

不同饵料对两种帘蛤科贝类生长性能的影响研究

冯森磊, 梁夏菲, 徐 眯, 严维鑫, 葛红星, 董志国

(江苏海洋大学 江苏省海洋生物技术重点建设实验室, 江苏 连云港 222005)

摘要: 为探讨不同饵料对青蛤(*Cyclina sinensis*)与文蛤(*Meretrix meretrix*)生长和存活的影响, 本实验选用紫菜(*Pyropia*)、浒苔(*Enteromorpha prolifera*)、海带(*Laminaria japonica*)、小球藻(*Chlorella vulgaris*)和人工配合饲料5种饵料, 采用单一饵料投喂方式进行饲养。结果表明: 小球藻组中特定生长率、存活率及饲料转换率与各饵料组均有显著性差异($P<0.05$), 青蛤的增质量率显著低于紫菜组、海带组及人工配合饲料组($P>0.05$)。在人工配合饲料组中青蛤与文蛤的特定生长率与各饵料组均有显著性差异($P<0.05$), 青蛤的增质量率与各饵料组无显著性差异($P>0.05$), 文蛤的增质量率显著高于紫菜组、浒苔组及人工配合饲料组($P<0.05$)。在3组大型藻中, 海带组中青蛤的特定生长率为0.07%, 增质量率为4.59%, 饵料转换率为7.09%, 存活率为74%; 文蛤的特定生长率0.13%, 增质量率为8.36%, 饵料转换率为1.41%, 存活率为55.6%。综上, 小球藻和人工配合饲料有利于青蛤和文蛤的生长, 在3组大型藻中, 投喂海带有利于文蛤和青蛤的生长和存活。

关键词: 青蛤(*Cyclina sinensis*); 文蛤(*Meretrix meretrix*); 大型海藻; 生长性能; 饵料转换率

中图分类号: S968.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2021)12-0047-08

DOI: 10.11759/hykw20210220002

滤食性贝类是水产养殖的重要组成部分, 具有生长速度快、抗逆能力强等优点, 是重要的养殖品种, 而帘蛤科贝类养殖业在国内外有着悠久的历史^[1]。青蛤(*Cyclina sinensis*)和文蛤(*Meretrix meretrix*)隶属双壳纲(Bivalvia)、帘蛤目(Veneroida)、帘蛤科(Veneridae), 广泛分布于西太平洋(中国、朝鲜半岛、日本和东南亚)和印度洋(亚丁湾和阿曼湾)海域^[2], 因其味道鲜美, 营养丰富, 深受人们的喜爱^[3-4]。

近年来, 贝类在沿海地区的养殖比例逐年增加, 已经发展成为海水养殖中的支柱产业^[5]。青蛤和文蛤属于滤食性贝类, 对饵料没有严格的选择性^[6-7], 通常以微小的浮游(或底栖)藻类为食, 间或摄食一些原生动物、无脊椎动物幼虫以及有机碎屑等^[8]。因此, 在贝类养殖的过程中, 饵料起着至关重要的作用。王慧等^[9]研究了不同藻类对青蛤摄食的影响, 结果发现青蛤对不同藻类的摄食选择明显不同; 王芳等^[10]发现不同贝类对同一藻类的摄食也有差异; 陈自强等^[11]研究发现饵料藻类会影响着贝类的生长发育, 不同阶段的贝类对饵料藻的选择也有差异, 其中混合藻类的投喂要优于单一饵料的投喂。藻类的营养成分随其种类的不同而差异较大^[12-13], 而不同种类的贝类由于其生活习性和生存环境的不同, 对各种

营养元素的需求也不尽相同^[14], 而大型海藻具有生长速度快、来源广、产量大, 便于加工成为人工饲料等特点, 浒苔(*Enteromorpha prolifera*)、紫菜(*Pyropia*)和海带(*Laminaria japonica*)等是中国沿海中常见的大型海藻, 同时富含着丰富的蛋白质、氨基酸和矿物质等功能性物质, 研究表明, 浒苔、紫菜和海带加工后作为饲料添加剂, 不仅可以促进动物的生长需求, 而且可以提高其免疫力及存活率^[15-17]。针对浒苔、海带等大型藻类下脚料得不到合理利用, 存在严重资源浪费, 同时在工厂化养殖青蛤和文蛤中, 投喂的饵料品种较为单一等情况, 通过实验对增质量、饵

收稿日期: 2021-02-20; 修回日期: 2021-08-22

基金项目: 江苏省自然资源发展专项-海洋科技创新项目(JSZRHYKJ202008); 江苏省现代农业自主创新项目(CX(20)3150); 江苏省高等学校自然科学研究重大项目(18KJA240001); 江苏省渔业科技类项目(Y2018-27)

[Foundation: Jiangsu Natural Resources Development Special-Marine Science and Technology Innovation Project, No.JSRHYKJ202008; Jiangsu Modern Agriculture Independent Innovation Project, No.CX(20)3150; Natural Science Foundation of the Jiangsu Higher Education Institutions of China, No. 18KJA240001; Fishery Science and Technology Project of Jiangsu province, No.Y2018-27]

