

DOI: 10.12264/JFSC2024-0100

两种加工方式的海马齿饵料对皱纹盘鲍生产性能、肌肉营养及质构特性的影响

李雷斌, 乔琨, 祁剑飞, 温凭, 方民杰, 郭少鹏, 刘智禹, 林琪, 曾庆民

福建省水产研究所, 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室, 福建 厦门 361013

摘要: 盐生植物海马齿(*Sesuvium portulacastrum*)营养丰富, 具有开发为鲍新型饵料的潜力。为评估海马齿作为鲍饵料的营养价值, 本研究分析了漂烫海马齿、盐渍海马齿的营养成分, 并以龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)为对照, 使用单一的漂烫海马齿与盐渍海马齿分别饲喂相同规格[壳长(5.161 ± 0.315) cm, 体重(16.90 ± 3.07) g]的皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)。每 4 d 投喂 1 次, 每次足量投喂饵料, 确保饵料充足并有残饵产生, 养殖周期为 80 d。研究表明: (1) 漂烫海马齿与盐渍海马齿的水分、能量、干基粗蛋白、粗脂肪、碳水化合物、灰分的含量分别是(89.08 ± 0.01)%、(103.44 ± 0.15) kJ/100 g、(12.49 ± 0.28)%、(2.93 ± 0.06)%、(20.34 ± 0.28)%、(29.10 ± 0.08)%与(59.37 ± 0.04)%、(139.38 ± 0.79) kJ/100 g、(4.16 ± 0.08)%、(1.25 ± 0.01)%、(5.74 ± 0.18)%、(72.80 ± 0.05)%, 两种海马齿饵料均含有 18 种氨基酸, 氨基酸种类齐全, 与皱纹盘鲍肌肉在 11 种重要氨基酸模式上比较接近。(2) 与龙须菜相比, 两种海马齿饵料对皱纹盘鲍摄食率(FI)和饵料系数(FCR)具有显著的影响($P < 0.05$), 盐渍海马齿的 FI 与 FCR 均最高, 龙须菜的 FI 与 FCR 均最低; 两种海马齿饵料对皱纹盘鲍的存活率(SR)、平均壳长日生长量(DG_L)、平均体重日增加量(DG_W)、壳长特定生长率(SGR_L)、特定生长率(SGR_W)、肥满度(CF)、出肉率(MY)的影响不显著($P > 0.05$)。(3) 与龙须菜相比, 两种海马齿饵料显著降低了皱纹盘鲍肌肉的水分、胶原蛋白与氨基酸总量($P < 0.05$), 显著提高了皱纹盘鲍肌肉的灰分含量($P < 0.05$); 两种海马齿饵料对皱纹盘鲍肌肉的粗脂肪含量、EAA/TAA、第一限制氨基酸含量无显著性影响($P > 0.05$); 使用海马齿饵料能够增加皱纹盘鲍肌肉中的亚油酸和 α -亚麻酸含量。(4) 与龙须菜相比, 两种海马齿饵料对皱纹盘鲍肌肉组织的弹性和回复力影响无显著性差异($P > 0.05$), 漂烫海马齿显著降低了肌肉组织的硬度和咀嚼性($P < 0.05$), 盐渍海马齿显著提高了肌肉组织的硬度($P < 0.05$)。综上所述, 两种海马齿饵料在 80 d 内都可以替代龙须菜作为皱纹盘鲍的饵料, 两种海马齿饵料饲喂的皱纹盘鲍具有良好的生产性能和营养价值, 盐渍海马齿有助于改善皱纹盘鲍的肌肉质地。

关键词: 海马齿; 皱纹盘鲍; 龙须菜; 漂烫; 盐渍

中图分类号: S968

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2024)09-1090-15

皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)目前是我国鲍养殖主导种^[1], 2022 年全国鲍养殖产量 22.82×10^4 t, 而福建鲍产量就占全国鲍养殖总产量的 79.54%^[2]。鲍肉作为一种美食, 在东亚具有悠久的食用传统和庞大的市场需求。鲍属于植食性, 在自然分布海区幼鲍及成鲍采用齿舌刮食的方式

摄食大型海藻^[3]。鲍养殖以海上吊笼养殖模式为主, 主要投喂龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)和海带(*Saccharina japonica*), 并以其他大型海藻作为补充^[4]。在我国, 大型海藻产品主要来源于人工栽培, 占比接近 100%, 野生收获量可忽略^[2], 但目前实现大面积规模化栽培(超过 500 hm²)的

收稿日期: 2024-4-28; 修订日期: 2024-07-11.

基金项目: 福建省种业创新与产业化工程项目(2021FJSCZY02); 福建省促进海洋与渔业产业高质量发展专项资金项目(FJHYF-L-2023-23); 福建省海洋服务与渔业高质量发展专项资金项目(FJHY-YYKJ-2024-1-5).

作者简介: 李雷斌(1976-), 男, 助理研究员, 研究方向为水产养殖及遗传育种. E-mail: haidalibin@126.com

通信作者: 林琪, 男, 研究员, 研究方向为水产养殖. E-mail: xmqlin@sina.com

大型海藻只有海带、条斑紫菜(*Pyropia yezoensis*)、坛紫菜(*Neoporphyra haitanensis*)、裙带菜(*Undaria pinnatifida*)、龙须菜、羊栖菜(*Hizikia fusiformis*) 6种, 这6个养殖对象的产量占大型海藻总产量的95%以上^[2,5]。大型海藻的生长具有明显的季节性, 海带、紫菜、裙带菜和羊栖菜都是喜低温物种, 难以在夏季高温季节生长; 龙须菜虽然在福建省北部海区可以自然度夏, 但是产量锐减。大型海藻的生产状况造成夏秋季节鲍饵料的周期性严重短缺, 导致福建省龙须菜的价格在夏秋季节有时比冬春季节暴涨近10倍。在鲍养殖过程中, 饵料费用约占其生产成本的50%^[6]。鲍养殖能否实现盈利, 饵料是一个至关重要的影响因素。为此, 一些学者开始尝试研发鲍配合饲料, 虽然获得了一定的突破, 但由于人工配合饲料在饲喂过程中会导致鲍的死亡率较高^[7]、养殖效果不稳定, 难以满足鲍养殖业的实际需求。因此, 寻求储备丰富、价格相对低廉的新型鲍饵料, 对推动鲍养殖业的持续发展有着非常积极的作用。

目前国内除马尾藻外的其他大型海藻均面临资源紧张的问题^[8], 因此许多人开始转向研究用陆生植物替代大型藻类, 探寻鲍对不同植物的摄食适应及适宜的添加比例。农业副产品, 如米糠^[9-10]、紫苏(*Perillae Folium*)叶^[11]、胡萝卜(*Daucus carota* L.)叶^[12]、柑橘皮^[13-14]、卷心菜提取物副产品^[15]和西兰花(*Brassica oleracea* var. *italica*)副产品^[16]均可以用作鲍配合饲料中大型藻类的替代品。

海马齿(*Sesuvium portulacastrum*)属于番杏科(Aizoaceae)、海马齿属(*Sesuvium*), 为多年生肉质草本盐生植物, 广泛分布于全球热带与亚热带的海岸^[17], 在海南岛有较为丰富的野生种质资源。每100 g海马齿食用部分, 蛋白质为3.0 g, 碳水化合物为1.4 g, 能量为74.9~93.3 kJ, 并含有丰富的矿质元素和多种维生素, 总体营养价值高于红萝卜、马铃薯、莴苣笋、大白菜等多种常见蔬菜, 属于营养价值较高的植物^[18]。海马齿富含的萜和烯成分在临床上对发烧、坏血病以及调节体内胰岛素和血糖含量均有很好的疗效, 对细菌和真菌等微生物也有良好的抗菌活性^[19]。

