

## ◆海洋生物◆

## 5 种饲料对糙海参幼参生长和营养成分的影响\*

刘京<sup>1</sup>, 刘旭佳<sup>2,3\*\*</sup>, 李智巧<sup>4</sup>, 赖俊翔<sup>2</sup>, 姜发军<sup>2</sup>, 胡超群<sup>2</sup>

(1. 北部湾大学海洋学院, 广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室, 广西钦州 535011; 2. 广西科学院, 广西海洋科学院(广西红树林研究中心), 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007; 3. 广西海洋研究所有限责任公司, 广西北海 536000; 4. 广西大学资源环境与材料学院, 广西南宁 530004)

**摘要:**为探讨不同饲料间的营养搭配, 优化热带海参配合饲料及提高糙海参(*Holothuria scabra*)人工养殖技术, 本研究分析了 5 种饲料对糙海参幼参生长和营养成分的影响。试验采用虾料、螺旋藻粉、马尾藻粉、配合饲料和发酵饲料[由配合饲料、马尾藻粉、丁酸梭菌(*Clostridium butyrate*)、海洋红酵母(*Rhodotorula benthica*)和螺旋藻粉按一定比例混合发酵]分别投喂幼参[体质量为(1.06±0.20) g], 养殖周期 40 d, 最后测定幼参的体质量、特定生长率(SGR)及体壁营养成分。结果显示, 40 d 时配合饲料组幼参体质量、SGR 最高, 发酵饲料组次之, 均显著高于其余饲料组( $P<0.05$ )。虾料组、配合饲料组幼参体壁粗蛋白含量显著高于马尾藻粉组、螺旋藻粉组( $P<0.05$ ), 发酵饲料组与其余组间均无显著差异( $P>0.05$ ); 配合饲料组、发酵饲料组和虾料组幼参含水率显著高于螺旋藻粉组、马尾藻粉组以及试验初始时幼参的含水率( $P<0.05$ ); 马尾藻粉组幼参灰分含量显著高于对虾组、配合饲料组以及试验初始时幼参的灰分含量( $P<0.05$ ); 虾料组幼参能值显著高于其余组( $P<0.05$ ), 马尾藻粉组、螺旋藻粉组幼参能值显著低于其余组( $P<0.05$ )。在幼参总氨基酸(TAA)、必需氨基酸(EAA)、半必需氨基酸(SEAA)和呈味氨基酸(FAA)含量方面, 配合饲料组、发酵饲料组和虾料组间均无显著差异( $P>0.05$ ), 且显著高于马尾藻组和螺旋藻组( $P<0.05$ )。综上所述, 投喂配合饲料和发酵饲料的糙海参幼参生长效果最佳, 可为糙海参幼参养殖管理以及其饲料研发提供数据支撑。

**关键词:**糙海参; 饲料; 生长; 体壁; 营养成分

中图分类号: S963 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2024)01-0072-08

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20240319.009

糙海参(*Holothuria scabra*)属棘皮动物门(Echinodermata)海参纲(Holothuroidea)楯手目(Aspidochirota)海参科(Holothuriidae)海参属(*Holothuria*), 广泛分布在印度-西太平洋海域, 在我国主

收稿日期: 2023-11-29

修回日期: 2024-01-22

\* 国家自然科学基金项目(31960225), 广西自然科学基金项目(2021GXNSFAA196074), 广西人才小高地项目(BGMRC202002)和广西科学院基本科研业务费创新团队启动金项目(CQ-C-202301)资助。

【第一作者简介】

刘京(1998—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事水产养殖生态学研究。

【\*\*通信作者简介】

刘旭佳(1986—), 女, 博士, 副研究员, 主要从事水产养殖生态学研究, E-mail: lxu0312@126.com。

【引用本文】

刘京, 刘旭佳, 李智巧, 等. 5 种饲料对糙海参幼参生长和营养成分的影响[J]. 广西科学院学报, 2024, 40(1): 72-79.

LIU J, LIU X J, LI Z Q, et al. Effects of 5 Types of Feed on the Growth and Nutrient Composition of Juvenile Sea Cucumber *Holothuria scabra* [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2024, 40(1): 72-79.

要分布于海南岛、西沙群岛和北部湾一带水深较浅的海域<sup>[1]</sup>。糙海参体壁蛋白质含量高、脂肪含量低,富含人体所需的多种矿物元素,糖类丰富且不含胆固醇,有较高的营养价值,同时具有抗氧化活性、抑制癌细胞迁移和抗糖尿病等药用价值<sup>[2,3]</sup>,是热带和亚热带海域较有发展潜力的经济海参种类<sup>[4,5]</sup>。