作者简介: 冯森磊(1993—), 男, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要从事水产养殖研究, E-mail: f18451116765@163.com; 董志国(1977—), 通信作者, E-mail: dzg7712@163.com

料系数等因素进行比较,探索大型藻类能否废物再利用,作为文蛤和青蛤养殖生产的饵料,从而扩充养殖过程中的饵料品种。因此,筛选适宜帘蛤类摄食的饵料,不仅可以满足帘蛤类集约化养殖,且对于环境保护具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用的青蛤和文蛤均来自国家贝类产业基地连云港综合试验站,经挑选后选取规格相近的青蛤与文蛤(初始数据如表1所示),清洁壳表污物和附着生物后,暂养于水箱中,暂养期间,连续充气,每日换水量1/3。实验所用紫菜、海带和浒苔均购自于江苏连云港,将晒干后的紫菜、海带和浒苔等放入电热恒温鼓风干燥箱,经超微粉碎机,磨制成200网目大小的饵料。实验所用小球藻及人工配合饲料均来自于青岛海大生物集团有限公司。

表1 青蛤与文蛤的初始数据

Tab. 1 Preliminary data of *Meretrix meretrix* and *Cyclina sinensis*

组别	青蛤	文蛤
平均壳长/cm	2.27±0.08	2.14±0.04
平均壳宽/cm	1.40±0.02	1.81±0.03
平均壳高/cm	2.29±0.03	1.06±0.06
平均体质量/g	3.70±0.30	2.52±0.07

1.2 实验设计

对青蛤和文蛤的饲养实验进行60 d,实验在装有16.8 L过滤海水中的PVC箱(40 cm×28 cm×24 cm)中进行。实验开始前对青蛤及文蛤幼贝进行为期4 d的暂养,暂养期间投喂小球藻(*Chlorella vulgaris*)。暂养结束后,禁食24 h,选取壳长、个体基本一致的健康青蛤及文蛤各240粒作为实验个体,将其分别分为5个实验组,每组设3个平行。实验组分别投喂粉

碎加工后的浒苔、紫菜、海带、人工配合饲料及小球藻,日投喂量为青蛤和文蛤总体质量的3%,分3次投喂,投喂后2 h排污,排污后加注新水,日换水量约为1/3。采用静水连续充气系统,使溶解氧≥4.0 mg/L,水温18±3℃,盐度在23左右。

1.3 数据处理

特定生长率(Specific growth rate, R_{SG})、增质量率(Weight growth rate, R_{WG})、和饲料转化率(Food conversion efficiency, E_{FC})的计算公式如下:

$$R_{SG} (\%/\text{d}) = 100\% \times (\ln W_t - \ln W_0)/T,$$

$$R_{WG} (\%) = 100\% \times (W_t - W_0)/W_0,$$

$$E_{FC} (\%) = 100\% \times (W_t - W_0)/C.$$

上列式中, W_0 表示起始质量(g), W_t 表示终末质量(g); T 为实验持续时间(d); C 表示实验期间的总摄食量(g)。实验结果以平均值±标准差表示,采用SPSS18进行单因素方差分析,以 $P<0.05$ 表示显著性差异。

2 实验结果

2.1 不同饵料对青蛤和文蛤生长性能及存活率的影响

2.1.1 青蛤的生长性能及存活率的变化

实验结束时,各饵料实验组中的青蛤生物学数据和特定生长率如表2、图1所示。由表2可知,各饵料组中青蛤的平均壳长大小依次为小球藻组(2.36 cm)>浒苔组(2.35 cm)>海带组(2.34 cm)>人工配合饲料组(2.33 cm)和紫菜组(2.33 cm),在青蛤的平均壳高方面海带组(2.41 cm)>小球藻组(2.39 cm)>浒苔组(2.37 cm)和人工配合饲料组(2.37 cm)>紫菜组(2.35 cm),在平均壳宽方面各组大小顺序为小球藻组(1.48 cm)和浒苔组(1.48 cm)>海带组(1.45 cm)>紫菜组(1.44 cm)>人工配合饲料组(1.43 cm)。投喂小球藻的实验组中的青蛤存活率最高为80%,投喂紫菜的实验组中青蛤存活率最低为67%,浒苔组中的存活率(78%)>海带组(74%)>人工配合饲料组(70%)。

表2 实验结束时各饵料实验组中青蛤的生长性能和存活率

Tab. 2 Growth performance and survival rate of *C. sinensis* under individual feed category

饵料实验组	平均壳长/cm	平均壳高/cm	平均壳宽/cm	存活率/%
紫菜组	2.33±0.07 ^a	2.35±0.07 ^a	1.44±0.04 ^a	67
浒苔组	2.35±0.05 ^{bc}	2.37±0.07 ^b	1.48±0.13 ^b	78
海带组	2.34±0.09 ^{ab}	2.41±0.07 ^a	1.45±0.06 ^d	74
小球藻组	2.36±0.11 ^c	2.39±0.10 ^b	1.48±0.11 ^c	80
人工配合饲料组	2.33±0.08 ^b	2.37±0.07 ^a	1.43±0.06 ^b	70

