石磺对9种常规饲料原料中营养物质的表观消化率

沈永龙<sup>1,2</sup>, 黄金田<sup>2</sup>, 戈贤平<sup>1</sup>, 王爱民<sup>2</sup>, 吕富<sup>2</sup>, 刘成<sup>2</sup>

(1. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081; 2. 盐城工学院 江苏省滩涂底栖生物重点实验室, 江苏 盐城 224051)

**摘要:**以0.5%的三氧化二铬(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)为外源指示剂,由70%基础饲料(螺旋藻)和30%试验原料组成试验日粮,研究瘤背石磺(*Onchidium struma*)对鱼粉、肉骨粉、豆粕、玉米蛋白粉、棉籽蛋白粉、菜粕、棉籽粕、小麦粉和玉米粉9种饲料原料的干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、氨基酸、钙及总磷的表观消化率。试验选用初均重(16.82±2.14)g的瘤背石磺2400只,随机分成10组,每组3个重复,每个重复40只,且以饲喂螺旋藻粉组为对照组。结果显示,9种饲料原料的干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、总氨基酸、必需氨基酸、钙和总磷的表观消化率的范围分别为33.24%~55.29%、27.30%~79.35%、36.91%~69.81%、34.89%~65.04%、25.35%~75.78%、21.54%~72.57%、44.98%~74.64%和10.42%~32.15%。在7种蛋白饲料中,以玉米蛋白粉的各项营养物质的表观消化率较高,棉籽蛋白粉和棉粕次之;在两种能量饲料中,以玉米粉的各项营养成分的表观消化率较高,但低于玉米蛋白粉。由此可见,玉米蛋白粉可作为瘤背石磺优质饲料原料来替代或部分替代螺旋藻;同时,玉米粉和棉籽蛋白粉也可以作为重要的饲料原料合理搭配、适量使用。

**研究亮点:**瘤背石磺是一种由海洋向陆地过渡的腹足纲经济贝类,主要分布于沿海滩涂高潮区,具有重要的研究价值和经济价值。目前,国内外尚无瘤背石磺对不同饲料原料表观消化率的报道,本文首次研究了瘤背石磺对9种常规饲料原料各营养物质的表观消化率,比较全面地反映了瘤背石磺对不同饲料原料营养物质的消化水平,基本解决了瘤背石磺人工养殖中饵料选择的难题,为制定瘤背石磺的饲养标准,配制科学合理、优质高效的环保饲料提供了基础数据。

**关键词:**瘤背石磺;常规饲料原料;营养物质;表观消化率

**中图分类号:**S 963.1

**文献标志码:**A

瘤背石磺(*Onchidium struma*)是一种进化的腹足纲软体动物,分布于滩涂潮间带高潮线附近,是介于海洋和陆地过渡带的珍稀贝类。近年来,由于大量采捕及滩涂的过度开发,瘤背石磺的资源量急剧下降,因而开展瘤背石磺的增养殖研究显得日趋迫切<sup>[1-2]</sup>。瘤背石磺属于舐食性动物,依靠其口中翻出的齿舌摄取食物,在自然条件下食物组成主要为底栖硅藻、有机碎屑、泥沙及腐殖质等<sup>[3]</sup>,但关于如何合理配制饲料才更有利于养殖这一问题目前尚无定论。笔者经过长期探索,发现瘤背石磺对螺旋藻有很强的选择

性,同时螺旋藻不仅营养均衡,且消化吸收率很高,因此,本试验主要用其作为瘤背石磺的基础饲料。

截至目前,国内外对瘤背石磺的报道主要集中于生理形态<sup>[4]</sup>、生态习性<sup>[5]</sup>、生殖繁育<sup>[6]</sup>以及神经生物学<sup>[7]</sup>等方面,对消化生理方面缺乏系统性的研究,仅见倪小英等<sup>[8]</sup>报道的温度和pH对瘤背石磺消化酶活性的影响,关于消化率方面仅见沈和定等<sup>[9]</sup>初步研究了瘤背石磺对几种饲料的消化率,但对饲料原料中各营养物质的表观消化率方面的研究尚属空白。本试验选取几种较

收稿日期: 2012-08-05 修回日期: 2012-10-22

基金项目: 国家级星火计划项目(2011GA690278);江苏省科技厅2010年苏北科技发展规划科技富民强县专项资金(BN2010050);江苏省水产三新工程项目(Y2012-22)

作者简介: 沈永龙(1989—),男,硕士研究生,研究方向为水产动物饲料和营养生理。E-mail:891002syl@163.com

通信作者: 黄金田,E-mail:hjt@ycit.cn

为常用的水产饲料原料,测定了瘤背石磺对其中各营养物质的表观消化率,以便为制定瘤背石磺的饲养标准,配制科学合理、优质高效的环保饲料提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物

试验动物为来自盐城射阳滩涂地区的同一批瘤背石磺,选择规格均一的健康个体,初均重为(16.82 ± 2.14) g,经过 150 mg/L KMnO<sub>4</sub> 水溶液消毒 5 min 后于未铺设底泥的养殖箱中暂养驯化 2 d 备用。

### 1.2 试验饲料

试验所用 9 种饲料原料分别为鱼粉(fish meal, FM)、肉骨粉(meat and bone meal, MBM)、豆粕(soybean meal, SBM)、菜粕(rapeseed meal, RSM)、棉籽粕(cottonseed meal, CSM)、玉米蛋白粉(corn gluten meal, CGM)、棉籽蛋白粉(cottonseed gluten meal, CSGM)、小麦粉(wheat meal, WM)和玉米粉(corn meal, CM)。试验日粮是由 70% 的基础饲料-螺旋藻(表 1)和 30% 的试验原料组成(表 2),饲料原料粉碎过筛(100 目),同时添加 0.5% 的 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 作为外源指示剂,充分混匀后的粉料即为试验饲料,置于 4 °C 冰箱中保存备用。