近年来,随着市场需求的不断增加,过度捕捞给野生糙海参资源带来了严重的威胁<sup>[6]</sup>。目前我国近海海域的野生糙海参已基本绝迹<sup>[7]</sup>,人工养殖糙海参被认为是解决该危机的有效策略,通过将人工养殖的海参投放到野外,海参的自然种群可得到恢复。人工养殖需要投喂人工配合饲料,而市售海参配合饲料主要基于北方冷水种刺参(*Apostichopus japonicus*)研发,其生物学特征及生长环境与本研究中的研究对象糙海参存在显著差异,因此配合饲料能否充分满足糙海参幼参生长营养需求有待深入研究。目前国内对糙海参的研究非常少,并且主要是繁育方面<sup>[8,9]</sup>,未见饲料对糙海参幼参生长影响以及人工养殖条件下营养成分的研究。本研究以糙海参幼参为研究对象,分析5种饲料对糙海参幼参生长和营养成分的影响,探讨最佳饲料组成的营养搭配,为糙海参幼参饲料研究以及健康养殖管理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本研究使用的糙海参为广西海洋研究所有限责任公司试验基地同一养殖阶段的糙海参幼参。糙海参幼参养殖于底质铺沙的水泥池(3.5 m×3.5 m×1.2 m),从水泥池挑选有活力、个体健壮、规格基本一致的糙海参150头,平均体质量(1.06±0.20)g。

幼参配合饲料(粗蛋白18.0%,粗脂肪3.5%,氨基酸0.8%,粗灰分32.0%,粗纤维8.0%,总磷0.45%,水分10.0%,钙3.0%)和马尾藻粉(粗蛋白7.5%,粗灰分30.0%,水分15.0%)购自莱州市海福饲料有限公司。螺旋藻粉(粗蛋白62%,粗脂肪2%,藻蓝蛋白6%,水分7%,灰分7%)购自北海市天普乐生物科技有限公司。虾料(粗蛋白42%,粗纤维5%,粗脂肪4%,粗灰分16%,总磷1%,赖氨酸2.25%,水分12%)来源于新乡市华畜商贸有限公司。丁酸梭菌(*Clostridium butyrate*, 丁酸梭菌≥5.0×10<sup>6</sup> CFU/g)购自厦门海荣正生物科技有限公司。海洋红酵母(*Rhodotorula benthica*, 红发夫酵母≥1.0×10<sup>9</sup> CFU/g, 霉菌总数<2.0×10<sup>4</sup> CFU/g,

虾青素≥600 μg/g,水分≤8%)购自山东宝来利来生物工程股份有限公司。发酵饲料组成见表1,需提前配制并加少量水发酵20 h以上。

表1 糙海参幼参发酵饲料组成

Table 1 Fermented feed composition of juvenile *Holothuria scabra*

组成 Composition	比例/% Proportion/%
Commercial formula feed of juvenile	30
<i>Sargassum</i> powder	60
<i>Spirulina</i> powder	6
<i>Clostridium butyrate</i>	2
<i>Rhodotorula benthica</i>	2

### 1.2 主要仪器

ML204 电子天平(瑞士梅特勒-托利多集团), MCA3.6P 微量天平(德国 Sartorius 公司), AL-PHA1-4 LDplus 冷冻干燥机(德国 Christ 公司), SX-4-10 马弗炉(天津市泰斯特仪器有限公司), 240C 元素分析仪(美国 Perkin-Elmer 公司), 30+全自动氨基酸分析仪(英国 Biochrom 公司)。

### 1.3 试验设备

试验装置主要有2个控温水箱,规格为380 L(140 cm×90 cm×36 cm),每个控温水箱中放置9个养殖PVC箱,规格为21 L(385 mm×260 mm×210 mm),通过HC-1000BH控温机(广东海利集团有限公司)和加热棒来维持温度。

### 1.4 试验设计

试验分为5个饲料组,分别为配合饲料组、螺旋藻粉组、虾料组、马尾藻粉组、发酵饲料组。每个饲料组设置3个平行。幼参在PVC水箱进行养殖,箱底铺设2 cm海砂,海砂由4种粒径(>850、425-850、180-425、<180 μm)等量混合而成。每个PVC箱中投放10头幼参,除发酵饲料组外,其余饲料组的饲料在投喂前均用少量水溶解处理,于每日16:00进行饱食投喂。养殖试验用水为新鲜砂滤海水,盐度26-28,水温28-31℃,溶氧4.5 mg/L,每2 d换水1次,试验周期40 d。

### 1.5 样品采集

每10 d观察糙海参生长情况并测定每头幼参体质量,用干纱布吸干糙海参表面海水,电子天平称量糙海参体质量。试验开始前随机选取50头幼参解剖作为初始样品,试验结束时解剖全部幼参,沥干海参

表面水分,去除呼吸树、肠道等内脏器官,同时剪去石灰环,保留体壁部分。将海参体壁组织置于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中预冻 24 h 以上,放入冷冻干燥机干燥 48 h。干燥结束后用研磨器将海参体壁组织研磨成粉末状,放入冻存管中,置于干燥器待测。

### 1.6 测定方法与计算

特定生长率(SGR) =  $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$ ,

式中: $W_t$  和  $W_0$  分别为试验结束和开始时幼参体质量(g), $t$  为试验时间(d)。

水分测定参照《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB 5009.3-2016)中的直接干燥法,灰分测定参照《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》(GB 5009.4-2016)中的总灰分的测定法,粗蛋白测定参照《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5-2016)中的燃烧法,氨基酸测定参照《食品安全国家标准 饲料中氨基酸的测定》(GB/T 18246-2019)中的氧化酸水解法,能值用 PARR6400 全自动氧弹热量计(美国 PARR 公司)测定。