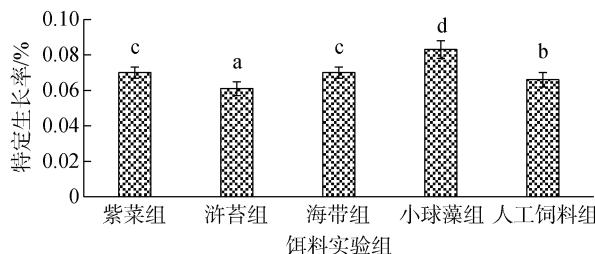


图 1 不同饵料下青蛤的特定生长率

Fig. 1 Specific growth rate of *C. sinensis* based on individual feed category

小写字母“a、b、c”表示不同饵料下不同处理组间各数据存在显著差异($P<0.05$)，图 2—图 6 同

“a、b、c” indicate significant differences among groups with different feeds ($P<0.05$), the same as Figs. 2–6

各饵料实验组中的特定生长率如图 1 所示，小球藻组、浒苔组和人工饲料组与各饵料实验组中的青蛤特定生长率均有显著性差异($P<0.05$)，紫菜组与海带组组间无显著性差异($P<0.05$)，其中投喂小球藻实验组中的青蛤特定生长率最高，其特定生长率为 0.08%，而在浒苔实验组中青蛤的特定生长率最低，其特定生长率为 0.06%。紫菜实验组、海带实验组和

人工配合饲料实验组中青蛤的特定生长率分别为 0.07%、0.07% 和 0.066%。

2.1.2 文蛤的生长性能及存活率的变化

实验结束时，各饵料实验组中的文蛤生物学数据和特定生长率如表 3、图 2 所示。由表 3 可知，紫菜组、浒苔组和海带组中的文蛤平均壳长、平均壳宽和平均壳高与各饵料组间均有显著性差异($P<0.05$)，小球藻组中的文蛤平均壳长显著高于紫菜组、海带组、浒苔组和人工配合饲料组($P<0.05$)，平均壳宽和平均壳高显著高于紫菜组、海带组、浒苔组与人工饲料组($P<0.05$)，人工饲料组中的文蛤平均壳长显著高于紫菜组、浒苔组、海带组和小球藻组($P<0.05$)，平均壳宽和平均壳高显著高于紫菜组、浒苔组、海带组($P<0.05$)。各饵料实验组中的文蛤存活率方面，投喂小球藻实验组中的文蛤存活率最高为 91.1%，投喂紫菜的实验组中文蛤存活率最低为 6.6%，在剩下的 3 组中，人工配合饲料实验组中的文蛤存活率较高，存活率为 76.7%，浒苔实验组和海带实验组中的文蛤存活率较为接近分别为 56.7%、55.6%。

表 3 实验结束时各饵料实验组中文蛤的生长性能和存活率

Tab. 3 Growth performance and survival rate of *M. meretrix* under individual feed category

饵料实验组	平均壳长/cm	平均壳高/cm	平均壳宽/cm	存活率/%
紫菜组	2.41±0.02 ^a	1.78±0.01 ^a	1.07±0.02 ^a	6.6
浒苔组	2.60±0.03 ^b	1.84±0.02 ^b	1.09±0.01 ^b	56.7
海带组	2.71±0.06 ^c	1.87±0.04 ^c	1.10±0.03 ^c	55.6
小球藻组	2.90±0.05 ^d	1.90±0.04 ^d	1.13±0.04 ^d	91.1
人工配合饲料组	2.92±0.04 ^e	1.88±0.02 ^d	1.12±0.04 ^d	76.7

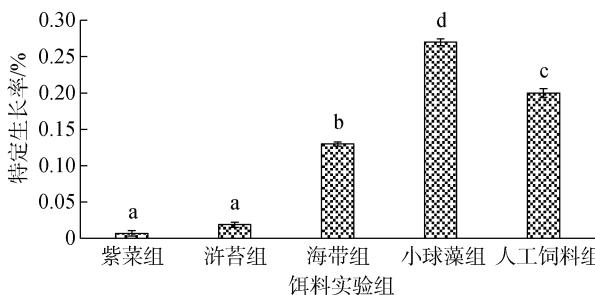


图 2 不同饵料下文蛤的特定生长率

Fig. 2 Special growth rate of *M. meretrix* based on individual feed category

各饵料实验组中的文蛤特定生长率如图 2 所示，小球藻组、人工饲料组与海带组中的文蛤特定生长

率与各实验组间均有显著性差异($P<0.05$)，紫菜组中特定生长率显著低于浒苔组($P>0.05$)，紫菜组和浒苔组中特定生长率显著低于海带组、小球藻组及人工饲料组($P<0.05$)。其中投喂小球藻实验组中的文蛤特定生长率最高，其特定生长率为 0.27%，在投喂的紫菜组中文蛤的特定生长率最低，其特定生长率为 0.007%，而在浒苔组、海带组和人工饲料组其特定生长率分别为 0.019%、0.13% 和 0.2%。