现今, 海马齿在海域生态修复^[20]、人工湿地

构建^[21]、海水池塘环境修复^[22]等领域被广泛地应用, 具有开发为海水蔬菜、饲料、药用植物的潜在经济价值^[23-24]。海马齿生长速度较快, 在福建省东山湾自然海域采用浮床栽培1年, 生物量可达 $152.5 \times 10^3 \text{ g/m}^2$ ^[20], 折合年产量 1525 t/hm^2 。由于海马齿盐分含量高、滋味苦涩、适口性差, 在生态环境修复及海水养殖尾水处理中大量种植的海马齿最后被遗弃, 未能得到有效的利用。课题组在研究海马齿生物利用的尝试中偶然发现漂烫可以改善海马齿对皱纹盘鲍的适口性, 提高了皱纹盘鲍对海马齿茎叶的摄食量。因此, 经济且供应稳定的海马齿似乎也具有作为鲍饵料的巨大潜力。本研究旨在通过研究漂烫海马齿、盐渍海马齿对皱纹盘鲍生产性能、肌肉营养及质构特性的影响, 以期海马齿饵料养殖鲍模式的建立和进一步的开发提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 新鲜龙须菜 购买于福建省东山湾, 暂养于福建省水产研究所大径基地。

1.1.2 海马齿嫩茎叶 由福建省水产研究所大径基地提供。

1.1.3 皱纹盘鲍 由晋江福大鲍鱼水产有限公司提供的皱纹盘鲍耐高温选育系, 要求贝壳完整, 壳面洁净无附着物, 肌肉饱满、活力强, 平均规格为壳长 $(5.161 \pm 0.315) \text{ cm}$, 体重 $(16.90 \pm 3.07) \text{ g}$ 。

1.2 方法

1.2.1 海马齿的加工方法 漂烫海马齿。新鲜采摘的海马齿嫩茎叶(茎叶长10~15 cm)在100℃沸水条件下漂烫1.5~2.0 min, 海马齿嫩茎叶与淡水的质量比为1:4~5; 漂烫后使用干净的海水冷却至常温, 沥干后切成2 cm左右的小段, 以备当天使用(图1)。

盐渍海马齿。按食用盐与漂烫海马齿质量比为3.5:10的比例加入食用盐腌制2 d, 压榨去除部分水分, 2 kg漂烫海马齿可以制得1 kg的盐渍海马齿。盐渍海马齿在常温下可以保存20~30 d, 盐渍加工的目的在于延长漂烫海马齿的使用时间。

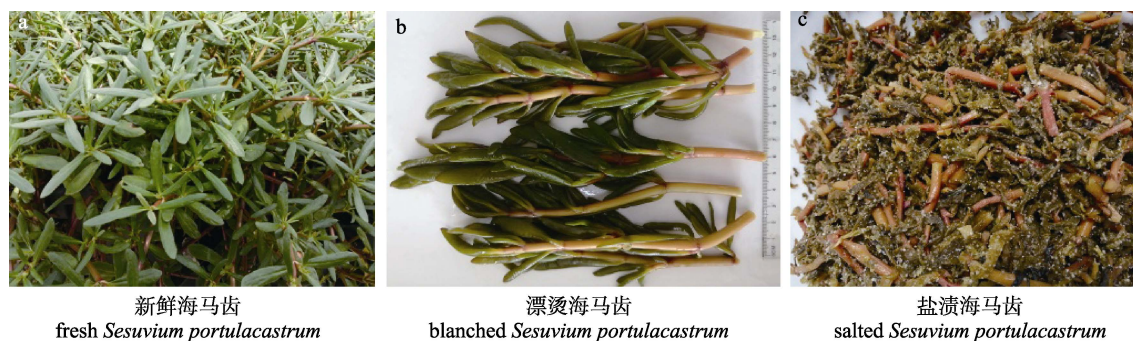


图 1 海马齿与漂烫和盐渍两种加工方式的海马齿饵料
Fig. 1 The pictures of fresh, blanched and salted *Sesuvium portulacastrum*

1.2.2 海马齿饵料与龙须菜的营养成分的检测 水分检测采用 GB 5009.3—2016 第一法^[25], 粗蛋白检测采用 GB 5009.5—2016 第一法^[26], 粗脂肪检测采用 GB 5009.6—2016 第二法^[27], 灰分检测采用 GB 5009.4—2016 第一法^[28], 总膳食纤维检测采用 GB 5009.88—2014 酶重量法^[29], 能量计算与碳水化合物含量计算采用 GB/Z 21922—2008^[30]. 16 种氨基酸成分采用 GB5009.124—2016 酸水解的方法检测^[31]; 胱氨酸(Cys)采用氧化水解的方法检测^[32], 色氨酸(Trp)采用碱水解的方法检测^[33]. 各营养成分测量均重复 3 次。

1.2.3 漂烫海马齿、盐渍海马齿对皱纹盘鲍生长性能影响的实验 以龙须菜饲喂的皱纹盘鲍为对照组(以下简称 LXC-Z), 设立漂烫海马齿饲喂皱纹盘鲍组(以下简称 PTS-Z)和盐渍海马齿饲喂皱纹盘鲍组(以下简称 YZS-Z)。每组设 3 个平行笼, 每笼放 100 只皱纹盘鲍, 每个养殖笼底部放置 1 只气石, 养殖笼放在室内 20 m² 的水泥池底部, 在盐度 28.1~31.3, pH 8.1~8.4, 水温 15.2~23.3 ℃, 连续充气、不断流水的养殖条件下饲养 80 d; 饵料饲喂方式为每个实验组均采用单一种类的饲料投喂, 每 4 d 投喂 1 次, 每次足量投喂, 确保饵料充足并有残饵产生。投喂前排干池水, 把池底冲洗干净, 记录投喂重量 W 及残饵重量 W_c 。盐渍海马齿投喂前用砂滤海水洗涤 2 次, 每次 30 s 左右。实验结束后统计各组的存活个数, 并测量鲍的壳长、体重和腹足肌肉重。

1.2.4 皱纹盘鲍肌肉营养成分的检测 在实验结束时, 每笼随机取皱纹盘鲍 20 只, 取出鲍腹足肌肉, 使用吸水棉吸去肌肉表面的水分, 放入绞肉

机中绞成肉糜, 分袋装入密封袋中, 放在 -80 ℃ 冰箱中保存。水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分、氨基酸检测方法同 1.2.2, 脂肪酸类检测采用 A0AC 996.06 Fat in foods 方法检测^[34]。

1.2.5 皱纹盘鲍肌肉质构的检测 采用质构仪进行 TPA (texture profile analysis)测定, 测定同一部位肌肉的硬度、弹性、咀嚼性和回复力。取出新鲜皱纹盘鲍完整的足肌, 清洗干净, 加入 50 mL 的水, 沸水状态煮 5 min, 将煮好的足肌立即放入冰水中冷却 10 min, 沥水后使用吸水纸擦干表面水分, 切成 1 cm×1 cm×0.5 cm 的块状后进行测试。测试条件如下: 测试探头 P/36R, 测前、测后与测试速率均为 1 mm/s; 压缩程度为 30%; 每个样品进行 2 个循环的压缩分析, 并且在两个循环之间停留间隔 5 s; 数据采集速率为 400 p/s; 触发值为 5 g, 每个实验重复 10 次。

1.2.6 皱纹盘鲍肌肉胶原蛋白的含量检测 胶原蛋白与羟脯氨酸的换算参考 Zhang 等^[35], 胶原蛋白含量的测定是基于皱纹盘鲍腹足肌肉胶原蛋白中羟脯氨酸含量为 10.2% 的假设。

1.2.7 营养价值评价 营养价值的评价根据 FAO/WHO (1973)^[36]建议的每克氮氨基酸评分标准模式进行。氨基酸分(amino acid score, AAS)按以下公式求得:

$$AAS = \frac{\text{待测蛋白质中某1必需氨基酸的含量}}{\text{参考蛋白模式中相应必需氨基酸的含量}} \times 100$$

1.2.8 数据处理 实验开始与实验结束时, 在每个实验笼中随机取 30 只皱纹盘鲍, 用毛巾擦拭干皱纹盘鲍体表水分, 测量皱纹盘鲍的壳长、体重, 在实验结束时测量腹足肌肉重, 并统计每笼鲍的

存活数量。

计算公式如下:

存活率(SR, %)=实验结束时只数/初始只数×100

增重率(WGR, %)=(终末均重-初始均重)/初始均重×100

壳长特定生长率(SGR_L, %/d)=(ln 终末平均壳长-ln 初始平均壳长)/实验天数×100

体重特定生长率(SGR_W, %/d)=(ln 终末均重-ln 初始均重)/实验天数×100

饵料系数(FCR)=摄食量/[(终末均重-初始均重)×存活数量]

摄食率(FI, %)=摄食量/[(终末体重+初始体重)/2]/实验天数×100

壳长日增长量(DG_L, μm/d)=(终末平均壳长-初始平均壳长)/实验天数

体重日增重(DG_W, mg/d)=(终末均重-初始均重)/实验天数

出肉率(MY, %)=腹足部重/带壳鲍重×100

肥满度(CF, g/cm³)=体重/壳长³

单一重要氨基酸模式含量(%)=单一重要氨基酸含量/11种重要氨基酸总含量×100

11种重要氨基酸是基于FAO/WHO建议的氨基酸模式所采用的10种氨基酸及1个半必需氨基酸组氨酸(His), 具体包括: 苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、胱氨酸(Cys)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、苯丙氨酸(Phe)、酪氨酸(Tyr)、赖氨酸(Lys)、色氨酸(Trp)和组氨酸(His)。所有数据采用平均值±标准差($\bar{x}$ ±SD)表示, 采用Excel进行分析作图, 使用单因素方差分析(one-way ANOVA)和Duncan多重比较分析不同处理组间的差异, 以0.05作为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 海马齿饵料的营养成分

由表1可知, 海马齿嫩茎叶经漂烫处理后, 在粗蛋白、粗脂肪、灰分、能量含量上变化不大, 但是漂烫处理对碳水化合物和总膳食纤维的含量影响较大, 碳水化合物含量上升94.27%, 总膳食纤维下降25.07%。漂烫海马齿及龙须菜的含水量

较高, 分别为(89.08±0.01)%和(86.58±0.19)%, 盐渍海马齿的含水量较低, 为(59.37±0.04)%。龙须菜的蛋白质含量为(23.11±0.09)%, 远高于漂烫海马齿与盐渍海马齿的(12.49±0.28)%与(4.16±0.08)%。漂烫海马齿中的粗脂肪含量比龙须菜高出1倍多, 盐渍海马齿的粗脂肪含量与龙须菜的相当。漂烫海马齿与龙须菜的灰分含量分别为(29.10±0.08)%和(31.61±0.13)%, 远低于盐渍海马齿的灰分含量(72.80±0.05)%。漂烫海马齿的碳水化合物百分含量约是龙须菜的2.3倍; 漂烫海马齿与龙须菜在总膳食纤维含量上较为接近。在能量含量上, 龙须菜高于漂烫海马齿而低于盐渍海马齿。

由表2可知, 海马齿嫩茎叶、漂烫海马齿与盐渍海马齿中均检测出18种氨基酸, 龙须菜中共检测出17种氨基酸, 其中色氨酸未检出。单一氨基酸中漂烫海马齿与盐渍海马齿的谷氨酸与脯氨酸含量较高, 而龙须菜是谷氨酸与天冬氨酸含量较高。漂烫海马齿、盐渍海马齿与龙须菜的氨基酸总量分别为(10.69±0.21)%、(3.71±0.03)%和(19.45±0.48)%, 差异显著($P<0.05$)。漂烫海马齿、盐渍海马齿与龙须菜的EAA/TAA值分别是0.34±0.00、0.36±0.00、0.35±0.00, 在数值上较为接近。

2.2 海马齿饵料对皱纹盘鲍生产性能的影响

由表3可知, 经过80d的养殖, 3种饵料的饵料系数和摄食率差异显著($P<0.05$), 投喂盐渍海马齿的饵料系数和摄食率最高, 投喂龙须菜的饵料系数和摄食率最低。3种饲料养殖的皱纹盘鲍在存活率、增重率、壳长日生长量、壳长特定生长率、体重日增重、体重特定生长率、肥满度、出肉率上差异不显著($P>0.05$)。虽然漂烫海马齿及盐渍海马齿的饵料系数较高, 龙须菜的饵料系数较低, 但是在经济性状上3种饲料对皱纹盘鲍具有相同的饲养效果。

2.3 海马齿饵料对皱纹盘鲍肌肉营养成分的影响

由表4可知, LXC-Z组肌肉水分略高, 水分含量为(78.4±0.0)%, PTS-Z组与YZS-Z组肌肉水分含量相当, 分别为(77.6±0.2)%、(77.5±0.3)%; 3种饵料饲喂的皱纹盘鲍肌肉的粗脂肪含量相近, 均为0.7%。LXC-Z组与YZS-Z组肌肉的粗蛋白含

表 1 海马齿饵料与龙须菜的常规营养成分

Tab. 1 Common nutritional component contents of *Sesuvium portulacastrum* diets and *Gracilaria lemaneiformis* $n = 3; \bar{x} \pm SD$

营养成分 nutrition content	海马齿嫩茎叶 tender stems and leaves of <i>S. portulacastrum</i>	漂烫海马齿 blanched <i>S. portulacastrum</i>	盐渍海马齿 salted <i>S. portulacastrum</i>	龙须菜 <i>G. lemaneiformis</i>
水分/% moisture	87.60±0.02 ^b	89.08±0.01 ^a	59.37±0.04 ^d	86.58±0.19 ^c
粗蛋白/% crude protein	11.97±0.10 ^c	12.49±0.28 ^b	4.16±0.08 ^d	23.11±0.09 ^a
粗脂肪/% crude fat	2.69±0.09 ^b	2.93±0.06 ^a	1.25±0.01 ^c	1.24±0.01 ^c
干基 dry matter				
灰分/% ash	28.01±0.03 ^d	29.10±0.08 ^c	72.80±0.05 ^a	31.61±0.13 ^b
碳水化合物/% carbohydrates	10.47±0.46 ^b	20.34±0.28 ^a	5.74±0.18 ^d	8.84±0.88 ^c
总膳食纤维/% total dietary fibre	46.86±0.51 ^a	35.11±0.12 ^b	16.04±0.03 ^c	35.23±0.41 ^b
能量/(kJ/100 g) energy value	106.12±0.46 ^c	103.44±0.15 ^d	139.38±0.79 ^a	116.87±2.62 ^b

注: 表格中同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$).Note: In the same row, different small letter superscripts mean significant differences ($P < 0.05$).

表 2 海马齿饵料与龙须菜的氨基酸含量组成

Tab. 2 Amino acids composition of *Sesuvium portulacastrum* diets and *Gracilaria lemaneiformis* $n = 3; \bar{x} \pm SD; \%$