### 1.3 试验设计与饲养管理

驯化结束后,选择体质健壮、活力旺盛的瘤背石磺个体 2 400 只,随机分配到 30 个特制防逃养殖箱(70 cm × 50 cm × 40 cm)中,每个养殖箱 80 只,然后将 30 个养殖箱随机分为 10 组,每组 3 个重复。养殖箱中不铺设底泥,但搭置若干清洁的瓦片以模拟瘤背石磺栖息的洞穴。室内气温控制为 24 ~ 26 °C、箱内相对湿度控制在 85% 以上。进入正式试验后,随机选取一组作为对照组,继续投喂全螺旋藻粉,另外 9 组为试验组,分别投喂含有 0.5% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的相应试验饲料。每天投喂两次(7:00 和 17:00),投饲率为 2%。投喂 1 h 后清除残饵,5 h 后(排粪高峰期)收集粪便,并在 65 °C 烘箱中烘干后保存于 -20 °C 冰箱中备用。由于瘤背石磺排泄尿液和粪便的量较大<sup>[10-11]</sup>,为维持瘤背石磺良好的养殖环境,在投喂前需要清洁养殖箱、食台及瓦片,并喷洒盐度 15 的人工海水调节箱内湿度。

表 1 基础饲料营养组成(干物质基础)

Tab. 1 Nutrient composition of basal diet (DM basis) %

项目	主要营养成分
干物质(DM)	91.72
粗蛋白(CP)	57.64
粗脂肪(EE)	2.73
粗纤维(CF)	0.48
粗灰分(Ash)	7.53
钙(Ca)	0.20
总磷(P)	0.79
三氧化二铬 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5
氨基酸组成	
天冬氨酸(Asp)	5.33
苏氨酸(Thr)	2.88
丝氨酸(Ser)	2.80
谷氨酸(Glu)	8.67
甘氨酸(Gly)	2.71
丙氨酸(Ala)	4.59
半胱氨酸(Cys)	0.13
缬氨酸(Val)	3.44
甲硫氨酸(Met)	1.05
异亮氨酸(Ile)	3.04
亮氨酸(Leu)	4.99
酪氨酸(Tyr)	2.49
苯丙氨酸(Phe)	2.85
赖氨酸(Lys)	2.96
组氨酸(His)	1.15
精氨酸(Arg)	4.07
脯氨酸(Pro)	1.55

注:色氨酸由于在水解过程中被破坏,因此未被检出,下同。

### 1.4 测定指标及方法

本试验中,干物质和粗灰分的含量测定采用 AOAC<sup>[12]</sup> 的方法;粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、钙和磷的含量测定分别采用凯氏定氮法、索氏抽提法、酸碱消煮法、钼黄分光光度比色法和 EDTA 滴定法;Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量的测定采用湿式灰化定量法;氨基酸的含量采用日立 L-8900 氨基酸分析仪测定。

消化率的计算公式:

$$A_D(\%) = (1 - S_{Cr}/F_{Cr}) \times 100 \quad (1)$$

$$A_{Di}(\%) = [1 - (F_i/S_i) \times (S_{Cr}/F_{Cr})] \times 100 \quad (2)$$

待测原料中干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、钙、总磷及氨基酸的表观消化率计算公式:

$$D_i(\%) = (D_s - H \times D_T) / (1 - h) \quad (3)$$

$$h = (O_T \times P_T) / (O_s \times P_s) \quad (4)$$

式中: A<sub>D</sub> 为饲料干物质的表观消化率; A<sub>Di</sub> 为饲料中各营养成分的表观消化率; S<sub>Cr</sub> 为饲料中 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量(%); F<sub>Cr</sub> 为粪便中 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量(%); S<sub>i</sub> 为饲料中某营养成分含量(%); F<sub>i</sub> 为粪便中营养成分

含量(%); $D_i$ 为待测饲料原料中某营养成分表观消化率(%); $D_s$ 为试验饲料中某营养成分的表观消化率(%); $D_T$ 为基础饲料中某营养成分的表观消化率(%); $O_T$ 为摄取的试验饲料中基础

饲料的重量(g); $P_T$ 为基础饲料中某营养成分的含量(%); $O_s$ 为摄取的试验饲料的重量(g); $P_s$ 为试验饲料中某营养成分的含量(%)。

表2 试验饲料营养成分及氨基酸含量(干物质基础)

Tab. 2 Nutrient composition and amino acids of test ingredients (DM basis)