2.2 不同饵料条件下青蛤和文蛤的质量变化

2.2.1 青蛤的质量变化

各饵料实验组中青蛤的增质量率如表 4、图 3 所示。浒苔组中的青蛤增质量率显著低于紫菜实验组、

海带实验组、小球藻组和人工配合饲料组 ($P<0.05$)。投喂小球藻实验组中的青蛤增质量率最大, 达到了 4.83%, 而投喂浒苔实验组中的青蛤增质量率最小, 增质量率为 3.71%。投喂紫菜的实验组和投喂海带实验组中的青蛤增质量率分别为 4.56% 和 4.59%。其中, 紫菜实验组中青蛤的增质量率低于海带实验组中的青蛤, 投喂人工配合饲料实验组中的青蛤增质量率为 4.04%。

表 4 各饵料实验组中青蛤的湿质量变化

Tab. 4 Changes in the wet weight of *C. sinensis* based on individual feed category

饵料实验组	初始湿质量/g	最终湿质量/g
紫菜组	3.73±0.23	3.90±0.32
浒苔组	3.77±0.15	3.91±0.39
海带组	3.71±0.24	3.87±0.31
小球藻组	3.73±0.34	3.92±0.49
人工配合饲料组	3.71±0.36	3.86±0.41

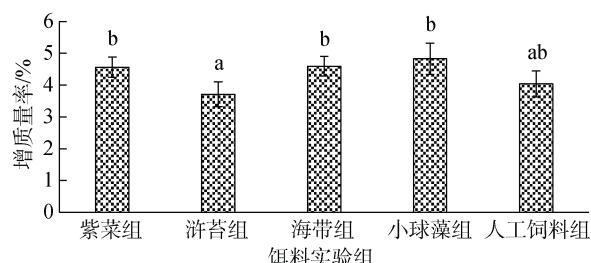


图 3 不同饵料组下青蛤的增质量率

Fig. 3 Weight growth rate of *C. sinensis* based on individual feed category

2.2.2 文蛤的质量变化

各饵料组文蛤的质量增长如表 5、图 4 所示, 小球藻组显著高于紫菜组、浒苔组、海带组和人工饲料组($P<0.05$), 紫菜组、浒苔组与海带组、小球藻组和人工配合饲料组有显著性差异($P<0.05$), 紫菜组与浒苔组无显著性($P>0.05$)。各饵料组的文蛤体质量增长率间小球藻组的增质量率最大, 为 17.4%, 紫菜组的增质量率最低为 0.41%, 浒苔组、海带组及人工饲料组的增质量率分别为 1.18%、8.36% 和 12.7%。

2.3 不同饵料条件下青蛤和文蛤饵料摄食情况

2.3.1 青蛤的饵料转换率

各饵料实验组中青蛤的饵料转化效率如图 5 所示, 小球藻组中青蛤的饵料转化效率显著高于紫菜

表 5 各饵料实验组中文蛤的湿质量变化

Tab. 5 Changes in the wet weight of *M. meretrix* based on individual feed category

饵料实验组	初始湿质量/g	最终湿质量/g
紫菜组	2.41±0.20	2.42±0.15
浒苔组	2.54±0.14	2.57±0.10
海带组	2.51±0.12	2.72±0.13
小球藻组	2.52±0.10	2.96±0.12
人工配合饲料组	2.60±0.08	2.93±0.17

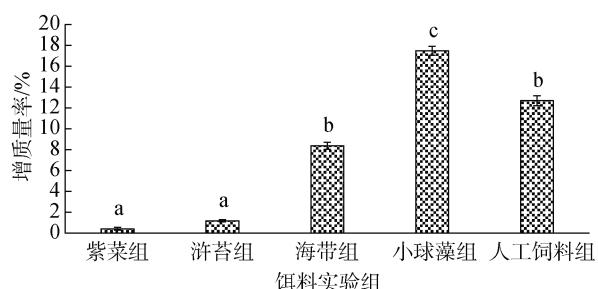


图 4 不同饵料组下文蛤的增质量率

Fig. 4 Weight growth rate of *M. meretrix* based on individual feed category

组、浒苔组、海带组和人工饲料组 ($P<0.05$)。紫菜组与海带组的饵料转化效率无显著性差异($P>0.05$)。投喂小球藻的实验组中青蛤的饵料转化效率最高, 达到了 15%, 对饵料的利用率最高。而在投喂浒苔的实验组中青蛤的饵料转化效率为 5.83%, 饵料的利用率最低。在投喂紫菜和海带的实验组中, 青蛤的饵料转化效率则相对较高, 分别为 7.08% 和 7.09%, 投喂人工配合饲料的实验组中青蛤的饵料转化效率为 6.25%。