氨基酸 amino acid	海马齿嫩茎叶 tender stems and leaves of <i>S. portulacastrum</i>	漂烫海马齿 blanched <i>S. portulacastrum</i>	盐渍海马齿 salted <i>S. portulacastrum</i>	龙须菜 <i>G. lemaneiformis</i>
天冬氨酸* Asp	0.98±0.00 ^b	0.95±0.02 ^b	0.35±0.00 ^c	2.08±0.05 ^a
苏氨酸** Thr	0.47±0.00 ^b	0.44±0.01 ^c	0.16±0.00 ^d	0.99±0.03 ^a
丝氨酸* Ser	0.53±0.00 ^b	0.46±0.01 ^c	0.17±0.00 ^d	1.06±0.03 ^a
谷氨酸* Glu	1.47±0.00 ^b	1.43±0.03 ^b	0.48±0.00 ^c	2.52±0.06 ^a
甘氨酸** Gly	0.57±0.00 ^b	0.54±0.01 ^b	0.20±0.00 ^c	1.17±0.03 ^a
丙氨酸** Ala	0.61±0.00 ^b	0.56±0.01 ^c	0.20±0.00 ^d	1.22±0.03 ^a
缬氨酸** Val	0.59±0.00 ^b	0.53±0.01 ^c	0.20±0.00 ^d	1.12±0.03 ^a
蛋氨酸** Met	0.08±0.00 ^b	0.04±0.00 ^c	0.02±0.00 ^d	0.28±0.01 ^a
异亮氨酸** Ile	0.47±0.00 ^b	0.46±0.01 ^b	0.16±0.00 ^c	0.94±0.03 ^a
亮氨酸** Leu	0.81±0.00 ^b	0.76±0.01 ^c	0.28±0.00 ^d	1.41±0.04 ^a
酪氨酸** Tyr	0.39±0.00 ^b	0.38±0.01 ^b	0.13±0.00 ^c	0.75±0.01 ^a
苯丙氨酸*** Phe	0.52±0.00 ^b	0.49±0.01 ^c	0.18±0.00 ^d	0.97±0.03 ^a
赖氨酸** Lys	0.76±0.00 ^b	0.73±0.02 ^b	0.28±0.00 ^c	1.15±0.04 ^a
组氨酸* His	0.24±0.00 ^b	0.22±0.00 ^c	0.09±0.00 ^d	0.26±0.01 ^a
精氨酸* Arg	0.56±0.00 ^b	0.53±0.01 ^b	0.19±0.00 ^c	1.83±0.03 ^a
脯氨酸* Pro	1.77±0.01 ^a	1.67±0.04 ^b	0.44±0.00 ^d	0.91±0.02 ^c
胱氨酸* Cys	0.34±0.00 ^c	0.37±0.00 ^b	0.12±0.00 ^d	0.78±0.02 ^a
色氨酸** Trp	0.13±0.01 ^a	0.13±0.00 ^a	0.05±0.00 ^b	nd
氨基酸总量 Taa	11.26±0.00 ^b	10.69±0.21 ^c	3.71±0.03 ^d	19.45±0.48 ^a
必需氨基酸 EAA	3.81±0.01 ^b	3.58±0.07 ^c	1.34±0.01 ^d	6.86±0.19 ^a
非必需氨基酸 NEAA	7.45±0.01 ^b	7.10±0.14 ^c	2.37±0.02 ^d	12.59±0.29 ^a
EAA/TAA	0.34±0.00 ^c	0.34±0.00 ^c	0.36±0.00 ^a	0.35±0.00 ^b
EAA/NEAA	0.51±0.00 ^c	0.50±0.00 ^d	0.56±0.00 ^a	0.55±0.00 ^b

注: #为呈味氨基酸, **为必需氨基酸, *为非必需氨基酸, nd为未检出, 表格中同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$).Note: # delicious amino acids, ** essential amino acids, * nonessential amino acid; nd stands for not detected. In the same row, different letter superscripts mean significant differences ($P < 0.05$).

表 3 海马齿饵料对皱纹盘鲍生产性能的影响
Tab. 3 Effect of *Sesuvium portulacastrum* diets on culture performance of *Haliotis discus hannai*

项目 item	组别 group		
	PTS-Z	YZS-Z	LXC-Z
存活率/% SR	97.5±0.6 ^a	97.8±2.2 ^a	98.0±1.2 ^a
摄食率/% FI	1.37±0.09 ^b	4.16±0.07 ^a	0.76±0.05 ^c
饵料系数 FCR	3.24±0.24 ^b	6.21±0.17 ^a	1.70±0.16 ^c
增重率/% WGR	42.8±4.0 ^a	44.1±3.3 ^a	44.1±7.1 ^a
壳长日增长量/(μm/d) DG _L	93.0±10.5 ^a	89.1±4.3 ^a	89.0±12.2 ^a
壳长特定生长率/(%/d) SGR _L	0.169±0.019 ^a	0.164±0.005 ^a	0.162±0.021 ^a
体重日增重/(mg/d) DG _W	90.7±9.0 ^a	90.2±13.4 ^a	93.0±14.8 ^a
体重特定生长率/(%/d) SGR _M	0.451±0.041 ^a	0.463±0.029 ^a	0.463±0.067 ^a
出肉率/% MY	44.62±2.62 ^a	44.27±2.44 ^a	43.49±2.68 ^a
肥满度/(g/cm ³) CF	0.1112±0.0032 ^a	0.1156±0.0037 ^a	0.1151±0.0006 ^a

注: PTS-Z 表示漂烫海马齿饲喂的皱纹盘鲍; YZS-Z 表示盐渍海马齿饲喂的皱纹盘鲍; LXC-Z 表示龙须菜饲喂的皱纹盘鲍; 表格中同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).
Note: PTS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by blanched *S. portulacastrum*; YZS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by salted *S. portulacastrum*; LXC-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by *G. lemaneiformis*. In the same row, different letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$).

表 4 海马齿饵料与龙须菜养殖的皱纹盘鲍肌肉的常规营养成分含量

Tab. 4 Common nutritional component contents of the muscle of *Haliotis discus hannai* fed by *Sesuvium portulacastrum* diets or *Gracilaria lemaneiformis*
 $n = 3; \bar{x} \pm SD; \%$

饵料 diet	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude fat	灰分 ash
PTS-Z	77.6±0.2 ^b	15.4±0.2 ^b	0.7±0.0 ^a	1.1±0.0 ^b
YZS-Z	77.5±0.3 ^b	16.0±0.2 ^a	0.7±0.0 ^a	1.2±0.0 ^a
LXC-Z	78.4±0.0 ^a	15.9±0.0 ^a	0.7±0.0 ^a	0.9±0.0 ^c

注: PTS-Z 表示漂烫海马齿饲喂的皱纹盘鲍; YZS-Z 表示盐渍海马齿饲喂的皱纹盘鲍; LXC-Z 表示龙须菜饲喂的皱纹盘鲍; 表格中同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).
Note: PTS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by blanched *S. portulacastrum*; YZS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by salted *S. portulacastrum*; LXC-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by *G. lemaneiformis*. In the same row, different letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$).

量分别为(15.9±0.0)%、(16.0±0.2)%, 差异不显著($P>0.05$); PTS-Z 组肌肉蛋白含量较低, 为(15.4±0.2)%, 与 LXC-Z 组和 YZS-Z 组肌肉的粗蛋白含量差异显著($P<0.05$). PTS-Z 组、YZS-Z 组、LXC-Z 组肌肉的灰分含量分别为(1.1±0.0)%、(1.2±0.0)%、(0.9±0.0)%, 有显著差异($P<0.05$).

由表 5 可知, PTS-Z 组、YZS-Z 组、LXC-Z 组肌肉的羟脯氨酸含量分别为(0.31±0.02)%、

(0.30±0.01)%、(0.32±0.00)%, 根据公式换算, 胶原蛋白的含量分别为(3.01±0.20)%、(2.91±0.09)%、(3.14±0.00)%, 分别占皱纹盘鲍肌肉粗蛋白含量的 19.5%、18.1%、19.8%. 胶原蛋白含量在 3 组之间差异显著($P<0.05$).

表 5 海马齿饵料与龙须菜养殖的皱纹盘鲍肌肉羟脯氨酸及胶原蛋白含量

Tab. 5 Hydroxyproline and collagen content in the muscle of *Haliotis discus hannai* fed by *Sesuvium portulacastrum* diets or *Gracilaria lemaneiformis*
 $n = 3; \bar{x} \pm SD; \%$

成分 composition	PTS-Z	YZS-Z	LXC-Z
羟脯氨酸 Hyp	0.31±0.02 ^b	0.30±0.01 ^c	0.32±0.00 ^a
胶原蛋白 collagen	3.01±0.20 ^b	2.91±0.09 ^c	3.14±0.00 ^a

注: PTS-Z 表示漂烫海马齿饲喂的皱纹盘鲍; YZS-Z 表示盐渍海马齿饲喂的皱纹盘鲍; LXC-Z 表示龙须菜饲喂的皱纹盘鲍; 表格中同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).
Note: PTS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by blanched *S. portulacastrum*; YZS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by salted *S. portulacastrum*; LXC-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by *G. lemaneiformis*. In the same row, different letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$).

