

短蛸对不同生物饵料利用的比较

赵捷杰^{1,2}, 陈四清¹, 常青¹, 徐大风^{1,2}, 李凤辉^{1,2}, 张鹏飞^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 为比较短蛸(*Octopus ocellatus*)对不同生物饵料的利用效果, 以南美白对虾、肉球近方蟹、菲律宾蛤仔和玉筋鱼四种饵料进行了饲喂实验。结果表明: 1) 肉球近方蟹组短蛸增重率显著高于其他各组($P<0.05$), 南美白对虾组脏体比显著高于玉筋鱼组($P<0.05$), 各饵料组肝体比无显著差异; 2) 南美白对虾组和肉球近方蟹组短蛸肌肉的蛋白质含量显著高于菲律宾蛤仔组和玉筋鱼组($P<0.05$), 肉球近方蟹组脂肪含量显著高于其余各组($P<0.05$), 玉筋鱼组灰分含量显著低于其他各组($P<0.05$); 3) 南美白对虾组短蛸肝胰腺谷丙转氨酶活性显著高于其余各组($P<0.05$), 肉球近方蟹组谷草转氨酶活性显著高于其余各组($P<0.05$), 玉筋鱼组谷氨酸脱氢酶活性显著低于其余各组($P<0.05$), 菲律宾蛤仔组酸性磷酸酶活性显著高于其余各组($P<0.05$), 玉筋鱼组胃蛋白酶活性显著高于其他各组($P<0.05$)。综上, 投喂肉球近方蟹可以显著提高短蛸的增重率; 不同饵料对短蛸肌肉的蛋白质、脂肪和灰分含量有影响, 对其肝胰腺功能和胃蛋白酶活性也有显著影响。

关键词: 短蛸; 生物饵料; 生长性能; 肌肉组成; 酶活性

中图分类号: S96 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2020)09-0083-08

DOI: 10.11759/hyxx20200430001

头足类是重要的海洋经济种类, 近年来由于渔获量下降, 人工养殖头足类的重要性日益显著^[1]。蛸类因其营养价值高、适口性好、需求量大等特点, 近年来受到越来越多的关注。目前, 由于蛸类幼体的繁育技术尚未达到产业化, 饲养个体主要依赖天然资源^[2-3]。因此, 为了实现可持续的商业化养殖, 应采取有效的饲养方案, 并探讨蛸类的生长和营养价值。除蛸类浮游幼体阶段的高死亡率外, 人工饲料的开发也是蛸类商业化养殖亟待突破的瓶颈^[4-5]。用人工饲料饲喂蛸类的研究已有报道, 但与饲喂天然饵料相比, 饲喂人工饲料的头足类其生长性能差, 这可能是由于人工饲料的适口性低或营养不均衡, 尚不能满足蛸类的营养需求^[6-8]。

短蛸(*Octopus ocellatus*)隶属于软体动物门、头足纲、八腕目、蛸科。它肉质鲜美, 生长快, 经济价值高, 生命周期通常为1年, 是开展人工养殖的优良品种^[9]。但目前仍未有满足要求的人工饲料用于短蛸, 而天然饵料具有更大的生产潜力。短蛸喜食鲜活饵料, 主要是甲壳类动物、软体动物或鱼类等, 也可摄食蟹、鱼的尸体等^[10]。适口和廉价的饵料是商业水产养殖成功的基本要求^[4]。故而, 在研制出可被短蛸接受的人工饲料之前, 寻求能使短蛸生长快、营养价

值高的饵料, 是获得高质量、低成本产品可行有效的办法。

本实验以4种生物饵料分别饲喂短蛸, 探究不同饵料对其生长性能、肌肉成分和酶活性的影响, 期为短蛸的规模化生产以及饵料饲料的应用开发提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验在烟台市水产研究所科研中试基地进行, 挑选120只体格健壮、规格一致、平均体质量为(8.2±1.49)g的短蛸作为实验材料。实验用4种生物饵料为南美白对虾(*Penaeus vannamei*)、肉球近方蟹(*Hemigrapsus sanguineus*)、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)和玉筋鱼(*Ammodytes personatus*), 均购自附近水产市场。

收稿日期: 2020-04-30; 修回日期: 2020-04-30

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-49)

[Foundation: Supported by the earmarked fund for Modern Agroindustry Technology Research System, No. CARS-49]

作者简介: 赵捷杰(1993-), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要从事水产动物营养与饲料的研究, 电话: 13949054307, E-mail: 13949054307@163.com; 常青, 通信作者, 研究员, 硕士生导师, E-mail: changqing@ysfri.ac.cn