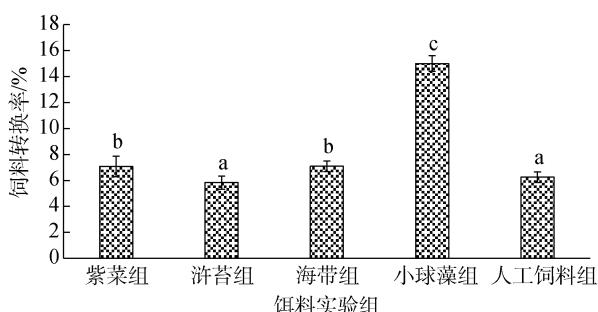


图 5 不同饵料组下青蛤的饵料转换率

Fig. 5 Food conversion efficiency of *C. sinensis* based on individual feed category

2.3.2 文蛤的饵料转换率

各饵料实验组中文蛤的饵料转化效率如图 6 所

示。投喂小球藻的实验组中文蛤的饵料转化效率最高, 达到了 5.87%, 对饵料的利用率最高, 而在投喂紫菜的实验组中文蛤的饵料转化效率为 0.13%, 对饵料的利用率最低。在投喂浒苔、海带和人工饲料组的实验组中, 文蛤的饵料转化效率分别为 0.20%、1.41% 和 2.22%。

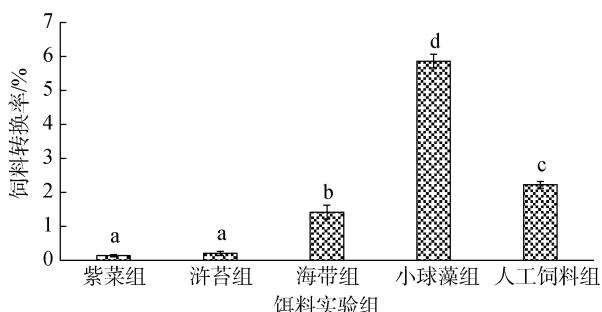


图 6 不同饵料组下文蛤的饲料转换率

Fig. 6 Food conversion efficiency of *M. meretrix* based on individual feed category

3 讨论

3.1 不同饵料对青蛤、文蛤生长存活的影响

研究表明, 贝类在不同饵料下的生长情况与饵料中所富含着不同营养物质有关, 不同饵料中的蛋白质、脂肪水平与贝类特定生长率、体质量的增加等都密切相关且影响显著^[18]。钟鸿干等^[19-21]对东风螺营养与饵料的研究中发现, 饵料中蛋白质、脂肪及糖类的营养含量会对其生长、体组织成分有很大影响。滤食性贝类摄食效率也会因为饵料粒径的种类不同而发生变化^[22]。地中海贻贝(*Mytilus edulis*)和大西洋浪蛤(*Spisula solidissima*)因具有较大纤毛可以过滤 4 μm 以上颗粒物, 而海湾扇贝则可以过滤大于 6 μm 以上颗粒物^[23]。本实验研究发现, 在青蛤与文蛤的实验组中, 投喂小球藻饵料实验组中的青蛤与文蛤生长速度最快、存活率最高。可见, 对于青蛤与文蛤而言, 小球藻是一种适合它们生长的优质饵料微藻, 这一结果与研究者的结论一致^[24]。在文蛤的实验组中, 投喂紫菜与浒苔的存活率, 特定生长率及增质量率最低, 在青蛤实验组中, 投喂紫菜组、浒苔组、海带组及人工配合饲料组的特定生长率、增质量率及存活率都几近相同, 其中, 投喂紫菜组中的青蛤存活率最低, 投喂浒苔组中的青蛤特定生长率和增质量率最低, 在实验中我们发现投喂紫菜实验组与其他实验组相比较, 产生的残饵

量更多, 水质恶化的速度也更快, 这可能是导致紫菜实验组中的青蛤与文蛤死亡率很高的原因。不同种类的藻类饵料会直接影响贝类的生长速度和存活率^[25], 王庆志等^[18, 25]研究发现, 投喂不同饵料会不同程度影响贝类的壳长、壳高、特定生长及存活。其次, 影响双壳贝类摄食的外界因素有很多, 包括生物的种类、规格大小、栖息环境及饵料浓度等多种条件^[26]。滤食性贝类对饵料的粒径大小及质量具有选择性, 且这种选择通常取决于贝类的鳃面积和鳃结构以及由鳃丝构成的网格大小有关^[27]。在本实验中的紫菜、浒苔、海带粉碎至 400 目, 直径约为 37 μm, 同时小球藻直径约为 2 μm~12 μm, 因此小球藻更便于青蛤与文蛤滤食。贝类在摄食适口性好、营养成分高的饵料后, 生理情况良好, 从而会呈现出更好的生存、生长情况。