### 1.7 统计分析

使用 SPSS 26.0 软件进行单因素方差分析

表 2 不同饲料组糙海参幼参体质量

Table 2 Body weight of juvenile *H. scabra* in different feed groups

Unit:g

组别 Group	天数/d Days/d				
	0	10	20	30	40
Shrimp feed group	1.055±0.103 <sup>Ca</sup>	0.854±0.081 <sup>Cc</sup>	1.154±0.019 <sup>Cc</sup>	1.708±0.303 <sup>Bc</sup>	2.193±0.208 <sup>Ac</sup>
<i>Spirulina</i> powder group	1.132±0.042 <sup>Da</sup>	1.169±0.046 <sup>Db</sup>	1.624±0.070 <sup>Cb</sup>	2.122±0.074 <sup>Bc</sup>	2.487±0.091 <sup>Ac</sup>
<i>Sargassum</i> powder group	1.049±0.038 <sup>Da</sup>	1.305±0.076 <sup>Da</sup>	2.236±0.085 <sup>Ca</sup>	2.979±0.428 <sup>Bb</sup>	4.048±0.410 <sup>Ab</sup>
Commercial formula feed group	1.045±0.036 <sup>Da</sup>	1.077±0.034 <sup>Db</sup>	2.278±0.111 <sup>Ca</sup>	4.024±0.221 <sup>Ba</sup>	5.490±0.399 <sup>Aa</sup>
Fermented feed group	1.047±0.042 <sup>Da</sup>	1.123±0.022 <sup>Db</sup>	2.253±0.061 <sup>Ca</sup>	3.157±0.484 <sup>Bb</sup>	4.894±0.461 <sup>Aa</sup>

Note: different capital letters in each row represent significant differences in the same feed at different times ( $P < 0.05$ ), different lowercase letters in each column represent significant differences in different feed groups at the same time ( $P < 0.05$ ).

由表 2 可知,虾料组幼参体质量在 40 d 时显著高于 30 d,30 d 显著高于 0、10、20 d ( $P < 0.05$ )。其余饲料组幼参体质量在 20、30、40 d 时均显著高于前面时间节点( $P < 0.05$ )。

不同饲料组糙海参幼参特定生长率见图 1。各饲料组 0-10 d 的 SGR 均最低。虾料组 0-10 d 的 SGR 出现负值,显著低于其他时间段( $P < 0.05$ )。螺旋藻粉组幼参 SGR 在 0-10 d 显著低于其他时间段( $P < 0.05$ ),且 10-20、20-30 d 显著高于 30-40

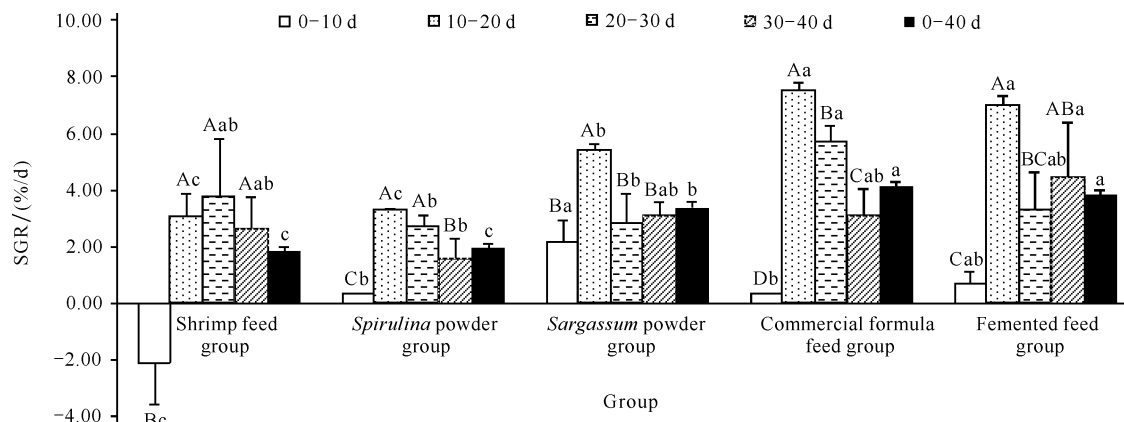
(One-way ANOVA),采用最小显著性差异法(LSD)进行多重比较分析, $P < 0.05$  表示结果有显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同饲料组糙海参幼参体质量与生长情况

不同饲料组糙海参幼参体质量见表 2。试验开始时各组间幼参体质量无显著差异( $P > 0.05$ ),经过 10 d 的养殖,马尾藻粉组幼参体质量显著高于其他组( $P < 0.05$ ),虾料组幼参体质量显著低于其他组( $P < 0.05$ ),其余 3 组间无显著差异( $P > 0.05$ );20 d 时,配合饲料组、马尾藻粉组和发酵饲料组幼参体质量均显著高于螺旋藻粉组、虾料组( $P < 0.05$ ),螺旋藻粉组显著高于虾料组( $P < 0.05$ );30 d 时,配合饲料组幼参体质量显著高于其他组( $P < 0.05$ ),发酵饲料组和马尾藻粉组显著高于螺旋藻粉组、虾料组( $P < 0.05$ );40 d 时,配合饲料组、发酵饲料组幼参体质量显著高于其余组( $P < 0.05$ ),马尾藻组显著高于螺旋藻粉组和虾料组( $P < 0.05$ )。

d ( $P < 0.05$ )。马尾藻粉组 10-20 d 的 SGR 显著高于其他时间段( $P < 0.05$ ),其他时间段间均无显著差异( $P > 0.05$ )。配合饲料组幼参 SGR 在 10-20 d 显著高于 20-30 d ( $P < 0.05$ ),20-30 d 显著高于 30-40 d ( $P < 0.05$ ),30-40 d 显著高于 0-10 d ( $P < 0.05$ )。发酵饲料组幼参 SGR 在 0-10 d 与 20-30 d 间无显著差异( $P > 0.05$ ),10-20 d 显著高于 0-10、20-30 d ( $P < 0.05$ ),且 30-40 d 显著高于 0-10 d ( $P < 0.05$ )。



Different capital letters represent significant differences in the same feed at different times ( $P < 0.05$ ), different lowercase letters represent differences in different feed groups at the same time ( $P < 0.05$ ).