1.2 实验方法

将 120 只实验用短蛸随机分配到 12 个上口径 74 cm×下口径 59 cm×高 72 cm 的塑料水桶内, 以直径 50 mm 的 PVC 三通作为遮蔽物, 每种饵料设定 3 个重复组, 每组 10 只。实验开始前混合投喂菲律宾蛤仔和肉球近方蟹暂养 1 周。养殖期间, 水温控制在 20~22℃, 盐度为 30~33, 光照强度为 800~1 000 lx。实验周期 30 d, 每日于 08:30 换水 1 次, 17:00 饱食投喂 1 次, 南美白对虾和玉筋鱼投喂时解冻, 肉球近方蟹和菲律宾蛤仔鲜活投喂, 次日 8:00 清除残饵。

1.3 样品收集与分析

实验结束后, 采样前将实验短蛸饥饿 24 h, 对每组短蛸进行称重, 以计算增重率(weight gain rate, WGR)。每组随机取 3 只短蛸, 以 37.5 g/L 的 MgCl·6H₂O 麻醉, 解剖取内脏团和肝胰腺并称量, 以计算脏体比(viscerosomatic index, VSI)和肝体比(heptosomatic index, HSI)。分离的肝胰腺用于谷丙转氨酶(glutamic-pyruvictransaminase, GPT)、谷草转氨酶(glutamic-oxaloacetic transaminase, GOT)、谷氨酸脱氢酶(glutamate dehydrogenase, GDH)和酸性磷酸酶(acid phosphatase, ACP)活性的测定。分离的胃用于测定胃蛋白酶(pepsin)活性。取腕部肌肉 105℃烘至恒重, 测得水分含量^[11]; 采用凯氏定氮法测得粗蛋白质含量^[12]; 采用脂肪测定仪测得粗脂肪含量^[13]; 将肌肉样品在电炉上炭化至无烟后置于马弗炉 550℃灼烧完全测得粗灰分含量^[14]。肝胰腺中 GPT、GOT、GDH 和 ACP 活性以及胃中的胃蛋白酶活性采用南

京建成生物工程研究所提供的试剂盒进行测定。

1.4 数据分析

用 SPSS20.0 软件进行数据分析, 以平均值±标准误(mean±SE)表示。显著性检验采用单因素方差分析(one way ANOVA), 并采用 Duncan 多重比较检验, $P<0.05$ 为差异显著。

短蛸成活率、增重率、肝体比和脏体比按如下公式计算:

成活率(survival rate, SR, %)=100×实验期末鱼体总数/实验期初鱼体总数,

增重率(weight gain rate, WGR, %)=100×(期末平均体重-期初平均体重)/期初平均体重,

肝体比(heptosomatic index, HSI, %)=100×肝胰腺重/实验期末体重,

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %)=100×内脏重/实验期末体重。

2 结果

2.1 不同饵料对短蛸生长性能的影响

不同饵料对短蛸生长性能的影响见表 1。四种饵料在实验期间对短蛸的成活率无影响。肉球近方蟹组的增重率最高, 显著高于其他各组($P<0.05$)。南美白对虾组脏体比最高, 显著高于玉筋鱼组($P<0.05$), 但与肉球近方蟹组和菲律宾蛤仔组的脏体比无显著差异($P<0.05$); 肉球近方蟹组、菲律宾蛤仔组和玉筋鱼组的脏体比无显著差异($P<0.05$)。各饵料组短蛸的肝体比无显著差异($P<0.05$)。

表 1 不同饵料对短蛸生长性能的影响

Tab. 1 Effects of different diets on the growth performance of *O. ocellatus*

| 项目/% | 组别 | | | |
|---------|----------------------------------|--|---|------------------------------------|
| | 南美白对虾 <i>Penaeus vannamei</i> | 肉球近方蟹 <i>Hemigrapsus sanguineus</i> | 菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i> | 玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i> |
| 成活率 SR | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 增重率 WGR | 27.2±1.51 ^a | 70.38±3.03 ^c | 39.79±1.89 ^b | 22.16±1.88 ^a |
| 脏体比 VSI | 12.23±1.79 ^b | 11.05±0.51 ^{ab} | 9.72±0.12 ^{ab} | 8.63±0.22 ^a |
| 肝体比 HSI | 9.07±1.50 | 8.28±0.24 | 7.12±0.04 | 6.61±0.29 |

注: 表中同行不同上标字母表示差异显著($P<0.05$)