由表 6 可知, 3 种饵料养殖的皱纹盘鲍肌肉中共检测出 18 种氨基酸, 氨基酸总量(TAA)为 12.68~13.61 g/100 g, 必需氨基酸(EAA)为 3.97~4.28 g/100 g。EAA/TAA 在 3 种饵料养殖出的皱

纹盘鲍的肌肉中相同, 均为 0.31; EAA/NEAA 的比值为 0.45~0.46。呈味氨基酸占氨基酸总量的 48%, 特别是谷氨酸在所测氨基酸中含量最多, 在 PTS-Z 组、YZS-Z 组、LXC-Z 组肌肉中的含量分别为 (2.19±0.00)%、(2.11±0.01)%和(2.27±0.02)%。呈味氨基酸含量较高, 特别是谷氨酸含量高, 说明 3 种饵料养殖出的皱纹盘鲍的肌肉都比较鲜

表 6 海马齿饵料与龙须菜养殖的皱纹盘鲍肌肉的氨基酸含量组成

Tab. 6 Amino acids composition in the muscle of *Haliotis discus hannai* fed by *Sesuvium portulacastrum* diets or *Gracilaria lemaneiformis*

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

氨基酸 amino acid	PTS-Z	YZS-Z	LXC-Z
天冬氨酸 [#] (Asp)	1.27±0.00 ^b	1.23±0.01 ^c	1.33±0.01 ^a
苏氨酸 [#] (Thr)	0.55±0.00 ^b	0.54±0.00 ^c	0.58±0.00 ^a
丝氨酸 [#] (Ser)	0.66±0.00 ^b	0.64±0.00 ^c	0.70±0.00 ^a
谷氨酸 [#] (Glu)	2.19±0.00 ^b	2.11±0.01 ^c	2.27±0.02 ^a
甘氨酸 [#] (Gly)	1.23±0.03 ^a	1.20±0.01 ^a	1.20±0.01 ^a
丙氨酸 [#] (Ala)	0.80±0.00 ^b	0.77±0.01 ^c	0.83±0.01 ^a
缬氨酸 [#] (Val)	0.56±0.00 ^b	0.54±0.00 ^c	0.58±0.01 ^a
蛋氨酸 [#] (Met)	0.22±0.00 ^c	0.23±0.00 ^b	0.26±0.01 ^a
异亮氨酸 [#] (Ile)	0.51±0.00 ^b	0.49±0.00 ^c	0.53±0.01 ^a
亮氨酸 [#] (Leu)	0.92±0.00 ^b	0.89±0.01 ^c	0.96±0.01 ^a
酪氨酸 [#] (Tyr)	0.40±0.00 ^b	0.39±0.00 ^c	0.42±0.01 ^a
苯丙氨酸 [#] (Phe)	0.42±0.00 ^b	0.41±0.00 ^c	0.44±0.00 ^a
赖氨酸 [#] (Lys)	0.82±0.00 ^b	0.79±0.01 ^c	0.84±0.01 ^a
组氨酸 [#] (His)	0.18±0.00 ^c	0.19±0.01 ^b	0.20±0.01 ^a
精氨酸 [#] (Arg)	1.53±0.01 ^b	1.47±0.01 ^c	1.60±0.01 ^a
脯氨酸 [#] (Pro)	0.62±0.01 ^b	0.59±0.00 ^c	0.64±0.01 ^a
胱氨酸 [#] (Cys)	0.14±0.00 ^a	0.12±0.00 ^b	0.14±0.00 ^a
色氨酸 [#] (Trp)	0.09±0.00 ^a	0.09±0.00 ^a	0.09±0.00 ^a
氨基酸总量(TAA)	13.12±0.04 ^b	12.68±0.08 ^c	13.61±0.11 ^a
必需氨基酸(EAA)	4.09±0.01 ^b	3.97±0.02 ^c	4.28±0.04 ^a
非必需氨基酸(NEAA)	9.02±0.04 ^b	8.71±0.05 ^c	9.32±0.07 ^a
EAA/TAA	0.31±0.00 ^a	0.31±0.00 ^a	0.31±0.00 ^a
EAA/NEAA	0.45±0.00 ^b	0.46±0.00 ^a	0.46±0.00 ^a

注: PTS-Z 表示漂烫海马齿饲喂的皱纹盘鲍; YZS-Z 表示盐渍海马齿饲喂的皱纹盘鲍; LXC-Z 表示龙须菜饲喂的皱纹盘鲍; # 为呈味氨基酸, ** 为必需氨基酸, * 为非必需氨基酸, 表格中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: PTS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by blanched *S. portulacastrum*; YZS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by salted *S. portulacastrum*; LXC-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by *G. lemaneiformis*; # delicious amino acids, ** essential amino acids, * nonessential amino acid. In the same row, different letter superscripts mean significant differences ($P < 0.05$).

美。对于同种同规格的皱纹盘鲍, 除甘氨酸和色氨酸含量没有显著差异 ($P > 0.05$) 外, 不同的饵料会影响肌肉中其他 16 种氨基酸的含量。

基于 FAO/WHO 建议的氨基酸模式, 3 种饵料养殖的皱纹盘鲍肌肉的氨基酸得分如表 7 所示, PTS-Z 组、YZS-Z 组、LXC-Z 组肌肉的氨基酸评分分别是 60.8、58.7 和 59.0, 3 种皱纹盘鲍的第一限制氨基酸是色氨酸(Trp)、第二限制氨基酸是 Met+Cys。根据 FAO/WHO 建议的氨基酸模式对比 PTS-Z 组、YZS-Z 组、LXC-Z 组肌肉的氨基酸评分结果可知, 对于同种同规格的皱纹盘鲍, 不同的饵料会影响到肌肉的必需氨基酸含量和评分。

2.4 海马齿饵料对皱纹盘鲍肌肉脂肪酸含量的影响

由表 8 可知, 在 3 种饵料养殖的皱纹盘鲍的肌肉中共检测出 9 种脂肪酸。PTS-Z 组、YZS-Z 组、LXC-Z 组的脂肪酸总量分别是 (0.28±0.01)%、(0.29±0.00)% 和 (0.25±0.01)%, 虽然 PTS-Z 组和 YZS-Z 组的脂肪酸总量显著高于 LXC-Z 组 ($P < 0.05$), 但 3 种饵料养殖的皱纹盘鲍肌肉的脂肪酸总量均较低, 均属于低脂肪酸食品。在 YZS-Z 组中未检测出豆蔻酸, 在 LXC-Z 组中未检测出亚油酸和 α -亚麻酸。

2.5 海马齿饵料对皱纹盘鲍肌肉质构的影响

由表 9 可知, 3 种饵料养殖的皱纹盘鲍的肌肉弹性和回复力较高且没有明显差异 ($P > 0.05$); 在硬度上, YZS-Z 组 > LXC-Z 组 > PTS-Z 组, 三者差异显著 ($P < 0.05$); 在咀嚼性上, YZS-Z 组肌肉与 LXC-Z 组肌肉差异不显著 ($P > 0.05$), PTS-Z 组肌肉的咀嚼性较差些。

2.6 海马齿饵料与皱纹盘鲍肌肉在 11 种重要氨基酸组成模式上的匹配性

由图 2 可知, 投喂不同饵料养殖的皱纹盘鲍的肌肉在 11 种重要氨基酸的百分比含量组成上基本一致。漂烫海马齿、盐渍海马齿、龙须菜(Trp 未检出)与皱纹盘鲍肌肉在除 Trp 外的 10 种重要氨基酸百分比含量组成上也基本接近。3 种饵料与皱纹盘鲍肌肉在 Val、Ile 含量上基本一致, 在 Leu 上 3 种饵料均比皱纹盘鲍肌肉的含量低; 在 Met+Cys、Phe+Tyr 上, 3 种饵料均比皱纹盘鲍肌肉的含量高; 两种海马齿饵料在 Trp、His 上高于

表 7 海马齿饵料与龙须菜养殖的皱纹盘鲍肌肉的氨基酸评分

Tab. 7 Amino acid score of the muscle of *Haliotis discus hannai* fed by *Sesuvium portulacastrum* diets or *Gracilaria lemaneiformis*
n = 3; $\bar{x} \pm SD$