图1 不同饲料组糙海参幼参的特定生长率

Fig. 1 Specific growth rates of juvenile *H. scabra* in different feed groups

0—10 d时,马尾藻粉组幼参 SGR 值最高且显著高于除发酵饲料外的其余组( $P < 0.05$ ),螺旋藻粉组和配合饲料组间无显著差异( $P > 0.05$ ),虾料组幼参 SGR 出现负值,且显著低于其余组( $P < 0.05$ )。10—20 d时,配合饲料组和发酵饲料组幼参 SGR 值较高且显著高于其余 3 个饲料组( $P < 0.05$ ),马尾藻粉组显著高于螺旋藻粉组、虾料组( $P < 0.05$ )。20—30 d 配合饲料组 SGR 显著高于螺旋藻粉组、马尾藻粉组( $P < 0.05$ ),其余组间差异均不显著( $P > 0.05$ )。30—40 d 的发酵饲料组幼参 SGR 值显著高于螺旋藻粉组( $P < 0.05$ ),其余组间均无显著差异( $P > 0.05$ )。0—40 d 幼参 SGR 表现与 10—20 d 类似。

## 2.2 不同饲料组糙海参幼参基本营养成分含量

不同饲料组糙海参幼参体壁基本营养成分见表 3

表 3 不同饲料组糙海参幼参体壁基本营养成分含量

Table 3 Basic nutrient compositions of juvenile *H. scabra* in different feed groups

组别 Group	粗蛋白/% Crude protein/%	含水率/% Moisture content/%	灰分/% Ash/%	能值/(MJ/kg) Energy value/(MJ/kg)
Initial group	21.85±4.70 <sup>bc</sup>	86.01±0.00 <sup>b</sup>	54.61±0.02 <sup>bc</sup>	7.42±0.05 <sup>c</sup>
Shrimp feed group	27.29±2.35 <sup>ab</sup>	89.27±0.00 <sup>a</sup>	53.29±0.00 <sup>c</sup>	8.04±0.09 <sup>a</sup>
<i>Spirulina</i> powder group	21.17±1.80 <sup>c</sup>	86.85±0.01 <sup>b</sup>	56.57±0.01 <sup>ab</sup>	7.06±0.15 <sup>d</sup>
<i>Sargassum</i> powder group	21.67±1.24 <sup>c</sup>	87.04±0.01 <sup>b</sup>	57.87±0.00 <sup>a</sup>	6.95±0.10 <sup>d</sup>
Commercial formula feed group	27.40±1.94 <sup>a</sup>	88.78±0.01 <sup>a</sup>	53.44±0.01 <sup>c</sup>	7.79±0.08 <sup>b</sup>
Fermented feed group	24.44±1.51 <sup>abc</sup>	88.46±0.00 <sup>a</sup>	55.67±0.01 <sup>abc</sup>	7.62±0.05 <sup>bc</sup>

Note, different letters in each column represent significant differences ( $P < 0.05$ ).

## 2.3 不同饲料组糙海参幼参体壁氨基酸含量

经测定,不同饲料组糙海参幼参体壁中均检出 16 种氨基酸(表 4)。不同饲料组糙海参幼参体壁总

氨基酸(TAA)含量为 22.74%—27.51%,高低排序为虾料组>配合饲料组>发酵饲料组>试验初始组>马尾藻粉组>螺旋藻组。其中必需氨基酸

氨基酸(TAA)含量为 22.74%—27.51%,高低排序为虾料组>配合饲料组>发酵饲料组>试验初始组>马尾藻粉组>螺旋藻组。其中必需氨基酸

(EAA)含量为 5.44%—6.40%，非必需氨基酸(NEAA)含量为 15.23%—18.65%，半必需氨基酸(SEAA)含量为 2.07%—2.46%，呈味氨基酸(FAA)含量为 12.46%—15.23%，含量高低排序与

TAA一致。在 TAA、EAA、SEAA 和 FAA 含量方面，配合饲料组、发酵饲料组和虾料组间均无显著差异( $P>0.05$ )，且显著高于马尾藻组、螺旋藻组( $P<0.05$ )。