%

营养成分	组别								
	鱼粉 FM	肉骨粉 MBM	豆粕 SBM	玉米蛋白粉 CGM	棉籽蛋白粉 CSGM	菜粕 RSM	棉籽粕 CSM	小麦粉 WM	玉米粉 CM
干物质(DM)	91.56	91.88	90.92	91.96	91.25	91.72	91.32	91.55	91.39
粗蛋白(CP)	58.90	54.40	53.85	59.25	53.96	50.36	54.31	44.48	43.01
粗脂肪(EE)	4.97	5.41	2.93	4.13	3.68	3.63	3.08	3.19	3.66
粗纤维(CF)	0.38	0.46	1.66	0.83	4.33	2.97	3.66	0.63	0.73
粗灰分(Ash)	10.48	16.00	7.46	5.85	7.83	7.98	7.55	5.88	5.98
钙(Ca)	2.06	2.85	0.19	0.12	0.15	0.26	0.15	0.30	0.14
总磷(P)	1.43	1.36	0.71	0.62	0.89	0.76	0.81	0.64	0.74
<b>氨基酸组成</b>									
天冬氨酸(Asp)	5.44	4.70	5.51	4.70	5.12	4.51	4.96	3.96	4.02
苏氨酸(Thr)	2.80	2.26	2.64	2.58	2.48	2.44	2.35	2.11	2.15
丝氨酸(Ser)	2.71	2.32	2.75	2.97	2.60	2.42	2.48	2.15	2.16
谷氨酸(Glu)	8.56	6.95	8.73	10.64	8.90	7.75	8.54	7.30	6.72
甘氨酸(Gly)	3.03	4.31	2.50	2.25	2.45	2.39	2.41	2.00	2.01
丙氨酸(Ala)	4.33	4.14	3.76	4.64	3.58	3.41	3.39	3.60	3.28
半胱氨酸(Cys)	0.24	0.28	0.28	0.40	0.33	0.30	0.33	0.25	0.17
缬氨酸(Val)	3.09	2.81	2.90	2.94	2.83	2.72	2.75	2.76	2.42
甲硫氨酸(Met)	1.18	1.05	0.89	1.15	0.87	0.82	0.86	0.77	0.76
异亮氨酸(Ile)	2.72	2.45	2.62	2.56	2.41	2.36	2.36	2.41	2.12
亮氨酸(Leu)	4.78	4.12	4.50	6.60	4.15	3.99	3.97	3.56	3.76
酪氨酸(Tyr)	2.34	1.97	2.28	2.66	2.07	1.90	1.88	1.79	1.86
苯丙氨酸(Phe)	2.77	2.43	2.76	3.17	2.76	2.40	2.64	2.16	2.17
赖氨酸(Lys)	3.39	2.82	2.95	2.29	2.70	2.73	2.68	2.22	2.24
组氨酸(His)	1.47	1.27	1.31	1.33	1.35	1.39	1.35	1.05	1.03
精氨酸(Arg)	3.81	4.17	3.80	3.10	4.37	3.56	4.24	2.84	2.87
脯氨酸(Pro)	1.62	2.23	1.56	2.82	1.33	1.50	1.26	1.32	1.12

## 1.5 数据统计与分析

原始数据经 Excel 2007 初步整理后,采用 SPSS 18.0 中的单因素方差分析(One-Way ANOVA)对数据进行统计分析并进行 Duncan 氏多重比较。统计结果表示为平均值  $\pm$  标准误(Mean  $\pm$  SE),显著性水平设置为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 瘤背石磺对试验原料中常规营养成分的表观消化率

由表 3 可见,瘤背石磺对不同试验中各原料营养成分的表观消化率均差异显著,各试验原料中干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、钙和磷的表观消化率范围分别为 33.24% ~ 55.29%、

27.30% ~ 79.35%、36.91% ~ 69.81%、34.89% ~ 65.04%、44.98% ~ 74.64% 和 10.42% ~ 32.15%,且除了钙和磷外,瘤背石磺对植物性原料的各营养物质的表观消化率均显著高于动物性原料( $P > 0.05$ ),其主要原因可能与瘤背石磺的食性有关。

干物质的表观消化率以玉米蛋白粉最高,其次是菜粕、玉米粉和螺旋藻粉,显著高于除玉米蛋白粉外的其他饲料原料( $P < 0.05$ );鱼粉的蛋白表观消化率最低,且与其他饲料原料差异显著( $P < 0.05$ )。其余各组由高到低依次为棉籽蛋白粉、小麦粉、棉粕、肉骨粉和豆粕。

瘤背石磺对螺旋藻粉和玉米蛋白粉的蛋白质表观消化率最高。其次是棉籽蛋白粉、玉米粉

和棉籽粕,且三者之间差异不显著( $P > 0.05$ );菜粕与棉粕的表现消化率差异也不显著( $P > 0.05$ ),但显著低于棉籽蛋白粉和玉米粉( $P < 0.05$ )。其余各组由高到低依次为肉骨粉、鱼粉、豆粕和小麦粉,其中鱼粉和豆粕之间差异不显著( $P > 0.05$ )。

菜粕、螺旋藻粉和玉米蛋白粉的粗脂肪表现消化率显著高于其他各组试验原料( $P < 0.05$ ),但三者之间的差异不显著( $P > 0.05$ );其次是玉米粉和棉籽蛋白粉;鱼粉和肉骨粉的粗脂肪表现消化率均显著低于除豆粕之外的其他植物性原料( $P < 0.05$ ),可能与其脂肪含量高有关。

豆粕的粗纤维表现消化率最高,显著高于螺旋藻粉和玉米蛋白粉( $P > 0.05$ ),棉粕、棉籽蛋白粉和玉米粉之间的粗纤维表现消化率差异不显著( $P > 0.05$ ),但均显著高于小麦粉,同时显著低于菜粕( $P < 0.05$ )。

其中鱼粉和肉骨粉中的钙和磷的表现消化率均差异不显著( $P > 0.05$ ),但均显著高于其他各组试验原料( $P < 0.05$ )。除此之外,玉米蛋白粉和螺旋藻粉的钙和磷的表现消化率均较高,小

麦粉、豆粕的最低,显著低于其他各组( $P < 0.05$ ),说明瘤背石磺更容易吸收动物性原料中的钙和磷。

## 2.2 瘤背石磺对试验原料中氨基酸的表现消化率

由表 3 可知,瘤背石磺对不同饲料原料和对同一种饲料原料中的不同氨基酸的表现消化率均差异显著( $P < 0.05$ ),且与蛋白质的消化率具有一致性。除基础饲料螺旋藻外,玉米蛋白粉的 TAA 和 EAA 的表现消化率均显著高于其他 8 种饲料原料( $P < 0.05$ ),且玉米蛋白粉的 TAA 表现消化率与螺旋藻粉差异不显著( $P > 0.05$ ),螺旋藻粉和玉米蛋白粉的 EAA 的表现消化率相对较高,均高于 70%,但两者之间差异显著( $P < 0.05$ )。其余原料必需氨基酸表现消化率从高到低依次为菜粕、小麦粉、玉米粉、棉粕、棉籽蛋白粉、肉骨粉、鱼粉和豆粕。其中,菜粕、小麦粉和玉米粉三者之间差异不显著( $P > 0.05$ ),肉骨粉和鱼粉之间差异也不显著( $P > 0.05$ ),而其余各组之间均差异显著( $P < 0.05$ )。