2.2 不同饵料对短蛸肌肉营养组成的影响

短蛸腕部肌肉的营养组成结果见表 2。短蛸肌肉的水分含量为 78.46%~79.63%, 各组间无显著差异。各组饵料对短蛸肌肉中蛋白质和脂肪含量具有显著

影响($P<0.05$), 肌肉的蛋白质和脂肪含量分别为 70.68%~72.58%和 2.04%~2.39%。南美白对虾组和肉球近方蟹组蛋白含量无显著差异($P<0.05$), 显著高于菲律宾蛤仔组和玉筋鱼组蛋白含量($P<0.05$); 肉球近

方蟹组肌肉的脂肪含量最高, 显著高于其余各组 ($P<0.05$)。肌肉的灰分含量为 8.07%~9.12%, 南美白对

虾组、肉球近方蟹组和菲律宾蛤仔组肌肉中灰分含量无显著差异 ($P<0.05$), 但显著高于玉筋鱼组 ($P<0.05$)。

表 2 不同饵料对短蛸肌肉一般营养成分的影响

Tab. 2 Effects of different diets on the general nutritional components of *O. ocellatus* muscle

| 项目/% | 组别 | | | |
|----------|----------------------------------|--|---|------------------------------------|
| | 南美白对虾 <i>Penaeus vannamei</i> | 肉球近方蟹 <i>Hemigrapsus sanguineus</i> | 菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i> | 玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i> |
| 水分 | 78.46±0.17 | 79.63±0.41 | 79.42±0.35 | 78.55±0.59 |
| 粗蛋白(干物质) | 77.58±0.23 ^b | 77.26±0.11 ^b | 76.29±0.15 ^a | 75.68±0.33 ^a |
| 粗脂肪(干物质) | 2.04±0.08 ^a | 2.39±0.02 ^b | 2.15±0.02 ^a | 2.16±0.04 ^a |
| 灰分(干物质) | 8.94±0.12 ^b | 9.09±0.09 ^b | 9.12±0.16 ^b | 8.07±0.20 ^a |

注: 表中同行不同上标字母表示差异显著 ($P<0.05$)

2.3 不同饵料对短蛸酶活性的影响

不同饵料对短蛸酶活性的影响见表 3。南美白对虾组的 GPT 活性显著高于其余各组 ($P<0.05$), 菲律宾蛤仔组和玉筋鱼组的 GPT 活性无显著性差异 ($P<0.05$), 且显著高于肉球近方蟹组 ($P<0.05$)。肉球近方蟹组的 GOT 活性显著高于其余各组 ($P<0.05$), 菲律宾蛤仔组 GOT 活性显著高于南美白对虾组和玉筋鱼组, 南美白对虾组 GOT 活性最低, 显著低于玉

筋鱼组。南美白对虾组、肉球近方蟹组和菲律宾蛤仔组的 GDH 活性无显著性差异 ($P<0.05$), 且显著高于玉筋鱼组 ($P<0.05$)。菲律宾蛤仔组的 ACP 活性最高, 显著高于其余各组 ($P<0.05$), 肉球近方蟹组和玉筋鱼组的 ACP 活性无显著差异 ($P<0.05$), 且显著高于南美白对虾组 ($P<0.05$)。不同饵料组的胃蛋白酶活性均有显著性差异, 其中玉筋鱼组的胃蛋白酶活性显著高于其余各组 ($P<0.05$)。

表 3 不同天然饵料对短蛸酶活性的影响

Tab. 3 Effects of different diets on the enzymatic activity of *O. ocellatus*

| 项目 | 组别 | | | |
|---------------------------|----------------------------------|--|---|------------------------------------|
| | 南美白对虾 <i>Penaeus vannamei</i> | 肉球近方蟹 <i>Hemigrapsus sanguineus</i> | 菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i> | 玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i> |
| 谷丙转氨酶 GPT/(U/gprot) | 30.48±1.38 ^c | 8.72±0.58 ^a | 20.63±1.12 ^b | 22.03±1.24 ^b |
| 谷草转氨酶 GOT/ (U/gprot) | 3.39±0.28 ^a | 18.40±0.39 ^d | 16.22±0.45 ^c | 6.00±0.27 ^b |
| 谷氨酸脱氢酶 GDH/(U/gprot) | 6.36±0.40 ^b | 7.20±0.46 ^b | 6.49±0.51 ^b | 4.78±0.37 ^a |
| 酸性磷酸酶 ACP/(金氏单位/gprot) | 23.57±0.75 ^a | 43.82±2.80 ^b | 71.26±4.72 ^c | 41.71±1.07 ^b |
| 胃蛋白酶 Pepsin(U/mg) | 0.27±0.02 ^b | 0.06±0.01 ^a | 0.60±0.06 ^c | 0.72±0.04 ^d |