表 4 不同饲料组糙海参幼参体壁氨基酸的含量

Table 4 Amino acids contents of juvenile *H. scabra* in different feed groups

Unit: %

组别 Group	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	蛋氨酸 Met	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	苯丙氨酸 Phe *	赖氨酸 Lys
Initial group	1.26±0.01 <sup>bc</sup>	1.12±0.03 <sup>bc</sup>	0.28±0.01 <sup>a</sup>	0.65±0.01 <sup>bc</sup>	1.16±0.01 <sup>ab</sup>	0.71±0.01 <sup>ab</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>
Shrimp feed group	1.38±0.02 <sup>a</sup>	1.21±0.02 <sup>a</sup>	0.28±0.01 <sup>ab</sup>	0.67±0.02 <sup>abc</sup>	1.23±0.04 <sup>a</sup>	0.73±0.02 <sup>a</sup>	0.90±0.05 <sup>a</sup>
<i>Sargassum</i> powder group	1.21±0.04 <sup>cd</sup>	1.07±0.04 <sup>cd</sup>	0.26±0.01 <sup>b</sup>	0.63±0.03 <sup>cd</sup>	1.09±0.05 <sup>bc</sup>	0.66±0.02 <sup>bc</sup>	0.77±0.04 <sup>b</sup>
<i>Spirulina</i> powder group	1.15±0.04 <sup>d</sup>	1.04±0.04 <sup>d</sup>	0.25±0.01 <sup>c</sup>	0.59±0.04 <sup>d</sup>	1.03±0.05 <sup>c</sup>	0.63±0.03 <sup>cd</sup>	0.76±0.04 <sup>b</sup>
Commercial formula feed group	1.32±0.03 <sup>ab</sup>	1.16±0.02 <sup>ab</sup>	0.28±0.01 <sup>ab</sup>	0.69±0.01 <sup>ab</sup>	1.19±0.03 <sup>a</sup>	0.71±0.02 <sup>a</sup>	0.85±0.03 <sup>a</sup>
Fermented feed group	1.31±0.03 <sup>b</sup>	1.20±0.03 <sup>a</sup>	0.28±0.00 <sup>ab</sup>	0.71±0.03 <sup>a</sup>	1.19±0.04 <sup>a</sup>	0.70±0.03 <sup>ab</sup>	0.86±0.04 <sup>a</sup>
组别 Group	必需氨基酸 EAA	天冬氨酸 Asp *	脯氨酸 Pro	丝氨酸 Ser	谷氨酸 Glu *	甘氨酸 Gly *	丙氨酸 Ala *
Initial group	6.08±0.02 <sup>ab</sup>	2.58±0.03 <sup>bc</sup>	2.31±0.07 <sup>b</sup>	1.13±0.01 <sup>b</sup>	4.01±0.05 <sup>bc</sup>	4.11±0.08 <sup>b</sup>	2.21±0.04 <sup>b</sup>
Shrimp feed group	6.40±0.17 <sup>a</sup>	2.80±0.05 <sup>a</sup>	2.63±0.03 <sup>a</sup>	1.22±0.02 <sup>a</sup>	4.42±0.11 <sup>a</sup>	4.75±0.07 <sup>a</sup>	2.52±0.03 <sup>a</sup>
<i>Sargassum</i> powder group	5.69±0.20 <sup>cd</sup>	2.46±0.08 <sup>cd</sup>	2.33±0.08 <sup>b</sup>	1.05±0.03 <sup>c</sup>	3.84±0.12 <sup>c</sup>	4.23±0.13 <sup>b</sup>	2.24±0.07 <sup>b</sup>
<i>Spirulina</i> powder group	5.44±0.25 <sup>d</sup>	2.33±0.10 <sup>d</sup>	2.14±0.08 <sup>c</sup>	1.00±0.04 <sup>c</sup>	3.58±0.15 <sup>d</sup>	3.87±0.16 <sup>c</sup>	2.05±0.09 <sup>c</sup>
Commercial formula feed group	6.19±0.15 <sup>ab</sup>	2.66±0.07 <sup>ab</sup>	2.58±0.08 <sup>a</sup>	1.14±0.03 <sup>b</sup>	4.19±0.13 <sup>ab</sup>	4.61±0.14 <sup>a</sup>	2.44±0.07 <sup>a</sup>
Fermented feed group	6.25±0.20 <sup>a</sup>	2.66±0.06 <sup>b</sup>	2.53±0.03 <sup>a</sup>	1.12±0.04 <sup>b</sup>	4.17±0.08 <sup>b</sup>	4.54±0.06 <sup>a</sup>	2.41±0.04 <sup>a</sup>
组别 Group	胱氨酸 Cys	非必需氨基酸 NEAA	组氨酸 His	精氨酸 Arg	半必需氨基酸 SEAA	呈味氨基酸 FAA	总氨基酸 TAA
Initial group	0.30±0.07 <sup>a</sup>	16.65±0.26 <sup>c</sup>	0.25±0.00	2.03±0.037 <sup>b</sup>	2.28±0.04 <sup>bc</sup>	13.62±0.20 <sup>b</sup>	25.01±0.30 <sup>bc</sup>
Shrimp feed group	0.30±0.01 <sup>a</sup>	18.65±0.22 <sup>a</sup>	0.19±0.07	2.27±0.04 <sup>a</sup>	2.46±0.06 <sup>a</sup>	15.23±0.21 <sup>a</sup>	27.51±0.33 <sup>a</sup>
<i>Sargassum</i> powder group	0.26±0.01 <sup>b</sup>	16.41±0.51 <sup>cd</sup>	0.21±0.00	2.01±0.05 <sup>b</sup>	2.22±0.05 <sup>c</sup>	13.43±0.41 <sup>b</sup>	24.32±0.75 <sup>c</sup>
<i>Spirulina</i> powder group	0.26±0.01 <sup>b</sup>	15.23±0.61 <sup>e</sup>	0.20±0.01	1.87±0.08 <sup>c</sup>	2.07±0.09 <sup>d</sup>	12.46±0.53 <sup>c</sup>	22.74±0.93 <sup>d</sup>
Commercial formula feed group	0.28±0.01 <sup>b</sup>	17.90±0.51 <sup>ab</sup>	0.22±0.01	2.20±0.06 <sup>a</sup>	2.43±0.06 <sup>a</sup>	14.62±0.41 <sup>a</sup>	26.52±0.71 <sup>a</sup>
Fermented feed group	0.28±0.01 <sup>b</sup>	17.71±0.31 <sup>b</sup>	0.22±0.01	2.18±0.05 <sup>a</sup>	2.41±0.05 <sup>ab</sup>	14.48±0.27 <sup>a</sup>	26.37±0.56 <sup>ab</sup>