表 3 瘤背石磺对试验原料中干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、钙、总磷和氨基酸的表现消化率

Tab.3 The apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude fat, crude fiber, calcium, phosphorus and amino acids of feed ingredients for *Onchidium struma* (n=3)

营养物质	组别									
	鱼粉 FM	肉骨粉 MBM	豆粕 SBM	玉米蛋白粉 CGM	棉籽蛋白粉 CSGM	菜粕 RSM	棉籽粕 CSM	小麦粉 WM	玉米粉 CM	螺旋藻粉 对照组
干物质(DM)	33.24 ± 0.20 <sup>e</sup>	43.33 ± 0.34 <sup>e</sup>	39.74 ± 0.06 <sup>f</sup>	55.29 ± 0.31 <sup>a</sup>	48.70 ± 0.13 <sup>c</sup>	53.08 ± 0.33 <sup>b</sup>	46.47 ± 0.10 <sup>d</sup>	49.23 ± 0.42 <sup>c</sup>	52.36 ± 0.43 <sup>b</sup>	53.24 ± 0.28 <sup>b</sup>
粗蛋白(CP)	33.79 ± 0.47 <sup>e</sup>	39.27 ± 0.37 <sup>d</sup>	32.27 ± 0.92 <sup>e</sup>	78.03 ± 0.60 <sup>a</sup>	50.00 ± 1.10 <sup>b</sup>	45.77 ± 2.89 <sup>e</sup>	47.59 ± 0.40 <sup>bc</sup>	27.30 ± 0.65 <sup>f</sup>	49.82 ± 1.03 <sup>b</sup>	79.35 ± 0.07 <sup>a</sup>
粗脂肪(EE)	36.91 ± 0.44 <sup>f</sup>	46.68 ± 0.56 <sup>d</sup>	38.91 ± 0.47 <sup>e</sup>	68.22 ± 0.41 <sup>a</sup>	53.15 ± 0.44 <sup>b</sup>	69.81 ± 0.27 <sup>a</sup>	50.80 ± 0.51 <sup>c</sup>	47.75 ± 1.14 <sup>d</sup>	54.50 ± 0.25 <sup>b</sup>	68.23 ± 0.22 <sup>a</sup>
粗纤维(CF)	-	-	65.04 ± 1.82 <sup>a</sup>	59.78 ± 1.21 <sup>b</sup>	49.36 ± 1.12 <sup>d</sup>	53.21 ± 0.55 <sup>e</sup>	46.11 ± 0.94 <sup>d</sup>	34.89 ± 0.43 <sup>e</sup>	48.92 ± 1.59 <sup>d</sup>	57.78 ± 0.28 <sup>b</sup>
钙(Ca)	74.64 ± 0.06 <sup>a</sup>	73.54 ± 0.31 <sup>a</sup>	44.98 ± 1.02 <sup>f</sup>	60.30 ± 0.25 <sup>c</sup>	51.99 ± 1.06 <sup>d</sup>	58.26 ± 0.23 <sup>c</sup>	67.02 ± 0.70 <sup>b</sup>	49.60 ± 0.43 <sup>e</sup>	59.29 ± 1.17 <sup>c</sup>	59.95 ± 0.66 <sup>c</sup>
总磷(P)	30.22 ± 1.83 <sup>a</sup>	31.96 ± 1.25 <sup>a</sup>	31.13 ± 1.57 <sup>a</sup>	31.96 ± 1.25 <sup>a</sup>	24.90 ± 0.87 <sup>b</sup>	21.71 ± 1.08 <sup>e</sup>	21.65 ± 1.58 <sup>e</sup>	17.02 ± 0.78 <sup>e</sup>	10.41 ± 0.78 <sup>e</sup>	23.42 ± 0.70 <sup>bc</sup>
氨基酸										
天冬氨酸(Asp)	21.72 ± 3.56 <sup>e</sup>	44.20 ± 5.64 <sup>bc</sup>	33.87 ± 0.60 <sup>d</sup>	41.30 ± 4.08 <sup>bcd</sup>	35.00 ± 2.95 <sup>cd</sup>	40.22 ± 0.83 <sup>bcd</sup>	47.26 ± 1.27 <sup>b</sup>	40.02 ± 1.28 <sup>bcd</sup>	24.60 ± 2.58 <sup>e</sup>	80.95 ± 0.99 <sup>a</sup>
苏氨酸(Thr)	8.97 ± 1.61 <sup>f</sup>	28.78 ± 2.46 <sup>de</sup>	6.33 ± 1.21 <sup>f</sup>	64.46 ± 2.54 <sup>b</sup>	21.62 ± 4.29 <sup>e</sup>	45.96 ± 4.10 <sup>c</sup>	36.41 ± 0.65 <sup>d</sup>	32.14 ± 3.69 <sup>d</sup>	24.60 ± 2.58 <sup>e</sup>	73.48 ± 0.85 <sup>a</sup>
丝氨酸(Ser)	23.29 ± 1.17 <sup>e</sup>	39.78 ± 2.05 <sup>de</sup>	32.69 ± 2.47 <sup>ef</sup>	80.56 ± 0.93 <sup>a</sup>	42.87 ± 0.50 <sup>cd</sup>	50.08 ± 4.61 <sup>c</sup>	40.85 ± 2.90 <sup>d</sup>	30.51 ± 2.98 <sup>fg</sup>	50.09 ± 1.26 <sup>c</sup>	68.12 ± 1.47 <sup>b</sup>
谷氨酸(Glu)	40.19 ± 1.77 <sup>d</sup>	37.19 ± 3.77 <sup>d</sup>	49.29 ± 0.76 <sup>c</sup>	81.43 ± 1.24 <sup>a</sup>	61.47 ± 1.76 <sup>b</sup>	37.89 ± 2.08 <sup>d</sup>	54.49 ± 2.04 <sup>c</sup>	41.70 ± 2.50 <sup>d</sup>	62.82 ± 2.86 <sup>b</sup>	80.80 ± 1.35 <sup>a</sup>
甘氨酸(Gly)	47.42 ± 2.46 <sup>e</sup>	48.47 ± 1.03 <sup>e</sup>	23.53 ± 3.83 <sup>e</sup>	64.23 ± 0.89 <sup>b</sup>	40.71 ± 4.94 <sup>cd</sup>	33.69 ± 2.51 <sup>d</sup>	46.38 ± 3.61 <sup>c</sup>	36.71 ± 2.42 <sup>d</sup>	33.06 ± 2.66 <sup>d</sup>	75.14 ± 1.61 <sup>a</sup>