必需氨基酸 essential amino acid	FAO/WHO 模式/(mg/g N) FAO/WHO model	PTS-Z		YZS-Z		LXC-Z	
		AA/(mg/g)	AAS	AA/(mg/g)	AAS	AA/(mg/g)	AAS
苏氨酸 Thr	250	223.2	89.3	214.8	85.9	228.0	91.2
缬氨酸 Val	310	227.3	73.2	218.8	70.6	228.0	73.5
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	220	146.1	66.4	136.7	62.1	157.2	71.5
异亮氨酸 Ile	250	207.0	82.8	191.4	76.6	208.3	83.3
亮氨酸 Leu	440	373.4	84.9	347.7	79.0	377.4	85.8
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	380	345.0	90.8	312.5	82.2	338.1	89.0
赖氨酸 Lys	340	332.8	97.9	308.6	90.8	330.2	97.1
色氨酸 Trp	60	36.5	60.8	35.2	58.7	35.4	59.0
氨基酸评分 amino acid score		60.8/66.4		58.7/62.1		59.0/71.5	
限制性氨基酸 restrictive amino acid		Trp/Met+Cys		Trp/Met+Cys		Trp/Met+Cys	

注: PTS-Z 表示漂烫海马齿饲喂的皱纹盘鲍; YZS-Z 表示盐渍海马齿饲喂的皱纹盘鲍; LXC-Z 表示龙须菜饲喂的皱纹盘鲍。
Note: PTS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by blanched *S. portulacastrum*; YZS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by salted *S. portulacastrum*; LXC-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by *G. lemaneiformis*.

表 8 海马齿饵料与龙须菜养殖的皱纹盘鲍肌肉的脂肪酸含量组成

Tab. 8 Fatty acids composition in the muscle of *Haliotis discus hannai* fed by *Sesuvium portulacastrum* diets or *Gracilaria lemaneiformis*
n = 3; $\bar{x} \pm SD$; %

脂肪酸 fatty acid	PTS-Z	YZS-Z	LXC-Z
豆蔻酸 C14 : 0	0.01±0.00 ^a	nd	0.01±0.00 ^a
棕榈酸/软脂酸 C16 : 0	0.11±0.00 ^b	0.11±0.00 ^b	0.12±0.00 ^a
硬脂酸 C18 : 0	0.03±0.00 ^a	0.03±0.00 ^a	0.03±0.00 ^a
油酸 C18 : 1 (cis)-9c	0.04±0.00 ^a	0.04±0.00 ^a	0.03±0.00 ^b
亚油酸 C18 : 2 (cis)-9c, 12c	0.01±0.00 ^b	0.02±0.00 ^a	nd
α-亚麻酸 C18 : 3 (ALA)-a	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	nd
花生四烯酸 C20 : 4 (ARA)	0.04±0.00 ^a	0.04±0.00 ^a	0.03±0.00 ^b
花生五烯酸 C20 : 5 (EPA)	0.02±0.00 ^a	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b
二十二碳五烯酸 C22 : 5 (DPA)	0.02±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a
脂肪酸总量 total amount of fatty acids	0.28±0.01 ^b	0.29±0.00 ^a	0.25±0.01 ^c

注: PTS-Z 表示漂烫海马齿饲喂的皱纹盘鲍; YZS-Z 表示盐渍海马齿饲喂的皱纹盘鲍; LXC-Z 表示龙须菜饲喂的皱纹盘鲍; nd 表示未检出; 表格中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: PTS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by blanched *S. portulacastrum*; YZS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by salted *S. portulacastrum*; LXC-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by *G. lemaneiformis*; nd stands for no detected. In the same row, different letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$).

表 9 海马齿饵料对皱纹盘鲍肌肉质构的影响

Tab. 9 Effects of *Sesuvium portulacastrum* diets on texture properties in the muscle of *Haliotis discus hannai*
n = 10; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	组别 group		
	PTS-Z	YZS-Z	LXC-Z
硬度/g hardness	302.54±37.99 ^c	452.14±48.25 ^a	404.46±39.44 ^b
弹性 springiness	0.88±0.08 ^a	0.92±0.03 ^a	0.91±0.05 ^a
咀嚼性 chewiness	231.90±62.78 ^b	380.17±45.68 ^a	340.66±55.26 ^a
回复力 resilience	0.47±0.10 ^a	0.51±0.02 ^a	0.53±0.02 ^a

注: PTS-Z 表示漂烫海马齿饲喂的皱纹盘鲍; YZS-Z 表示盐渍海马齿饲喂的皱纹盘鲍; LXC-Z 表示龙须菜饲喂的皱纹盘鲍; 表格中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: PTS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by blanched *S. portulacastrum*; YZS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by salted *S. portulacastrum*; LXC-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by *G. lemaneiformis*. In the same row, different letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$).

皱纹盘鲍肌肉的含量, 龙须菜中未检出 Trp, 且在 His 含量上低于皱纹盘鲍肌肉的含量。

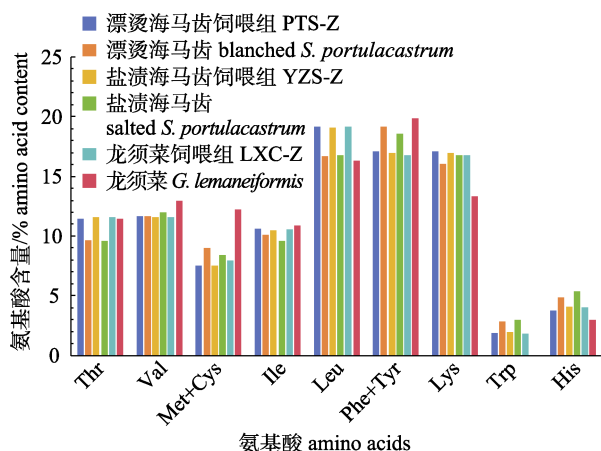


图 2 皱纹盘鲍肌肉与饵料在 11 种重要氨基酸组成模式上的匹配性

Fig. 2 The disposition of 11 important amino acids in diets and muscle of *Haliotis discus hannai*

PTS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by blanched *S. portulacastrum*; YZS-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by salted *S. portulacastrum*; LXC-Z stands for *Haliotis discus hannai* fed by *G. lemaneiformis*.

3 讨论

3.1 海马齿饵料多种营养素对皱纹盘鲍的营养价值

优质的饲料营养全面且平衡, 可以满足养殖动物生长发育的需要, 并能增强动物的免疫能力和抗病能力, 促进动物的健康生长。在蛋白质与氨基酸含量方面, 漂烫海马齿粗蛋白质含量为 12.49%, 低于龙须菜的蛋白质含量 23.11%, 高于海带的(6.4~11.89)%^[37-40], 漂烫海马齿加工成盐渍海马齿后粗蛋白含量由 12.49%降至 4.16%, 这是由于在盐渍过程中加入了较多食盐造成的; 2 种海马齿饵料均含有 18 种氨基酸, 龙须菜含有 17 种氨基酸(缺少 Trp), 海带含有 18 种氨基酸^[40]。由本研究检测结果和前人研究^[40]可知, 海马齿饵料、龙须菜与海带成体的第一限制性氨基酸均是色氨酸(Trp), 海马齿饵料与海带在氨基酸组成上优于龙须菜。Aroyehun 等^[41]研究发现 8 月的马尼拉龙须菜检测不到 Trp, 11 月的马尼拉龙须菜含量也较低, 为 4.37 mg/100 g; 周峙苗等^[42]的研究