Note: \* indicates flavor amino acid, different letters in each column represent significant differences ( $P<0.05$ ).

### 3 讨论

#### 3.1 不同饲料对糙海参幼参生长的影响

饲料是影响海参生长的重要环境因子之一，且饲料种类对其生长有着显著影响<sup>[10-12]</sup>。本研究结果显示，配合饲料组与发酵饲料组糙海参幼参 SGR 最高，马尾藻粉组次之，虾料组和螺旋藻粉组最差。配合饲料、发酵饲料的营养配比与组成可以较好地满足幼参的生长需求，同时发酵饲料组在 30—40 d 要高于配合饲料组，表明将饲料与菌种发酵处理再进行投喂在幼参长周期养殖上可能具备一定的潜力。

马尾藻粉组幼参 0—10 d 的 SGR 最高，表明藻

类饲料在幼参适应性上的优势，但 40 d 时体质量与 0—40 d 的 SGR 显著低于配合饲料组与发酵饲料组，说明长期养殖效果不佳，这与刘天红等<sup>[13]</sup>和白伟等<sup>[14]</sup>对刺参幼参的研究结果相似，即投喂马尾藻的幼参生长和增重效果优于其他藻类饲料，马尾藻表现消化率高，马尾藻、鼠尾藻、石莼较其他植物源饲料也更有利于刺参幼参生长。但马尾藻粉组的刺参较配合饲料组增重率更高、效果更好<sup>[15]</sup>，原因可能是糙海参与刺参在摄食习性、生长速度方面存在差异，以及海参规格、所采用的配合饲料不同。

螺旋藻粉组幼参 40 d 时体质量与 SGR 较低，显著低于发酵饲料组。野生糙海参可以摄取沉积物表

层的有机物来满足自身的生长需求,对蛋白的需求并不高,螺旋藻粉中粗蛋白含量约62%,比虾料(42%)还高,因此过高的蛋白含量不仅不能被糙海参吸收利用,反而容易引起水质污染,而且单一饲料易造成幼参营养不全面,最终导致幼参生长发育缓慢。研究表明,饲料中添加一定量的螺旋藻有助于刺参的生长,可能是饲料中不同蛋白源之间营养组成上存在互补作用<sup>[16]</sup>。螺旋藻粉在其他水产动物的研究上也存在相似的结果<sup>[17,18]</sup>,说明单一投喂螺旋藻粉不如混合饲料的营养成分全面。

虾料组幼参40 d时的体质量与0—40 d的SGR也是最低的,说明虾料中的高蛋白不利于幼参的生长。在试验过程中发现在投喂虾料后,幼参有明显的贴壁行为,其原因可能是虾料中较高的有机质溶于水后易分解产生有害物质,不利于养殖水环境与底质环境。虾料的主要成分为鱼粉、豆粕、鱼油等,富含油脂类成分,糙海参为底栖潜沙生物,虾料沉降后附着在海沙表面,更易滋生细菌,给海参的潜沙行为带来一定威胁。糙海参分布于浅海海草床生态系统中,以海草脱落碎屑、有机质以及沉积物中原生动物等为食<sup>[19]</sup>,难以消化高蛋白食物,因此单一投喂虾料不利于糙海参幼参的生长。

综上所述,幼参阶段的人工配合饲料在配方上必须充分考虑幼参的食性、营养需求和对水质的影响,营养配比要合理,饲料效果要稳定。可以采用刺参配合饲料或发酵饲料,对促进幼参生长效果较好。

### 3.2 不同饲料对糙海参幼参体成分的影响

经测定,配合饲料组糙海参幼参体壁粗蛋白含量最高,而配合饲料主要原料成分有马尾藻粉、鼠尾藻粉、鱼粉、海洋酵母以及微量元素等,其营养结构较为全面,可以满足糙海参幼参的生长所需,所以幼参体壁中粗蛋白含量最高。Bao等<sup>[20]</sup>研究表明植物蛋白混合物(大豆粉、玉米麸质、马尾藻)与动物蛋白源(鱼粉)比例为3:1时,刺参的增重率最高,说明植物源与动物源混合饲料的生长效果最佳。单一投喂马尾藻粉(粗蛋白含量约7.5%)的糙海参幼参粗蛋白含量比较低,0—40 d幼参SGR为3.366%,这与刘天红等<sup>[13]</sup>使用不同植物源投喂刺参幼参的生长结果不同,其研究表明投喂马尾藻、鼠尾藻的生长效果最好,但SGR不到0.5%,说明不同参种对马尾藻的利用效率差异显著。而螺旋藻的粗蛋白含量约为62%,虾料中的粗蛋白含量为42%,过高含量的蛋白质无法被糙海参幼参直接吸收利用,利用效率低<sup>[21]</sup>,