丙氨酸(Ala)	44.79 ± 1.57 <sup>d</sup>	38.30 ± 1.10 <sup>de</sup>	29.52 ± 0.68 <sup>f</sup>	88.02 ± 0.76 <sup>a</sup>	39.34 ± 6.35 <sup>de</sup>	31.65 ± 2.02 <sup>ef</sup>	46.62 ± 3.15 <sup>d</sup>	61.68 ± 2.95 <sup>c</sup>	39.90 ± 1.08 <sup>de</sup>	79.39 ± 0.57 <sup>b</sup>
缬氨酸(Val)	26.91 ± 3.11 <sup>fg</sup>	34.48 ± 3.51 <sup>ef</sup>	20.60 ± 0.50 <sup>g</sup>	48.33 ± 0.80 <sup>bc</sup>	27.43 ± 2.74 <sup>fg</sup>	43.76 ± 1.74 <sup>cd</sup>	32.85 ± 1.48 <sup>ef</sup>	55.51 ± 1.26 <sup>b</sup>	36.93 ± 6.11 <sup>de</sup>	80.60 ± 0.14 <sup>a</sup>
甲硫氨酸(Met)	50.48 ± 1.59 <sup>cd</sup>	21.99 ± 0.77 <sup>f</sup>	47.11 ± 2.95 <sup>de</sup>	80.62 ± 0.83 <sup>b</sup>	55.68 ± 1.98 <sup>c</sup>	46.93 ± 2.02 <sup>de</sup>	46.49 ± 2.83 <sup>c</sup>	51.88 ± 1.91 <sup>cde</sup>	53.35 ± 2.30 <sup>cd</sup>	87.50 ± 0.22 <sup>a</sup>
异亮氨酸(Ile)	9.75 ± 2.00 <sup>fg</sup>	7.75 ± 2.96 <sup>g</sup>	20.77 ± 2.48 <sup>de</sup>	21.69 ± 1.28 <sup>de</sup>	31.46 ± 1.51 <sup>c</sup>	27.72 ± 1.50 <sup>cd</sup>	16.84 ± 3.20 <sup>ef</sup>	28.25 ± 3.19 <sup>cd</sup>	62.90 ± 2.53 <sup>b</sup>	76.78 ± 0.01 <sup>a</sup>
亮氨酸(Leu)	30.18 ± 1.52 <sup>e</sup>	37.74 ± 1.98 <sup>de</sup>	41.73 ± 1.61 <sup>bc</sup>	89.77 ± 1.44 <sup>a</sup>	47.92 ± 7.57 <sup>cd</sup>	50.80 ± 1.89 <sup>c</sup>	46.66 ± 2.41 <sup>cd</sup>	45.93 ± 2.82 <sup>cd</sup>	39.39 ± 1.86 <sup>de</sup>	73.31 ± 1.36 <sup>b</sup>
酪氨酸(Tyr)	7.99 ± 0.93 <sup>f</sup>	27.43 ± 1.67 <sup>e</sup>	13.50 ± 1.81 <sup>f</sup>	78.74 ± 1.80 <sup>a</sup>	9.04 ± 1.52 <sup>f</sup>	48.80 ± 2.80 <sup>d</sup>	27.00 ± 1.39 <sup>e</sup>	55.84 ± 1.54 <sup>c</sup>	48.85 ± 2.14 <sup>d</sup>	68.38 ± 0.72 <sup>b</sup>
苯丙氨酸(Phe)	31.89 ± 2.39 <sup>cd</sup>	21.46 ± 1.37 <sup>e</sup>	5.61 ± 1.18 <sup>f</sup>	1.18 ± 2.25 <sup>a</sup>	28.15 ± 2.26 <sup>d</sup>	49.81 ± 2.08 <sup>b</sup>	36.27 ± 1.71 <sup>c</sup>	53.27 ± 2.07 <sup>b</sup>	33.05 ± 2.36 <sup>cd</sup>	69.65 ± 0.95 <sup>a</sup>
赖氨酸(Lys)	28.27 ± 0.86 <sup>d</sup>	37.87 ± 3.64 <sup>c</sup>	19.77 ± 3.50 <sup>de</sup>	7.52 ± 1.14 <sup>f</sup>	18.43 ± 4.37 <sup>e</sup>	50.28 ± 1.01 <sup>b</sup>	48.84 ± 1.47 <sup>b</sup>	47.72 ± 4.88 <sup>b</sup>	52.80 ± 2.90 <sup>b</sup>	75.24 ± 1.10 <sup>a</sup>
组氨酸(His)	21.72 ± 1.98 <sup>f</sup>	22.61 ± 2.84 <sup>f</sup>	30.64 ± 3.38 <sup>ef</sup>	52.15 ± 0.09 <sup>b</sup>	62.08 ± 3.00 <sup>a</sup>	42.00 ± 3.07 <sup>d</sup>	36.15 ± 4.72 <sup>de</sup>	30.18 ± 0.33 <sup>f</sup>	33.82 ± 2.02 <sup>de</sup>	57.66 ± 1.64 <sup>ab</sup>
精氨酸(Arg)	37.76 ± 1.45 <sup>cd</sup>	40.40 ± 1.93 <sup>c</sup>	32.86 ± 2.87 <sup>fg</sup>	75.13 ± 2.74 <sup>a</sup>	51.00 ± 0.24 <sup>d</sup>	64.23 ± 2.25 <sup>bc</sup>	60.68 ± 2.78 <sup>c</sup>	47.68 ± 2.87 <sup>d</sup>	28.66 ± 2.57 <sup>g</sup>	70.51 ± 0.91 <sup>ab</sup>
总氨基酸(TAA)	31.58 ± 0.39 <sup>e</sup>	37.66 ± 0.35 <sup>d</sup>	29.97 ± 0.52 <sup>f</sup>	75.78 ± 0.77 <sup>a</sup>	46.42 ± 0.37 <sup>bc</sup>	45.56 ± 0.48 <sup>e</sup>	46.19 ± 0.50 <sup>bc</sup>	25.35 ± 0.38 <sup>g</sup>	47.51 ± 0.64 <sup>b</sup>	77.08 ± 0.02 <sup>a</sup>
必需氨基酸	26.24 ± 0.44 <sup>e</sup>	28.32 ± 1.32 <sup>f</sup>	21.54 ± 0.13 <sup>h</sup>	72.57 ± 0.18 <sup>b</sup>	30.64 ± 0.67 <sup>f</sup>	46.72 ± 0.17 <sup>d</sup>	39.26 ± 0.61 <sup>e</sup>	45.03 ± 1.68 <sup>cd</sup>	42.68 ± 1.25 <sup>c</sup>	75.49 ± 0.04 <sup>a</sup>
非必需氨基酸	34.63 ± 0.51 <sup>f</sup>	40.30 ± 0.02 <sup>e</sup>	33.98 ± 0.84 <sup>f</sup>	77.42 ± 1.52 <sup>a</sup>	52.32 ± 0.67 <sup>b</sup>	45.04 ± 0.17 <sup>d</sup>	48.71 ± 0.46 <sup>c</sup>	12.26 ± 1.75 <sup>g</sup>	49.48 ± 2.00 <sup>c</sup>	78.06 ± 0.06 <sup>a</sup>