也显示龙须菜具有较低的 Trp 含量, 为 20 mg/100 g。龙须菜的 Trp 含量低甚至缺乏可能与龙须菜这个物种有关, 并受产地和季节的影响。福建省东山湾海域全年使用单一的龙须菜进行皱纹盘鲍养殖生产, 并没有因为龙须菜缺乏 Trp 而影响皱纹盘鲍的正常生长与存活。本研究使用龙须菜也取得了较好的养殖效果, 龙须菜与 2 种海马齿饵料养殖的皱纹盘鲍肌肉中 Trp 含量丰富且无明显差异($P>0.05$)。由于 Trp 只能由微生物和植物合成, 人和动物只能从食物中摄取, 在使用单一龙须菜养殖皱纹盘鲍的过程中, 皱纹盘鲍应存在未知的 Trp 补充来源。徐军等^[43]研究发现沉积于鲍腹足肌肉的碳、氮总量的(17.8~25.0)%是来源于养殖水体中的颗粒有机物(particulate organic matter, POM)。由于幼鲍和成鲍具有用齿舌刮食附着于固体表面的有机碎屑、底栖硅藻的摄食习性, 而没有可以滤食水中颗粒有机物的生理构造, 推测 POM 应是先吸附或沉积于固体表面后再被鲍刮食, POM 可能是龙须菜养殖的皱纹盘鲍补充 Trp 的重要途径之一。为明确 POM 是否含有较多的 Trp, 需要对不同养殖海区鲍可利用的 POM 做进一步的营养分析。

饲料中的脂肪既是能源, 也是必需脂肪酸的供给源, 并起到脂溶性维生素载体的作用。漂烫海马齿 2.93%的脂肪含量远高于龙须菜的 1.24%和海带的(0.1%~1.7%)^[37-40], 盐渍海马齿 1.25%的脂肪含量与龙须菜无显著性差异($P>0.05$)。漂烫海马齿的碳水化合物含量 20.34%, 高于龙须菜的含量的 8.84%和盐渍海马齿的 5.74%, 低于海带的 51.9%^[44]。皱纹盘鲍在充足摄食的情况下代谢耗能主要由碳水化合物提供^[45], 较高的碳水化合物含量可以节约皱纹盘鲍由蛋白质提供的能耗, 从而将更多的蛋白质用于生长发育上。鲍是一种典型的草食性贝类, 由于长期摄食大型海藻, 其对低脂肪及高碳水化合物食物具有较强的适应能力, 漂烫海马齿较高的脂肪和碳水化合物含量有利于皱纹盘鲍的生长。

适宜的能量蛋白比有利于能量和蛋白质的利用, 从而提高饲料效率和动物的生产性能。在能

量含量方面, 漂烫海马齿的能量为 103.44 kJ/100 g, 盐渍海马齿的能量为 139.38 kJ/100 g, 龙须菜的能量为 116.87 kJ/100 g, 海带的能量为 101.57 kJ/100 g^[45]; 在能量蛋白比方面, 漂烫海马齿的能量蛋白比是 68.52 kJ/g, 盐渍海马齿的能量蛋白比是 82.46 kJ/g, 龙须菜的能量蛋白比是 37.68 kJ/g, 根据资料推算的海带的能量蛋白比是 94.60 kJ/g^[40,45], 2 种海马齿饵料的能量蛋白比上均处于龙须菜和海带之间, 说明 2 种海马齿饵料在能量蛋白比值上比较适合皱纹盘鲍。

曾碧健等^[18]的研究发现每 100 g 海马齿食用部分含胡萝卜素 0.889 mg、维生素 E 1.08 mg、维生素 B₁ 0.0503mg、维生素 B₂ 0.0088 mg、叶酸<0.01 mg、泛酸(B₅)<0.5 mg、维生素 PP (B₃) 0.527 mg、维生素 B₆ 0.0898 mg、维生素 C<0.2 mg、磷 18 mg/100 g; 杨芳等^[46]的研究也显示每 100 g 海马齿嫩茎叶含维生素 A 0.028 mg、维生素 B₂ 0.049 mg、维生素 C 10.992 mg 和 β -胡萝卜素 1.090 mg。二者的研究差异可能与海马齿的栽培方式与检测部位不同有关。有研究表明一定浓度的维生素 A 可以增加皱纹盘鲍的蛋白质含量^[47], 添加适量的维生素 E 能够促进皱纹盘鲍幼鲍生长^[48], 饲料中添加适量的 VE 和硒能有效提高皱纹盘鲍体内的抗氧化能力^[49], 适量维生素 D 能够促进皱纹盘鲍矿物质在贝壳中的沉积^[50]。皱纹盘鲍对矿物质的需要主要集中在钙、磷用于贝壳的生长^[51]方面。在本研究较短的 80 d 养殖期内, 两种海马齿饵料饲喂的皱纹盘鲍均表现出较好的生长性能和较高的存活率, 至于单一海马齿饵料在较长时间的饲喂下是否会导致纹盘鲍维生素或矿物质的缺乏还需要进一步的研究。

综上, 在食物多种营养素上, 虽然海马齿饵料的蛋白含量比龙须菜低, 但是在 11 种重要氨基酸组成模式上, 漂烫海马齿比龙须菜更贴近皱纹盘鲍肌肉的氨基酸组成模式。在养殖实验中, 使用海马齿饵料取得了与使用龙须菜相似的饲喂效果。

3.2 漂烫对海马齿适口性的改善及与皱纹盘鲍刮食习性的适应性分析

适口性是优良饲料产品的必备要素^[52], 也是

评判食物的重要感官指标^[53], 直接影响饲喂动物的采食积极性和采食量。大量研究表明, 食品的气味、滋味、质地、口感、形态、水分含量等因素都会对适口性造成影响^[54]。海马齿属于陆生植物, 在结构与成分上与大型海藻均有较大的差异。海马齿嫩茎叶质地硬脆, 将新鲜海马齿嫩茎叶连续饲喂皱纹盘鲍 2 周, 饥饿的皱纹盘鲍也对其摄食极少, 这个结果说明海马齿嫩茎叶的适口性较差, 皱纹盘鲍不爱摄食。皱纹盘鲍最喜食薄嫩的海藻幼苗, 尤其是巨藻、海带、裙带菜这类薄片海藻的嫩叶, 少食甚至不食老的藻体以及韧度较大的马尾藻和石花菜^[55]。由皱纹盘鲍摄食特性可知食物的硬度和韧度是影响皱纹盘鲍摄食的重要影响因素。海马齿嫩茎叶质地硬脆, 不利于皱纹盘鲍的摄食。

皱纹盘鲍属植食性动物, 利用口球内的齿舌、颚片进行摄食, 主要取食方式为刮食, 由于齿舌长期与食物表面磨擦, 会对齿舌造成一定程度上的磨损^[3]。通过显微镜观察皱纹盘鲍活体的颚片, 发现皱纹盘鲍颚片边缘呈稠密软毛刷状, 颚片的这种构造难以切碎食物, 推测皱纹盘鲍颚片的主要功能是刷取物体表面上的有机物质, 以及用来钳住较细小的食物以便齿舌的刮食。Kawashima 等^[56]研究发现, 皱纹盘鲍喜欢摄食裙带菜叶片而不摄食较硬的裙带菜叶柄, 当把裙带菜叶柄水煮软化后, 皱纹盘鲍幼鲍和成鲍对煮过的叶柄日摄食量远远超过裙带菜叶片。吴永沛^[57]在研究鲍人工配合饲料时也发现, 鲍具有喜食质地柔软的饲料的习惯。这些研究表明质地柔软的饲料符合皱纹盘鲍的摄食习性。皱纹盘鲍对漂烫后的海马齿嫩茎叶摄食量大幅度提高的一个重要原因是漂烫可以软化质地硬脆的海马齿嫩茎叶, 盐渍海马齿也保持了漂烫海马齿质地较软这一特性。综上, 漂烫至少从质地方面改善了海马齿对皱纹盘鲍的适口性, 至于漂烫、盐渍过程对海马齿嫩茎叶中其他影响适口性因素的改变还需要进一步研究。

3.3 海马齿饵料对皱纹盘鲍肌肉营养成分及质构的影响

有研究表明, 饵料对动物肌肉品质的影响受

到养殖动物的发育阶段、遗传特点、生长环境、饲养方式等多种因素的影响,不同的饵料又影响到养殖动物的养殖性能、生理代谢和生化组成等^[7,58-60]。李方洲等^[7]在对不同饵料对皱纹盘鲍养殖效果的研究中指出,投喂不同饵料组的皱纹盘鲍的足肌营养成分不同。丁建姿等^[61]的研究表明,相同年龄不同品系的皱纹盘鲍的足肌营养成分也不相同。在本研究中,3种饵料饲喂的皱纹盘鲍在水分、粗蛋白、灰分含量上也不相同。