同时也会引发水质污染,最终导致幼参体壁中粗蛋白含量较低,具体表现为虾料组幼参粗蛋白含量较高,但生长效果较差。发酵饲料组幼参粗蛋白含量偏低有可能是发酵时间过长导致营养流失,具体原因还有待进一步分析。

### 3.3 不同饲料对糙海参幼参体壁氨基酸组成影响

5个饲料组的糙海参幼参均检测出有16种氨基酸:7种必需氨基酸,7种非必需氨基酸,2种半必需氨基酸。各饲料组幼参的总氨基酸(TAA)、非必需氨基酸(NEAA)、半必需氨基酸(SEAA)和呈味氨基酸(FAA)含量上都呈现相似的变化趋势,从高到低依次是虾料组、配合饲料组、发酵饲料组、马尾藻粉组、螺旋藻粉组,发酵饲料组幼参体壁必需氨基酸(EAA)含量略高于配合饲料组但差异不显著。上述结果说明虾料、配合饲料和发酵饲料投喂下的幼参体壁氨基酸含量更丰富,在食用风味上更有优势,有较高的营养价值。虾料组幼参体壁的粗蛋白、氨基酸含量高,但其生长效果最差,因此制约糙海参幼参生长的不是饲料中的各营养成分含量,而是适口性和水质环境,饲料的适口性会通过影响幼参的摄食率进而影响其生长效果<sup>[22]</sup>。摄食不同饲料糙海参幼参体壁中氨基酸均以谷氨酸、甘氨酸和天冬氨酸的含量最高,这与室内养殖的不同月龄糙海参氨基酸组成结果一致<sup>[9]</sup>,也与刺参幼参氨基酸组成结果一致<sup>[14]</sup>。一般认为,不同饲料的蛋白源中必需氨基酸的含量和比例有所不同,在养殖中按一定比例搭配应用,不同蛋白源中必需氨基酸相互补偿,可使其更好地满足水产动物的营养需求<sup>[23]</sup>。根据糙海参的自然习性,藻类饲料对其有更好的适口性,但其营养不如动物源性饲料丰富,因此在糙海参幼参的饲料设计上应该合理搭配,以满足其生长发育的需求。

## 4 结论

本研究探讨虾料、螺旋藻粉、马尾藻粉、配合饲料和发酵饲料5种饲料对糙海参幼参生长和营养成分的影响,结果表明,投喂配合饲料的幼参可以获得最高的体质量和SGR,投喂发酵饲料的幼参次之,体壁组成中粗蛋白与氨基酸含量较高,这为糙海参幼参的养殖管理及专用营养配合饲料的开发提供了参考依据。

### 参考文献

- [1] 贾治超,于刚,秦传新,等. 热带海参繁育及增养殖研究

- 现状[J]. 广东农业科学, 2013, 40(18): 120-122.
- [2] WARGASETIA T L, RATNAWATI H, WIDODO N, et al. Antioxidant and anti-inflammatory activity of sea cucumber (*Holothuria scabra*) active compounds against KEAP1 and iNOS protein [J]. *Bioinformatics and Biology Insights*, 2023, 17: 11779322221149613.
- [3] SAIWONG S, AUTSAVAPROMPORN N, SIRIWO-HARN T, et al. Enzymatic hydrolysis optimization for preparation of sea cucumber (*Holothuria scabra*) hydrolysate with an antiproliferative effect on the HepG2 liver cancer cell line and antioxidant properties [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24(11): 9491.
- [4] 杨学明, 张立. 介绍一种热带海参养殖新品种[J]. 水产养殖, 2011, 32(12): 21-22.
- [5] 郝亚凡, 林海生, 曹文红, 等. 三种南海礁栖海参体壁营养成分分析[J]. 广东海洋大学学报, 2023, 43(2): 113-119.
- [6] BORDBAR S, ANWAR F, SAARI N. High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods: a review [J]. *Marine Drugs*, 2011, 9(10): 1761-1805.
- [7] 黄亮华, 冯鹏霏, 潘传燕, 等. 广西海参养殖现状及产业发展建议[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(1): 124-129.
- [8] 冯永勤, 翁文明, 方再光, 等. 糙海参苗种规模化繁育技术研究[J]. 水产科学, 2021, 40(5): 750-756.
- [9] 刘旭佳, 黄国强, 李坚明, 等. 室内养殖不同月龄糙海参营养成分分析[J]. 广东海洋大学学报, 2018, 38(2): 85-90.
- [10] 袁成玉. 海参饲料研究的现状与发展方向[J]. 水产科学, 2005, 24(12): 54-56.
- [11] 刘瑞卿, 何梅琳, 王长海. 微藻饵料在经济棘皮动物养殖中的应用及研究进展[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(3): 17-25.
- [12] 吕航, 崔相东, 王巧晗, 等. 不同饲料对刺参幼参的生长、耗氧和排氮的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(12): 25-29.
- [13] 刘天红, 吴志宏, 孙元芹, 等. 几种陆、海生植物源对仿刺参幼参生长指标的影响[J]. 水产科学, 2015, 34(4): 208-213.
- [14] 白伟, 吴香莹, 左然涛, 等. 饲料中添加不同海藻对刺参幼参生长、免疫、消化及营养组成的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(2): 169-176.
- [15] 吴国均, 姚国兴, 张曹进, 等. 4种不同饵料对刺参生长影响试验[J]. 水产养殖, 2013, 34(4): 1-3.
- [16] 谭肖英, 罗智, 李晓东, 等. 用螺旋藻替代鱼粉对仿刺参生长及其体组成的影响[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(6): 559-562.
- [17] 樊荟慧, 杜雪松, 文衍红, 等. 不同饲料对中华圆田螺仔螺生长及存活的影响[J]. 中国饲料, 2020(7): 86-89.
- [18] 丁子媛, 刘统昊, 刘顺, 等. 主要环境因子和混养对单环刺螠幼螠成活和生长的影响[J]. 水产学杂志, 2023, 36(1): 72-81.
- [19] 高菲, 许强, 李秀保, 等. 热带珊瑚礁区海参的生境选择与生态作用[J]. 生态学报, 2022, 42(11): 4301-4312.
- [20] BAO P, LI X, XU Y. An evaluation on the ratio of plant to animal protein in the diet of juvenile sea cucumber (*Apostichopus japonicus*): growth, nutrient digestibility and nonspecific immunity [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2018, 17(6): 1479-1486.
- [21] 王吉桥, 蒋湘辉, 赵丽娟, 等. 不同饲料蛋白源对仿刺参幼参生长的影响[J]. 饲料博览(技术版), 2007(10): 9-13.
- [22] 葛立保, 高勤峰, 董双林. 不同藻粉对刺参生长、体成分和消化酶活性的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2017(1): 80-87.
- [23] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.