注: 表中同行不同上标字母表示差异显著 ($P<0.05$)

3 讨论

3.1 不同饵料对短蛸生长性能的影响

饵料的蛋白质水平影响特定生长率, 从而影响

增重率, 当饵料中的蛋白质接近水生动物所需的理想水平时, 动物的日增重最高, 蛋白质的沉积量最大^[15]。蛸类以蛋白质为主要的能量来源, 对脂类的消化率很低, 有研究表明当饵料脂肪含量较高时, 真

蛸生长较慢^[4]。García 等^[2]研究了不同饲料对真蛸生长和营养利用的影响,结果表明饲喂低蛋白质高脂肪饲料的真蛸生长较差。以东方对虾、三疣梭子蟹、菲律宾帘蛤和玉筋鱼的蛋白质含量为参照,其含量分别为 18.6%、15.9%、7.5%和 17.2%^[16]。本实验肉球近方蟹组短蛸的增重率最高,其原因可能是菲律宾帘蛤仔蛋白质含量低,故增重率较低;而南美白对虾和玉筋鱼的蛋白质含量虽然高于肉球近方蟹,但可能超出了短蛸的生长需求,故也不能很好的促进生长。这与徐云等^[17]对三疣梭子蟹及汪元等^[18]对拟目乌贼的研究结果基本一致。王鹏帅等^[19]也指出饲料中蛋白质水平对乌贼生长有显著性影响。

头足类喜食甲壳类动物,与以鱼类为食相比,以甲壳类动物为食增长更快^[20-21]。蛸类养殖中常以鲜活的虾蟹、贝类等为饵料,在长蛸养殖中,诱食性为蟹类>贝类>小杂鱼,短蛸喜食蟹类和小型贝类^[22-23]。本实验肉球近方蟹组短蛸的增重率显著高于南美白对虾组、菲律宾帘蛤仔组及玉筋鱼组。这与 Cagnetta 等^[24]的研究结果一致,即蛸类对蟹类的摄食量显著大于鱼类,以蟹类为食表现出最佳生长和增重。Rosas 等^[9]研究结果也表明,与高脂干颗粒饲料相比,用冷冻蟹类饲喂玛雅蛸 (*Octopus maya*) 获得了较高的生长速率。在自然条件下生存的真蛸群体中,其饵料组成中蟹类占 62%~80%,而鱼类只占 12%~30%,在人工养殖条件下,相比较鱼类,蛸类也更偏食甲壳类动物^[25-26]。Cerezo 等^[7]也指出生长不仅与饵料的营养特性有关,而且还与对饵料的偏好有关。

3.2 不同饵料对短蛸肌肉营养组成的影响

短蛸是典型的肉食性软体动物,蛋白质和脂肪的含量是评价动物体营养价值的重要依据^[15, 27]。本研究中,各组对短蛸的蛋白质和脂肪含量有显著影响,这可能与实验所用四种饵料在蛋白质和脂肪含量上的差异有关。适宜的蛋白质水平能促进水生动物蛋白质的合成,抑制脂肪蓄积,但当饲料蛋白质水平过低或过高时,都会影响水生动物的体脂沉积^[18]。据王光亚^[16]报道,东方对虾、玉筋鱼、三疣梭子蟹和菲律宾帘蛤的蛋白质含量顺序为,东方对虾>玉筋鱼>三疣梭子蟹>菲律宾帘蛤(18.6%>17.2%>15.9%>7.5%),脂肪含量为东方对虾<菲律宾帘蛤<三疣梭子蟹<玉筋鱼(0.8%<2.2%<3.1%<5.6%),因此与蛤蜊和鱼相比,虾蟹是典型的高蛋白质低脂肪饵料。南美白对虾组和肉球近方蟹组短蛸的蛋白质含量显著高于

菲律宾帘蛤仔和玉筋鱼组,而肉球近方蟹组短蛸的脂肪含量显著高于其余各组,这可能是因为南美白对虾和肉球近方蟹均能满足短蛸对蛋白质的营养需求,有利于促进短蛸蛋白质的合成;但南美白对虾的脂肪含量低于肉球近方蟹,因此肉球近方蟹组短蛸的脂肪含量高。这与李正等^[28]关于不同饵料对曼氏无针乌贼幼体成分影响的研究相一致。汪元等^[18]研究也表明,拟目乌贼肌肉粗蛋白质和粗脂肪含量受饲料蛋白质水平影响显著,过低和过高的饲料蛋白质水平均会导致拟目乌贼肌肉脂肪含量的升高。王鹏帅等^[19]也指出饲料蛋白质含量可以影响乌贼肌肉蛋白质含量,而蛋白质水平对其脂肪含量的影响,不同物种表现不同。