3.2 饵料因素对饲料转换率的影响

饵料是水产经济动物的重要能量来源, 不同饵料中的蛋白水平会影响动物的饵料利用率, 蛋白质的含量和能量过高可降低饵料转换率, 同时不同饵料对不同动物的饵料转换效率及生长状况也不尽相同^[28-29]。研究表明不同种类的饵料会对双壳贝类生长产生显著影响^[9, 11]。此外, 在对日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)、南美白虾(*Litopenaeus vannamei*)等研究中发现当饵料中蛋白水平发生变化时饵料转化效率也会随之变动, 如在日本沼虾中当饵料蛋白为 40.3% 时, 饵料转化效率最大, 当饵料中蛋白上升到 43.3% 时, 饵料转换效率随之下降^[30-31]。同时在甲壳动物的饵料研究中发现饵料所含蛋白质与能量的比值是影响饵料转换率的重要因素^[32]。在本实验中, 小球藻组饵料转化效率显著高于其他组($P<0.05$), 这是因为小球藻中的蛋白质含量极其丰富, 约占其细胞干质量的 50%, 且氨基酸种类和比例接近标准模式, 这也说明蛋白质和氨基酸的含量在贝类的生长发育中起到了关键作用。而紫菜、浒苔这样的大型藻类饲料转换率低, 这可能是因为单一投喂大型藻类, 会引起营养不均衡, 不利于促进青蛤与文蛤的摄食和生长, 且这两种大型藻的琼胶含量较高, 不利于贝类的吸收。而在 3 种大型藻中, 使用海带投喂贝类的饲料转化率效果较好, 这可能与海带中的营养成分有关, 海带属于褐藻门, 含有丰富的褐藻酸、蛋白质和氨基酸等物质, 贝类在摄食、消化的过程中, 褐藻酸酶起到了重要的作用, 可能在一方面解释了使用海带投喂可以获得较优效果的原因。

4 结论

在本实验中, 投喂小球藻的青蛤与文蛤的生长情况最优, 投喂人工配合饲料青蛤的生长情况优于浒苔实验组、低于海带组、紫菜组和小球藻组; 在3种大型海藻中, 使用海带投喂的青蛤生长效果最好, 投喂浒苔生长效果较差, 低于海带组和紫菜组, 而在投喂紫菜实验组中青蛤的存活率最低; 在文蛤中, 人工配合饲料低于小球藻组、高于海带组、紫菜组和浒苔组, 在3种大型藻中, 投喂紫菜与浒苔的生长效果较差, 这提示了大型海藻在贝类养殖利用方面仍需要进行如发酵等精深加工研究。

参考文献:

- [1] 张素萍, 王鸿霞, 徐凤山. 中国近海文蛤属(双壳纲, 帘蛤科)的系统分类学研究[J]. 动物分类学报, 2012, 37(3): 473-479.
ZHANG Suping, WANG Hongxia, XU Fengshan. Taxonomic study on *meretrix* (*bivalia, veneridae*) from China Seas[J]. Zoological Systematics, 2012, 37(3): 473-479.
- [2] 王兴强, 曹梅, 阎斌伦, 等. 青蛤的生物学及其繁殖[J]. 水产科学, 2006, 25(6): 312-316.
WANG Xingqiang, CAO Mei, YAN Binlun, et al. Biology and reproduction of clam *Cyclina sinensis*[J]. Fisheries Science, 2006, 25(6): 312-316.
- [3] 李晓英, 董志国, 阎斌伦, 等. 青蛤与文蛤的营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2010, 31(23): 366-370.
LI Xiaoying, DONG Zhiguo, YAN Binlun, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in *Cyclina sinensis* and *Meretrix meretrix*[J]. Food Science, 2010, 31(23): 366-370.
- [4] 于业绍, 顾润润, 杨星星. 青蛤的保活与营养[J]. 海洋科学, 2005, 29(8): 12-16.
YU Yeshao, GU Runrun, YANG Xingxing. Survival condition and nutrition of *Cyclina sinensis*[J]. Marine Sciences, 2005, 29(8): 12-16.
- [5] 文海翔. 环境因子对硬壳蛤代谢与生长的影响[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2004.
WEN Haixiang. Effects of environmental factors on metabolism and growth of hard clam *mercenaria mercenaria*[D]. Qingdao: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2004.
- [6] 于业绍, 周琳, 陆平, 等. 单细胞藻类饲养青蛤稚贝的研究[J]. 海洋渔业, 1998, 20(1): 23-24.
YU Yeshao, ZHOU Lin, LU Ping, et al. Study on juvenile clam, *Cyclina sinensis* feeded with unicellular algae[J]. Marine Fisheries, 1998, 20(1): 23-24.
- [7] 林君卓, 许振祖. 文蛤幼体的摄食生态研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1997, 36(6): 104-110.
- [8] 张安国, 李太武, 苏秀榕, 等. 文蛤养殖现状及展望[J]. 水产科学, 2005, 24(2): 31-33.
ZHANG Anguo, LI Taiwu, SU Xiurong, et al. Current status and prospect of *Meretrix meretrix* culture[J]. Fisheries Science, 2005, 24(2): 31-33.
- [9] 王慧, 房斌, 周凯, 等. 不同藻类及浓度对青蛤滤水率的影响[J]. 海洋渔业, 2008, 30(1): 92-96.
WANG Hui, FANG Bin, ZHOU Kai, et al. Effects on the filtration rate of clam *Cyclina sinensis* fed with the different species and concentration of the algae[J]. Marine Fisheries, 2008, 30(1): 92-96.
- [10] 王芳, 董双林, 张硕. 藻类浓度对海湾扇贝和太平洋牡蛎滤除率的影响[J]. 海洋科学, 1998, 22(4): 1-3.
WANG Fang, DONG Shuanglin, ZHANG Shuo. Effects filtration rate of clam *Crassostrea gigas* and *Argopecten irradians* fed with the concentration of the algae[J]. Marine Sciences, 1998, 22(4): 1-3.
- [11] 陈自强, 寿鹿, 廖一波, 等. 微藻饵料对双壳贝类幼体生长影响的研究进展[J]. 科技通报, 2013, 29(7): 46-55, 67.
CHEN Ziqiang, SHOU Lu, LIAO Yibo, et al. Advance in the effects of microalgal diets and nutritional value on the growth of early life stages of bivalves[J]. Bulletin of Science and Technology, 2013, 29(7): 46-55, 67.
- [12] 于业绍, 周琳, 杨世俊, 等. 青蛤工厂化育苗[J]. 上海水产大学学报, 1998, 7(2): 121-129.
YU Yeshao, ZHOU Lin, YANG Shijun, et al. Study on industrial seed culture of the *Cyclina sinensis*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 1998, 7(2): 121-129.
- [13] 柯爱英. 滩涂贝类人工育苗中新饵料藻种试验[J]. 科学养鱼, 2017, 33(5): 27-28.
KE Aiying. Experiment on new algae species in artificial breeding of shoal shellfish[J]. Scientific Fish Farming, 2017, 33(5): 27-28.
- [14] 李荷芳, 周汉秋. 海洋微藻脂肪酸组成的比较研究[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(1): 34-40.
LI Hefang, ZHOU Hanqiu. Comparative studies on fatty acid composition of marine microalgae[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1999, 30(1): 34-40.
- [15] 钟鸣, 胡超群. 海参养殖饲料学研究进展[J]. 饲料工业, 2016, 37(18): 58-64.
ZHONG Ming, HU Chaoqun. Study on aquacultural feed of sea cucumber: a review[J]. Feed Industry, 2016, 37(18): 58-64.
- [16] 彭素晓, 常志强, 马骊, 等. 海带渣添加比例及其酶解产物对凡纳滨对虾生长、消化和非特异性免疫力的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29(7): 2587-2596.
PENG Suxiao, CHANG Zhiqiang, MA Li, et al. Effects