注:数据上不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

### 3 讨论

为确保饲料营养的均衡,本试验饲料在配制过程中采用套算法<sup>[13]</sup>,即用 30% 的被测饲料原料替代基础饲料配制成试验饲料。同时,在计算消化率时,对基础饲料中某营养成分所占试验饲料的比例系数(校准系数)进行了修正,降低了因营养成分含量不同而产生的对消化率的影响<sup>[14]</sup>。

#### 3.1 瘤背石磺对饲料原料中干物质、粗脂肪和粗纤维的表观消化率

干物质的消化率反映了瘤背石磺对某种饲料原料的消化水平,它不仅取决于原料的营养组成,还与动物对原料的利用能力密切相关。有研究表明饲料中的灰分、粗纤维含量与饲料的消化率呈负相关<sup>[15]</sup>,同时饲料颗粒的大小也会影响饲料的消化率<sup>[16]</sup>。本试验中玉米蛋白饲料的各营养成分表观消化率均较高,这说明瘤背石磺能较好地利用玉米蛋白饲料。但与沈和定等<sup>[9]</sup>对瘤背石磺研究结果相比,本试验瘤背石磺对各种饲料原料的表观消化率均相对较高,这可能是因为瘤背石磺对本试验中添加的基础饲料—螺旋藻的选择性较强,从而提高了消化率。同时,本试验中瘤背石磺对原料的表观消化率具有特殊性,即其对动物性原料的表观消化率低于植物性原料,这可能是瘤背石磺长期自然选择的结果,在长期进化过程中其食性偏向植食性,体内缺乏消化动物性营养物质的酶,从而使其对动物性原料的消化率降低。

脂类是仅次于蛋白质的又一重要营养物质,脂肪的类型及含量高低对贝类的生长和生殖均有重要影响。吴旭干等<sup>[17]</sup>对成体瘤背石磺的研究发现磷脂和多不饱和脂肪酸对瘤背石磺的生长和繁育具有重要作用。同时,BARNEVELD<sup>[18]</sup>研究表明贝类对不饱和脂肪酸更容易消化吸收。本试验中瘤背石磺对 9 种饲料原料粗脂肪表观消化率最高的是菜粕和玉米蛋白粉,而非不饱和脂肪酸含量较高的鱼粉,这可能是由于鱼粉贮存不当造成了脂肪氧化,硫酸巴比妥酸(TBA)升高,适口性和营养价值等均受到影响,从而降低了消化率。同时,也有可能因为鱼粉中脂肪含量高引起的。

纤维素作为营养素的稀释剂和扩充剂,在一定范围内,含量增加能够提高消化率<sup>[19-20]</sup>,但

UKI 等<sup>[21]</sup>对皱纹盘鲍的研究发现纤维素含量过高能够抑制其对营养物质的消化吸收,造成皱纹盘鲍的生长率呈下降趋势。本试验与王新霞等<sup>[22]</sup>以及 UKI 等对鲍的研究结果一致,其对粗纤维的消化率均处于较低水平,主要是因为其体内缺乏消化相应纤维素的酶。