3.3 不同饵料对短蛸酶活性的影响

蛋白质代谢以氨基酸为核心,饲料或饵料中的蛋白质都要降解为氨基酸才能被机体利用,GPT 和 GOT 主要存在于肝脏中,其活性与氨基酸代谢强弱有着密切联系,是反映肝脏功能正常与否的重要指标^[18, 29-30]。当肝细胞受到损伤时,GPT 和 GOT 会从肝细胞中释放出来,进入血液,使肝组织中的酶活性下降^[18]。本实验不同饵料对短蛸肝胰腺的 GPT 和 GOT 活性有显著影响。南美白对虾组短蛸的 GPT 活性显著高于其余各组,这可能与饵料的蛋白质水平有关,南美白对虾蛋白质含量高于肉球近方蟹,可以提高 GPT 活性。汪元等^[18]研究表明,随着饲料蛋白质水平增加,乌贼肝脏中 GPT 含量先上升后稳定。肉球近方蟹组的 GOT 活性最高,而南美白对虾组 GOT 活性最低,这可能是因为南美白对虾中蛋白质含量超过了短蛸的需要量,过剩的蛋白质经消化吸收分解为氨基酸,氨基酸经过脱氨基作用,不含氮部分进一步合成脂肪,并在肝胰腺中积累进而造成损伤,导致肝胰腺中的 GOT 出现外溢现象,使得 GOT 含量降低^[18, 30]。GDH 是动物体内最重要的脱氢酶,是非必需氨基酸合成的关键酶,其活性与蛋白质的合成与分解有密切关系^[29-30]。本实验玉筋鱼组短蛸 GDH 活性显著低于其他各组,表明与其他三种饵料相比,投喂玉筋鱼对短蛸蛋白质代谢的影响更为显著。ACP 由肝脏产生,是软体动物溶酶体酶的重要组分,在体内直接参与磷酸基团的转移和代谢,作为代谢调控酶在免疫反应中发挥重要作用^[18]。菲律宾帘蛤仔组短蛸的 ACP 活性显著高于其余各组,这与 Rosa 等^[9]实验 4 的研究结果一致,即饲喂蛤蜊的

玛雅蛸(*Octopus maya*)体内有较高的 ACP 活性, 饲喂鲜蟹肉的含量较低。

胃蛋白酶是关系到水生动物蛋白质消化吸收的主要消化酶, 其活性与饵料种类及饵料中营养成分的种类和含量有密切关系^[18, 31]。玉筋鱼组的胃蛋白酶活性最高, 这可能是因为与其他饵料相比玉筋鱼的蛋白含量较高, 刺激了短蛸的胃蛋白酶分泌。杨奇慧等^[32]也指出, 胃蛋白酶活性在不同的试验条件下变化较大。研究表明, 水生动物会根据饲料的不同营养水平, 来调节蛋白酶的分泌, 且蛋白酶活性的变化与饵料的蛋白质含量有关^[18, 33-34]。Rosas 等^[35]表明玛雅蛸具有调节消化酶以适应不同的饵料和蛋白质水平的能力, 这与蛸类的生长机制密切相关, 也取决于饵料是否满足其营养需求。苟妮娜等^[36]研究不同蛋白质水平的饲料对凡纳滨对虾蛋白酶的影响, 结果表明胃蛋白酶活性对蛋白含量的变化较为敏感。

4 结论

本研究发现投喂肉球近方蟹可以显著提高短蛸的增重率; 不同饵料对短蛸肌肉的蛋白质、脂肪和灰分含量有影响, 对其肝胰腺功能和胃蛋白酶活性也有显著影响。

参考文献:

- [1] Sykes A V, Domingues P M, Loyd M, et al. The influence of culture density and enriched environments on the first stage culture of young cuttlefish, *Sepia officinalis* (Linnaeus, 1758)[J]. *Aquaculture International*, 2003, 11(6): 531-544.
- [2] García B G, Giménez F A. Influence of diet on on-growing and nutrient utilization in the common Octopus (*Octopus vulgaris*)[J]. *Aquaculture*, 2002, 211(1-4): 171-182.
- [3] Iglesias J, Sánchez F J, Otero J J, et al. Culture of octopus (*Octopus vulgaris*, Cuvier): present knowledge, problems and perspectives[J]. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 2000: 313-321.
- [4] Domingues P, Garcia S, Hachero-cruzado I, et al. The use of alternative prey (crayfish, *procambarus clarki*, and hake, *merluccius gayi*) to culture *Octopus vulgaris* (cuvier 1797)[J]. *Aquaculture International*, 2010, 18(3): 487-499.
- [5] Iglesias J, Sanchez F J, Jgf B, et al. Rearing of *Octopus vulgaris* paralarvae: present status, bottlenecks and trends[J]. *Aquaculture*, 2007, 266(1): 1-15.
- [6] Aguila J, Cuzon G, Pascual C, et al. The effects of fish hydrolysate (CPSP) level on *Octopus maya* (Vossand Solis) diet: digestive enzyme activity, blood metabolites, and energy balance[J]. *Aquaculture*, 2007, 273: 641-655.
- [7] Cerezo J, Hernández M D, Aguado F et al. Growth, feed efficiency and condition of common octopus (*Octopus vulgaris*) fed on two formulated moist diets[J]. *Aquaculture*, 2008, 275: 266-273.
- [8] Domingues P M, Bettencourt V, Guerra A. Growth of *Sepia officinalis* in captivity and in nature[J]. *Vie Et Milieu*, 2006, 56(2): 109-120.
- [9] Rosas C, Valero A, Caamal-Monsreal C, et al. Effects of dietary protein sources on growth, survival and digestive capacity of *Octopus maya* juveniles (Mollusca: Cephalopoda)[J]. *Aquaculture Research*, 2013, 44(7): 1029-1044.
- [10] Rodhouse P G, Nigmatullin C M. Role as Consumers[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Biological Sciences*, 1996, 351(1343): 1003-1022.
- [11] 全国卫生标准技术委员会食品卫生标准分委员会. 食品中水分的测定方法: GB/T 5009.3[S]. 中国: 中华人民共和国卫生部, 1985.
Subcommittee on Food Hygiene Standards of the National Technical Committee on Health Standards. Method for determination of moisture in foods: GB/T 5009.3[S]. Ministry of Health, 1985.
- [12] 全国卫生标准技术委员会食品卫生标准分委员会. 食品中蛋白质的测定方法: GB/T 5009.5[S]. 中国: 中华人民共和国卫生部, 1985.
Subcommittee on Food Hygiene Standards of the National Technical Committee on Health Standards. Method for determination of protein in foods: GB/T 5009.5[S]. Ministry of Health, 1985.
- [13] 全国卫生标准技术委员会食品卫生标准分委员会. 食品中脂肪的测定方法: GB/T 5009.6[S]. 中国: 中华人民共和国卫生部, 2016.
Subcommittee on Food Hygiene Standards of the National Technical Committee on Health Standards. Method for determination of lipid in foods: GB/T 5009.6[S]. Ministry of Health, 2016.
- [14] 全国卫生标准技术委员会食品卫生标准分委员会. 食品中灰分的测定方法: GB/T 5009.4[S]. 中国: 中华人民共和国卫生部, 1985.
Subcommittee on Food Hygiene Standards of the National Technical Committee on Health Standards. Method for determination of ash in foods: GB/T 5009.4[S]. Ministry of Health, 1985.
- [15] 陈军, 邹鹏, 王煜恒, 等. 不同饵料对大鲈稚体生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(10): 3726-3736.
Chen Jun, Zou Peng, Wang Yuheng, et al. Effects of different diets on growth performance, body composition