- of kelp meal adding proportion and its enzymatic hydrolysates on growth, digestion and non-specific immunity of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2017, 29(7): 2587-2596.
- [17] 张翠翠. 寡糖型海带发酵饲料制备及在鲍鱼养殖中的应用研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2020.
ZHANG Cuicui. Preparation of oligosaccharide-type kelp fermented feed and its application in abalone culture[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2020.
- [18] 王庆志, 张明, 滕炜鸣, 等. 不同饵料对魁蚶稚贝生长和存活的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(8): 2405-2410.
WANG Qingzhi, ZHANG Ming, TENG Weiming, et al. Effects of microalgal diets on juvenile growth and survival of the ark shell, *Scapharca broughtonii*[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(8): 2405-2410.
- [19] 钟鸿干, 王冬梅, 王国福. 东风螺的营养与饵料研究进展[J]. 河北渔业, 2012, 9: 50-53.
ZHONG Honggan, WANG Dongmei, WANG Guofu. Research progress on nutrition and food of *Babylonia lutosa*[J]. *Hebei Fisheries*, 2012, 9: 50-53.
- [20] 刘立鹤, 陈立侨, 董爱华, 等. 不同蛋白水平饲料对台湾东风螺生长性能和体组成的影响[J]. 水产科学, 2006, 25(12): 601-607.
LIU Lihe, CHEN Liqiao, DONG Aihua, et al. Effects of different dietary protein levels on growth performance and body composition of *Babylonia formosea*[J]. *Fisheries Science*, 2006, 25(12): 601-607.
- [21] FLEMMING M, RIISGARD H. Efficiency of particle retention in 13 species of suspension feeding bivalves[J]. *Ophelia*, 1978, 17(2): 239-246.
- [22] 李凤雪. 规模化贝类养殖海域浮游植物的粒径结构及微食物环的生态贡献[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
LI Fengxue. Size fraction of phytoplankton and ecological contribution of microbial loop in large-scale bivalve mariculture area[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [23] 彭剑, 张奥, 李由明, 等. 影响贝类摄食的主要因素分析[J]. 南方农业, 2017, 11(24): 77-78.
PENG Jian, ZHANG Ao, LI Youming, et al. Effect of main factors on shellfish feeding analysis[J]. *South China Agriculture*, 2017, 11(24): 77-78.
- [24] 顾忠旗, 杨娜, 彭莉华, 等. 不同饵料对厚壳贻贝稚贝生长、存活及淀粉酶活性的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32(4): 428-433.
GU Zhongqi, YANG Na, PENG Lihua, et al. Effects of different diets on growth, survival and amylase activity in plantigrades of thick shell mussel *Mytilus coruscus*[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2017, 32(4): 428-433.
- [25] 李文波, 高如承, 潘辉, 等. 不同饵料对西施舌稚贝生长及消化酶活性的影响[J]. 安徽农学通报(上半月刊), 2012, 18(9): 175-178.
LI Wenbo, GAO Rucheng, PAN Hui, et al. Effects of different kinds of bait on the growth and digestive enzyme activity of juvenile *Coelomactra antiquata*[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2012, 18(9): 175-178.
- [26] 潘鲁青, 范德朋, 马甡, 等. 环境因子对缢蛏滤水率的影响[J]. 水产学报, 2002, 26(3): 226-230.
PAN Luqing, FAN Depeng, MA Shen, et al. Influence of environmental factors on the filtration rate of *Sinonovacula constricta*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2002, 26(3): 226-230.
- [27] 朱雨瑞, 徐继林, 严小军. 5种微藻对4种滩涂贝类稚贝生长的影响[J]. 海洋学研究, 2010, 28(3): 60-66.
ZHU Yurui, XU Jilin, YAN Xiaojun. Effects of five marine microalgae on the growth of four juvenile intertidal shellfishes[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2010, 28(3): 60-66.
- [28] 任梦格, 魏森, 何莉, 等. 4种不同配方饵料对红螯虾生长、存活及体色的影响[J]. 海南热带海洋学院学报, 2020, 27(5): 11-16, 68.
REN Mengge, WEI Sen, HE Li, et al. Effects of four formula diets on the growth, survival and body color of *Cherax quadricarinatus*[J]. *Journal of Hainan Tropical Ocean University*, 2020, 27(5): 11-16, 68.
- [29] 徐云, 马甡. 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, 39(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, 39(S1): 353-358.
- [30] 谢国驷, 蔡永祥, 徐维娜, 等. 饲料蛋白水平对日本沼虾生长、消化酶和免疫酶的影响[J]. 江苏农业学报, 2007, 23(6): 612-617.
XIE Guosi, CAI Yongxiang, XU Wein, et al. Effects of dietary protein levels on growth, digestive enzyme activities and immune enzyme activities of *Macrobrachium nipponense*[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 23(6): 612-617.
- [31] 李广丽, 朱春华, 周歧存. 不同蛋白质水平的饲料对南美白对虾生长的影响[J]. 海洋科学, 2001, 25(4): 1-4.
LI Guangli, ZHU Chunhua, ZHOU Qicun. Effects of dietary protein level on the growth of *Penaeus vannamei*[J]. *Marine Sciences*, 2001, 25(4): 1-4.
- [32] 钱国英, 朱秋华. 配饵中能量蛋白比与中华绒螯蟹生长之间的关系[J]. 中国水产科学, 2000, 7(1): 55-59.
QIAN Guoying, ZHU Qiuhua. Relationships between ratio of dietary protein to energy and growth of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2000, 7(1): 55-59.