## Effects of 5 Types of Feed on the Growth and Nutrient Composition of Juvenile Sea Cucumber *Holothuria scabra*

LIU Jing<sup>1</sup>, LIU Xujia<sup>2,3\*\*</sup>, LI Zhiqiao<sup>4</sup>, LAI Junxiang<sup>2</sup>, JIANG Fajun<sup>2</sup>, HU Chaoqun<sup>2</sup>

(1. Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, College of Oceanography, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi, 535011, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Offshore Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Marine Sciences (Guangxi Mangrove Research Center), Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 3. Guan-

gxi Institute of Oceanography Co. Ltd., Beihai, Guangxi, 536000, China; 4. College of Resources, Environment and Materials, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

**Abstract:** In order to explore the nutritional matching between different feeds, optimize the compound feed of tropical sea cucumber and improve the artificial breeding technology of *Holothuria scabra*, this study analyzed the effects of five feeds on the growth and nutrient composition of juvenile *H. scabra*. In this experiment, shrimp feed, *Spirulina* powder, *Sargassum* powder, compound feed and fermented feed (fermented by compound feed, *Sargassum* powder, *Clostridium butyrate*, *Rhodotorula benthica* and *Spirulina* powder in a certain proportion) were used to feed juvenile sea cucumbers [body weight ( $1.06 \pm 0.20$ ) g], respectively. The breeding cycle was 40 d. Finally, the body weight, specific growth rate (SGR) and body wall nutrient composition of juvenile sea cucumbers were determined. The results showed that at 40 d, the body weight and SGR of the juveniles in the compound feed group was the highest, followed by the fermented feed group, which were significantly higher than those in the other feed groups ( $P < 0.05$ ). The crude protein content of body wall of the juveniles in shrimp feed group and compound feed group was significantly higher than that in *Sargassum* powder group and *Spirulina* powder group ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference among the fermented feed group and the other groups ( $P > 0.05$ ). The moisture content of juvenile sea cucumber in compound feed group, fermented feed group and shrimp feed group was significantly higher than that in *Spirulina* powder group, *Sargassum* powder group and the moisture content of juvenile sea cucumber at the beginning of the experiment ( $P < 0.05$ ). The ash content of juvenile sea cucumber in the *Sargassum* powder group was significantly higher than that in the shrimp group, the compound feed group and the ash content of juvenile sea cucumber at the beginning of the experiment ( $P < 0.05$ ). The energy value of juveniles in the shrimp feed group was significantly higher than that in the other groups ( $P < 0.05$ ), and the energy value of juveniles in the *Sargassum* powder group and *Spirulina* powder group was significantly lower than that in the other groups ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference in the contents of Total Amino Acids (TAA), Essential Amino Acids (EAA), Semi-Essential Amino Acids (SEAA) and Flavor Amino Acids (FAA) among the compound feed group, the fermented feed group and the shrimp feed group ( $P > 0.05$ ), which were significantly higher than those in the *Sargassum* group and the *Spirulina* group ( $P < 0.05$ ). In summary, the growth effect of juvenile *H. scabra* fed with compound feed and fermented feed is the best, which can provide data support for the breeding management of juvenile *H. scabra* and its feed development.

**Key words:** *Holothuria scabra*; feed; growth; body wall; nutrient composition

责任编辑:陆媛峰



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkxyxb/ch>