- tion and digestive enzyme activities of juvenile chinese giant salamander (*andrias davidia*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29(10): 3726-3736.
- [16] 王光亚. 中国预防医学科学院与食品卫生研究所. 食物成分表(全国代表值)[M]. 北京: 北京人民卫生出版社, 1991: 40-44.
Wang Guangya. Chinese Academy of Preventive Medicine and Institute of Food Hygiene. Food Composition Table (National Representative Value)[M]. Beijing: Beijing People's Medical Publishing House, 1991: 40-44.
- [17] 徐云, 马牲. 不同饵料对三疣梭子蟹生长和能量收支的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009(S1): 353-358.
Xu Yun, Ma Shen. Effects of different diets on the growth and bioenergetics of swimming crab *portunus trituberculatus*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009(S1): 353-358.
- [18] 汪元, 蒋霞敏, 乐可鑫, 等. 饲料蛋白质水平对拟目乌贼生长前期的生长性能、肌肉成分和酶活的影响[J]. 海洋科学, 2016, 40(3): 87-94.
Wang Yuan, Jiang Xiamin, Le Kexin, et al. Effects of dietary protein level on growth, muscle composition, and enzyme activity of *Sepia lycidas* during early growth period[J]. Marine Sciences, 2016, 40(3): 87-94.
- [19] 王鹏帅, 徐军超, 蒋霞敏, 等. 饲料蛋白质水平对日本无针乌贼生长性能和肌肉营养成分的影响[J]. 宁波大学学报(理工版), 2016, (1): 1-6.
Wang Pengshuai, Xu Junchao, Jiang Xiamin, et al. Effects of dietary protein levels on growth performance and main composition of muscle in *Sepiella japonica*[J]. Journal of Ningbo University(Natural Science & Engineering), 2016, (1): 1-6.
- [20] Domingues P, Poirier R, Dickel L, et al. Effects of culture density and live prey on growth and survival of juvenile cuttlefish, *Sepia officinalis*[J]. Aquaculture International, 2003, 11(3): 225-242.
- [21] Domingues P, Sykes A, Sommerfield A, et al. Growth and survival of cuttlefish, *Sepia officinalis* (Linnaeus, 1758) of different ages fed crustaceans and fish. Effects of frozen and live prey[J]. Aquaculture, 2004, 229(1-4): 239-254.
- [22] 邵楚, 王亚, 王春琳. 3种饵料对暂养长蛸生长的影响[J]. 水产科学, 2011, 30(3): 140-143.
Shao Chu, Wang Ya, Wang Chunlin. Effects of different diets on growth of *Octopus Octopus variabilis*[J]. Fisheries Science, 2011, 30(3): 140-143.
- [23] 朱文博, 孙玉忠, 赵宏远, 等. 不同饵料对短蛸生长的影响[J]. 水产科学, 2016, 35(5): 573-577.
Zhu Wenbo, Sun Yuzhong, Zhao Hongyuan, et al. Effects of different diets on growth of shot arm octopus *Octopus ocellatus*[J]. Fisheries Science, 2016, 35(5): 573-577.
- [24] Cagnetta P, Sublimi A. Productive performance of the common octopus (*Octopus vulgaris* C) when fed on a monodiet[J]. Cahiers Options Méditerranéennes, 2000, 47: 331-336.
- [25] García B G, Valverde J C. Optimal proportions of crabs and fish in diet for common octopus (*Octopus vulgaris*) on growing[J]. Aquaculture, 2006, 253(1): 502-511.
- [26] Guerra A. Sobre la alimentacion y el comportamiento alimentario de *Octopus vulgaris*[J]. Consejo Superior De Investigaciones Científicas, 1978, 42: 351-364.
- [27] 叶坤, 王秋荣, 席峰, 等. 饲料蛋白质水平对曼氏无针乌贼生长性能和饲料利用率的影响[J]. 集美大学学报(自然版), 2012, 17(4): 247-252.
Ye Kun, Wang Qiurong, Xi Feng, et al. Effects of the dietary protein levels on the growth and feed utilization of *Sepiella maindroni*[J]. Journal of Jimei University(Natural Science), 2012, 17(4): 247-252.
- [28] 李正, 蒋霞敏, 王春琳. 饵料对曼氏无针乌贼幼体生长、成活率及营养成分的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2007, 22(6): 436-441.
Li Zheng, Jiang Xiamin, Wang Chunlin. Effects of diets on growth, survival and nutrient composition of cuttlefish *Sepiella maindroni*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2007, 22(6): 436-441.
- [29] 严俊丽, 陈四清, 常青, 等. 南极磷虾粉替代鱼粉对圆斑星鲽幼鱼生长性能、血清和肝脏生化指标及血清非特异性免疫指标的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(11): 3503-3510.
Yan Junli, Chen Siqing, Chang Qing, et al. Effects of antarctic krill meal replacing fish meal on growth performance, serum and liver biochemical indices and serum non-specific immune indices of juvenile *Spotted Halibut* (*Verasper variegatus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(11): 3503-3510.
- [30] Cai Z, Li W, Mai K, et al. Effects of dietary size-fractionated fish hydrolysates on growth, activities of digestive enzymes and aminotransferases and expression of some protein metabolism related genes in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) larvae[J]. Aquaculture, 2015, 440: 40-47.
- [31] 黄瑾, 熊邦喜, 陈洁, 等. 鱼类消化酶活性及其影响因素的研究进展[J]. 湖南农业科学, 2011, (5): 129-131.
Huang Jin, Xiong Bangxi, Chen Jie, et al. Research advances in digestive enzyme of fish and its influencing factors[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2011, (5): 129-131.
- [32] 杨奇慧, 周歧存, 马丽莎, 等. 凡纳滨对虾幼体胃蛋白酶和类胰蛋白酶活力的研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(5): 6-9.