#### 3.2 瘤背石磺对饲料原料中蛋白质及氨基酸的表观消化率

本试验与张璐等<sup>[23]</sup>对中华绒螯蟹的研究结果相似,瘤背石磺对氨基酸和蛋白质的表观消化率具有一致性。本试验结果与沈和定等<sup>[9]</sup>的论断(瘤背石磺的代谢物质主要是非蛋白物质)有一定差异,相比于玉米粉等能量饲料,本试验中瘤背石磺对玉米蛋白粉的蛋白质消化率和氨基酸的总消化率均较高(分别为 78.03% 和 75.78%)。同时,陈然等<sup>[24]</sup>、PEREIRA 和 OLIVATELES<sup>[25]</sup>以及 TAKAGI 等<sup>[26]</sup>分别对异育银鲫、金头鲷和真鲷进行玉米蛋白粉替代鱼粉饲料的研究,结果表明其对玉米蛋白粉均具有较好的消化吸收能力,其原因可能是因为玉米蛋白中抗营养因子较少,且其纤维素和碳水化合物含量低<sup>[27]</sup>。

蛋白质的营养价值取决于蛋白质自身氨基酸的组成及其利用率,特别是必需氨基酸<sup>[28]</sup>。与其他水产动物如异育银鲫<sup>[29]</sup>、黄鳝<sup>[30]</sup>和中华鳖<sup>[31]</sup>相似,瘤背石磺的限制性氨基酸为赖氨酸和色氨酸。对于赖氨酸,本试验中瘤背石磺对其消化率最高的是玉米粉,最低的是玉米蛋白粉,这主要可能是因为玉米蛋白粉中的精氨酸和赖氨酸之间产生拮抗作用所致。虽然赖氨酸是必需氨基酸,且其含量很低,但玉米蛋白粉中其他所有的氨基酸的表观消化率均较高,并没有因为必需氨基酸——赖氨酸的含量低而降低,这可能是因为螺旋藻中赖氨酸含量高,弥补了玉米蛋白中赖氨酸的不足。同时,DEREK 和 JOHN<sup>[32]</sup>研究表明,海藻中的谷氨酸是一些海洋动物的诱食剂,而玉米蛋白中的谷氨酸含量也是最高的,这可能也是玉米蛋白粉的消化率较高的原因。另外,有报道显示建鲤等对不同加工方式的羽毛粉的消化率也有较大差异,这说明加工工艺也会影响原料氨基酸的存在形式,从而影响蛋白质的消化率<sup>[33]</sup>。

#### 3.3 瘤背石磺对饲料原料中钙、总磷的表观消化率

瘤背石磺作为腹足纲贝类,虽然其贝壳已经

退化,但其肌肉中钙磷比高达 3:1<sup>[34]</sup>,由此可以看出瘤背石磺饲料中钙和磷的含量及比例对瘤背石磺的生长具有重要意义。

瘤背石磺对磷的表观消化率与其他水产动物基本一致,即对植物性饲料原料中磷的表观消化率均较低,也是因为瘤背石磺体内缺乏植酸酶而无法利用植物性饲料原料中的植酸磷。但瘤背石磺对于肉骨粉和鱼粉中磷的表观消化率也较低,可能是因为鱼粉和肉骨粉中磷的含量过高导致的。

#### 4 结论

瘤背石磺对不同饲料原料中营养物质的表观消化率差异很大,综合考虑玉米蛋白粉的各项营养物质的表观消化率均相对较高且与螺旋藻相差不大,笔者认为玉米蛋白粉可作为瘤背石磺的饵料替代或部分替代螺旋藻。同时,玉米粉和棉籽蛋白粉等原料除了有部分指标不及玉米蛋白粉以外,其综合营养价值也较高,只要在饲料配制过程中进行合理搭配,取长补短,也可以成为瘤背石磺饵料的重要组成成分。

#### 参考文献:

- [1] 王金庆,成永旭,吴旭干,等. 瘤背石磺的生殖系统和性腺发育[J]. 动物学杂志, 2006, 41(1): 19-26.
- [2] 王金庆,成永旭,吴旭干,等. 瘤背石磺的形态、习性和生殖行为[J]. 动物学杂志, 2005, 40(1): 32-40.
- [3] 张媛溶,周昭曼,卢卫平,等. 上海沿海蛤蟆石磺的初步研究[C]//中国贝类学会. 贝类学论文集第二辑. 北京: 科学出版社, 1986: 153.
- [4] MCFARLANE I D. Ecology and behaviour of the intertidal pulmonate mollusks *Onchidium peronii* in Kuwait [J]. Journal of University Kuwait, 1979, 6: 169-180.
- [5] 黄金田,沈伯平,王资生. 瘤背石磺的生态习性观察[J]. 海洋渔业, 2004, 26(2): 103-109.
- [6] 沈和定,陈汉春,陈贤龙,等. 石磺繁殖生物学的实验研究[J]. 水产学报, 2006, 30(6): 753-760.
- [7] HATSUO H, SATORU I. Chaotic nature of bursting discharges in the *Onchidium pacemaker* neuron [J]. Journal of Theoretical Biology, 1992, 156(3): 269-291.
- [8] 倪小英,应雪萍,张永普,等. 不同温度和 pH 值对瘤背石磺(*Onchidium verruculatum* Cuvier) 消化酶活性的影响[J]. 温州大学学报: 自然科学版, 2009, 30(2): 1-5.
- [9] 沈和定,陈汉春,陈贤龙,等. 几种饲料对石磺的暂养效果及其消化率的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(4): 293-297.
- [10] 沈和定,李家乐,张媛溶. 石磺的生物学特性及其增殖前景分析[J]. 中国水产, 2004(1): 36-39.
- [11] CHEW S F, HO S Y, IP Y K. Free amino acids and osmoregulation in the intertidal pulmonate *Onchidium tumidium*[J]. Marine Biology, 1999, 4: 735-741.
- [12] AOAC. Official methods of analysis of official analytical chemists international [M]. 16th ed. Arlington VA: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [13] CHO C Y, KAUSHIK S J. Nutritional energetic in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. World Review of Nutrition and Dietetics, 1990, 61: 132-172.
- [14] 游文章,雍文岳,廖朝兴. 测定鱼类饲料原料营养成分消化率的计算方法[J]. 水产学报, 1993, 17(2): 167-171.
- [15] 梁丹妮,姜雪娇,刘文斌,等. 建鲤对 7 种饲料原料中营养物质的表观消化率[J]. 动物营养学报, 2010, 22(6): 1592-1598.
- [16] 蔡英亚,张英,魏若飞. 贝类学概论[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994: 127.
- [17] 吴旭干,成永旭,唐伯平,等. 瘤背石磺产卵前后脂类和脂肪酸组成的变化[J]. 动物学报, 2007, 53(6): 1089-1100.
- [18] BARNEVELD R J. Influence of dietary oil type and oil inclusion level in manufactured feeds on the digestibility of nutrients by juvenile greenlip abalone (*Haliotis laevis*) [J]. Journal of Shellfish Research, 1998, 17(3): 649-655.
- [19] EHRELEIN H J, PROVE J. Effect of viscosity of test meals on gastric emptying in dogs [J]. Quarterly Journal of Experimental Physiology, 1982, 67: 419-425.
- [20] WILMOHIRST P, GRAWLEY J C. The measurement of gastric transit time in obese subjects using Na and the effects of energy contents and guar gum on gastric emptying and satiety [J]. British Journal of Medicine, 1980, 44: 1-6.
- [21] UKI N, KEMUYAMA A, WATANABE T. Nutritional evaluation of several protein sources in diets for abalone *Haliotis discus hannai* [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1985(51): 1835-1839.
- [22] 王新霞,张国范,常亚青. 鲍养殖生物学研究进展[J]. 水产科学, 2000, 19(6): 30-35.
- [23] 张璐,陈立侨,洪美玲,等. 中华绒螯蟹对 11 种饲料原料蛋白质和氨基酸的表观消化率[J]. 水产学报, 2007, 31(9): 116-121.
- [24] 陈然,华雪铭,黄旭雄,等. 玉米蛋白替代鱼粉对异育银鲫生长、蛋白酶活性及表观消化率的影响[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2009, 27(4): 358-367.
- [25] PEREIRA T G, OLIVA-TELES A. Evaluation of corn gluten meal as a protein source in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) juveniles [J]. Aquaculture Research, 2003, 32(13): 1111-1117.
- [26] TAKAGI S, SHIMENO S, HOSOKAWA H, et al. Utilization of corn gluten meal in a diet for red sea bream (*Pagrus major*) [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific

- Fisheries, 2000, 66(3): 417-427.
- [27] KETOLA H G. Amino acid nutrition of fishes requirements and supplementation of diets[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1982, 73: 17-24.
- [28] HALVER J E, HARDY R W. Fish Nutrition[M]. 3rd ed. New York: Academic Press, 2002: 824-825.
- [29] 严安生, 熊传喜, 周志军, 等. 异育银鲫的含肉率及营养价值评价[J]. 水利渔业, 1998, 18(3): 16-19.
- [30] 舒妙安, 马有智, 张建成. 黄鳝肌肉营养成分的分析[J]. 水产学报, 2000, 24(4): 339-344.
- [31] 汤嵘嵘, 王道尊, 谭玉均. 中华鳖生化组成的分析: III. 肌肉氨基酸的组成[J]. 水生生物学报, 1998, 22(4): 307-313.
- [32] DEREK A D, JOHN P C. Olfaction and taste V: proceedings of the fifth international symposium held at the Howard Florey Institute of Experimental Physiology & Medicine [M]. New York: Academic Press, 1975, 5: 133-139.
- [33] PARK W, WALDROUP B, FRANCES Y. Nutritive value of feather meal noted[J]. Feedstuff, 2008, 7: 12-14.
- [34] 黄金田, 王爱民. 瘤背石磺营养成分分析及品质评价[J]. 海洋科学, 2008, 17(2): 29-35.

## Apparent digestibility of nine conventional feed ingredients for *Onchidium struma*

SHEN Yong-long<sup>1,2</sup>, HUANG Jin-tian<sup>2</sup>, GE Xian-ping<sup>1</sup>, WANG Ai-min<sup>2</sup>, LÜ Fu<sup>2</sup>, LIU Cheng<sup>2</sup>

(1. Wuxi Fishery Institute of Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, Jiangsu, China; 2. Key Laboratory of Benthic Biology of Shoals of Jiangsu Province, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, Jiangsu, China)

**Abstract:** The apparent digestibility of dry matter, crude protein, crude fat, crude fiber, amino acids, calcium and phosphorus of nine feed ingredients for *Onchidium struma* were determined. Taking spirulina feed as the basal diet, test diets consisted of 70% basal diet and 30% test feed ingredients, and added 0.5% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as an indicator. Two thousand four hundred *Onchidium struma* with the average body weight of (16.82 ± 2.14) g were randomly divided into 10 groups with 3 replicates per group and 40 individuals per replicate, and one control group randomly selected from the 10 groups was fed basal diet. The results showed that the apparent digestibility for dry matter, crude protein, crude fat, crude fiber, total amino acids, essential amino acids, calcium and phosphorus of nine feed ingredients were 33.24% - 55.29%, 27.30% - 79.35%, 36.91% - 69.81%, 34.89% - 65.04%, 25.35% - 75.78%, 21.54% - 72.57%, 44.98% - 74.64% and 10.42% - 32.15%, respectively. The results indicated that corn gluten meal showed the best apparent digestibility for all nutrition in the seven protein feed, followed by cottonseed gluten meal and cottonseed meal. In the two energy feed, corn meal showed higher apparent digestibility than wheat meal, but lower than the corn gluten meal. Thus, it can be seen that corn gluten meal can be used as high quality feed raw material, and it can partially replace spirulina feed in *Onchidium struma* feeds. At the same time, we can also reasonably collocate and moderately use corn meal and cottonseed gluten meal.

**Key words:** *Onchidium struma*; conventional feed ingredients; nutrients; apparent digestibility