Effects of distinct feed categories on the growth performance of two *Venerdia* species

FENG Sen-lei, LIANG Xia-fei, XU Ye, YAN Wei-xin, GE Hong-xing, DONG Zhi-guo
(Jiangsu Ocean University, Jiangsu Key Laboratory of Marine Biotechnology, Lianyungang 222005, China)

Received: Feb. 20, 2021

Key words: *Cyclina sinensis*; *Meretrix meretrix*; large algae; growth performance; food conversion efficiency

Abstract: The experiment was conducted to study the effects of different feeds on the growth performance and survival rates of two *Venerdia* species, i.e., *Cyclina sinensis* and *Meretrix meretrix*. Five distinct groups of food—laver, Enteromorpha, kelp, *Chlorella*, and artificial compound feed—were selected for the evaluation. The *Chlorella* feed group demonstrated a significantly higher growth performance in terms of specific growth rate, weight growth rate, food conversion efficiency, and survival rate in comparison with other food groups ($P<0.05$), whereas the wet weight growth rate of *C. sinensis* was significantly lower than that of the laver group, kelp group, and artificial compound feed group ($P>0.05$). Although the specific growth rates of *C. sinensis* and *M. meretrix* were significantly lower ($P<0.05$) for the artificial compound feed group, the weight growth rate of *M. meretrix* was significantly higher ($P<0.05$) than the weight growth rate of *C. sinensis* ($P>0.05$). Among the three large algae, *C. sinensis* displayed a specific growth rate of 0.07%, a weight growth rate of 4.59%, a food conversion rate of 7.09%, and a survival rate of 74% when fed with the kelp food group. On the other hand, the specific growth rate of *M. meretrix* was 0.13%, the weight growth rate was 8.36%, the food conversion rate was 1.41%, and the survival rate was 55.6%. Based on the results, *C. vulgaris* demonstrated the best effect for the optimal growth and development of *M. meretrix* and *C. sinensis*, along with the artificial compound feed, which also demonstrated a remarkable outcome. Among the three species of large algae, kelp is the most suitable feed for clams, whereas *Enteromorpha* and *Porphyra* were not conducive to the growth of clams.

(本文编辑: 谭雪静)