- Yang Qihui, Zhou Qicun, Ma Lisha, et al. Pepsin and trypsin-like enzyme activities in larvae of *Litopenaeus vannamei* Boone[J]. *Marine Sciences*, 2005, 29(5): 6-9.
- [33] 陈晓明, 华雪铭, 朱伟星, 等. 大豆抗原蛋白对南美白对虾生长、消化及非特异性免疫的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(7): 2115-2127.
- Chen Xiaoming, Hua Xueming, Zhu Weixing, et al. Effects of soybean allergic proteins on growth, digestion and non-specific immune of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(7): 2115-2127.
- [34] 靳立兵, 张林林, 李荣华, 等. 不同饵料对管角螺生长、肝脏消化酶活性及软体部营养成分的影响[J]. *海洋科学*, 2013, 37(6): 66-72.
- Jin Libing, Zhang Linlin, Li Ronghua, et al. Effect of different diets on growth, digestive enzymes activities in liver and nutritional composition in visceral mass of *Hemifusus tuba Gmelin*[J]. *Marine Sciences*, 2013, 37(6): 66-72.
- [35] Rosas C, Sánchez A, Pascual C, et al. Effects of two dietary protein levels on energy balance and digestive capacity of *Octopus maya*[J]. *Aquaculture International*, 2011, 19(1): 165-180.
- [36] 苟妮娜, 王开锋. 两种盐度下饲料蛋白水平对凡纳滨对虾消化酶活力的比较研究[J]. *基因组学与应用生物学*, 2017, (8): 3229-3236.
- Gou Nina, Wang Kaifeng. Comparison study on the activity of digestive enzymes in *Litopenaeus vannamei* under two different salinities of dietary[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2017, (8): 3229-3236.

A comparative study of the influence of different natural diets on the growth and biochemical composition of *Octopus ocellatus* (Mollusca: Cephalopoda)

ZHAO Jie-jie^{1,2}, CHEN Si-qing¹, CHANG Qing¹, XU Da-feng^{1,2},
LI Feng-hui^{1,2}, ZHANG Peng-fei^{1,2}

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Received: Apr. 30, 2020

Key words: *Octopus ocellatus*; biological diet; growth performance; muscle composition; enzymatic activity

Abstract: The influence of diet on the growth, muscle composition, and enzymatic activity of *Octopus ocellatus* was investigated. In the 30-day feeding trial, four experimental dietary groups of *O. ocellatus* with initial body weight of (58.2±1.49) g were established. Group I was fed *Penaeus vannamei*, group II was fed *Hemigrapsus sanguineus*, group III was fed *Ruditapes philippinarum*, and group IV was fed *Ammodytes personatus*. Each diet was supplied thrice a day to the four *O. ocellatus* dietary groups that comprised 10 octopuses each. The results showed that the growth rate of *O. ocellatus* in the *H. sanguineus* group was significantly higher than that in other groups ($P<0.05$), and the viscerosomatic index in the *P. vannamei* group was significantly higher than that in the *A. personatus* group ($P<0.05$). The feeding regimen had no significant effect on the hepatosomatic index among the dietary groups. Significantly higher levels of crude protein were observed in the muscle of *O. ocellatus* in groups fed on *P. vannamei* and *H. sanguineus* as compared to those fed on *R. philippinarum* and *A. personatus* ($P<0.05$). The crude lipid content in the *O. ocellatus* muscle was significantly higher in the *H. sanguineus* dietary group as compared to the others ($P<0.05$). The results showed that the activities of glutamic pyruvictansaminase in the hepatopancreas of the dietary group fed with *P. vannamei* were significantly higher compared to that in the other groups ($P<0.05$). The activity of glutamic-oxaloacetic transaminase of the hepatopancreas was significantly higher in the *H. sanguineus* dietary group as compared to that in the other groups ($P<0.05$). The activity of glutamate dehydrogenase in the hepatopancreas was not significantly different in the *P. vannamei*, *H. sanguineus*, and *R. philippinarum* dietary groups ($P>0.05$); however, the activity levels in these three groups were significantly higher than that observed in the *A. personatus* dietary group ($P<0.05$). The acid phosphatase activity in the *R. philippinarum* dietary group was significantly higher than that in the other groups ($P<0.05$). Pepsin activity was significantly lower in the *H. sanguineus* dietary group than in the other groups ($P<0.05$). In conclusion, the results of this study reveal that a diet of *H. sanguineus* significantly increases the growth rate of *O. ocellatus*. Different diets had significantly varied effects on the muscle protein, lipid, and ash content, hepatopancreas function, and pepsin activity in *O. ocellatus*.

(本文编辑: 杨 悦)