丁建姿等^[61]的研究还表明,福建海域与山东海域养殖的皱纹盘鲍在脂肪含量上存在一定的差异。在本研究中,3种饵料养殖的皱纹盘鲍在粗脂肪含量上差异却不明显,其原因可能在于一是腹足作为运动器官本身肌脂肪含量低;二是饵料种类和实验条件的不同也会导致结果不同。在脂肪酸含量上,两种海马齿饵料增加了皱纹盘鲍肌肉的亚油酸和 α -亚麻酸含量。亚麻酸与亚油酸都是人体必需脂肪酸,亚油酸具有降低人体血液中胆固醇和血脂的作用, α -亚麻酸在体内可转化为DHA、DPA、EPA等,具有多种重要的生理功能。

本研究发现,皱纹盘鲍肌肉具有较高的胶原蛋白含量,占肌肉蛋白含量的(18.06~19.78)%,高于大多数水产动物,较高的胶原蛋白含量赋予了鲍肌肉鲜嫩、清脆的口感和良好的弹性及咀嚼性。在本研究中,漂烫海马齿与盐渍海马齿对硬度和咀嚼性的影响差异较显著($P<0.05$),如姜维波等^[62]使用发芽蚕豆与发芽豌豆饲养草鱼可以显著提高草鱼肌肉的硬度与咀嚼性,盐渍海马齿也显著提高了皱纹盘鲍肌肉的硬度,但对咀嚼性的改变不明显。漂烫海马齿却显著地($P<0.05$)降低了皱纹盘鲍肌肉的硬度和咀嚼性。人们在饮食过程中,口腔和面颊的舒适度则由食物肌肉的硬度来决定^[63]。盐渍海马齿饲喂的皱纹盘鲍肌肉硬度相对较高,可能在食用口感上具有一定优势,而漂烫海马齿饲喂的皱纹盘鲍肌肉硬度和咀嚼性较低,可能在食用口感上不具有优势。

本研究结果表明,虽然两种海马齿饵料会对皱纹盘鲍肌肉的水分、粗蛋白、灰分含量、部分脂肪酸含量、硬度和咀嚼性产生影响,但是3种饲料饲喂的皱纹盘鲍具有相似的粗脂肪含量、氨

基酸组成模式,EAA/TAA、呈味氨基酸含量、第一限制氨基酸和第二限制氨基酸、肌肉组织的弹性和回复力。

4 结论

与皱纹盘鲍传统饵料龙须菜、海带相比较,海马齿饵料在多种营养素含量上均适合皱纹盘鲍的营养需要。皱纹盘鲍拒食质地硬脆的海马齿嫩茎叶,经漂烫或盐渍后质地变软的海马齿嫩茎叶比较适合皱纹盘鲍的摄食习性,皱纹盘鲍可以大量摄食。两种海马齿饵料在80 d内均可以替代龙须菜作为皱纹盘鲍的饵料,漂烫海马齿、盐渍海马齿饲喂的皱纹盘鲍与龙须菜饲喂的皱纹盘鲍,在壳长日增长量、体重日增重、存活率、出肉率这4个主要生产指标上无显著差异($P>0.05$)。两种海马齿饵料饲喂的皱纹盘鲍均具有良好的生产性能和营养价值,盐渍海马齿有助于改善皱纹盘鲍的肌肉质地。

参考文献:

- [1] Zeng L T, Zhong S Y, You W W, et al. Effects of south-north relay mode on the nutritive compositions of *Haliotis discus hannai*[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(1): 111-117. [曾莉婷, 钟诗懿, 游伟伟, 等. 南北接力养殖对皱纹盘鲍营养成分的影响[J]. 水产学报, 2020, 44(1): 111-117.]
- [2] Administrative Department for Fisheries the Ministry for Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China Fisheries Statistical Yearbook 2023[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2023. [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴2023[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.]
- [3] Liu C L, Guo C H, Cui L B, et al. Observation on the radula of *Haliotis Hannai* Ino. with SEM[J]. Journal of Yantai University (Natural Science and Engineering), 1996(4): 25-30. [刘传琳, 郭承华, 崔龙波, 等. 皱纹盘鲍舌扫描电镜下的形态观察[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 1996(4): 27-32.]
- [4] Li S P, Chao S S, Gao S L. Present situation and countermeasures of abalone culture industry in China[J]. Jiangxi Fishery Science and Technology, 2019(6): 44-46. [李帅鹏, 晁珊珊, 高仕林. 我国鲍鱼养殖产业现状与对策[J]. 江西水产科技, 2019(6): 44-46.]
- [5] Wang W L, Xu Y, Ji D H, et al. Advances in seaweed breeding technology and its applications[J]. Journal of

- Fisheries of China, 2023, 47(11): 119104. [王文磊, 徐燕, 纪德华, 等. 大型海藻育种技术研究进展及其应用[J]. 水产学报, 2023, 47(11): 119104.]
- [6] Lin W L, Huang H L, Luo X, et al. Analysis of abalone production situation in post-epidemic era[J]. Ocean and Fishery, 2020(12): 72-73. [林位琅, 黄洪龙, 骆轩, 等. 后疫情时代鲍鱼生产形势分析[J]. 海洋与渔业, 2020(12): 72-73.]
- [7] Li F Z, Huang Y D, Guo Y J, et al. Effect of different feed on breeding effect of wrinkled abalone[J]. Feed Research, 2022, 45(7): 56-61. [李方洲, 黄亚冬, 郭永军, 等. 不同饵料对皱纹盘鲍养殖效果的影响[J]. 饲料研究, 2022, 45(7): 56-61.]
- [8] Sun Y H. The application prospect of seaweed feed resources[J]. Zhejiang Journal Animal Science and Veterinary Medicine, 2020, 45(5): 47. [孙耀华. 海藻饲料应用资源前景[J]. 浙江畜牧兽医, 2020, 45(5): 47.]
- [9] Kim Y E, Myung S H, Kim H S, et al. Effect of dietary substitution of sea tangle (ST), *Laminaria japonica* with rice bran (RB) on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*) [J]. Aquaculture Research, 2016, 47(4): 1202-1208.
- [10] Ma Y B, Zou W G, Liu Y B, et al. Optimized formula for the hybrid abalone *Haliotis discus hannai* ♀ × *H. fulgens* ♂: Betaine supplementation increases the use of rice bran meal as a replacement for kelp[J]. Aquaculture, 2024, 579: 740161.
- [11] Jeong S C, Jee Y T, Son P W. Indoor tank culture of the abalone *Haliotis discus hannai* II. Effects of diets on growth of young abalone[J]. Journal of Aquaculture, 1994, 7(2): 77-87.
- [12] Baek S I, Kim P Y, Jeong H S, et al. The effect of dietary substitution of *Undaria pinnatifida* with carrot leaf by-product on the growth and soft body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846)[J]. Journal of Applied Phycology, 2019, 31(5): 3235-3243.
- [13] Yun A, Lee K W, Kim P Y, et al. Substitution effect of *Undaria pinnatifida* with citrus (*Citrus unshiu*, Marcovitch) peel by-product in feed on the growth, body composition and air exposure stressor of juvenile abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846)[J]. Aquaculture Nutrition, 2020, 26(2): 466-476.
- [14] Dai Q H, Cho S H. Dietary inclusion effect of citrus peel by-product as an additive on the growth performance, body composition, and various stress resistance of juvenile abalone (*Haliotis discus*) compared to ethoxyquin[J]. Aquaculture Reports, 2022, 24: 101187.
- [15] Dai Q H, Cho S H. Dietary effect of substituting *Saccharina japonica* with cabbage extract by-product on the growth, body composition and air exposure of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai* Ino 1952)[J]. Aquaculture Reports, 2022, 22: 100977.
- [16] Li R, Dai Q, Cho S H. Substitution effect of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) by-product for *Saccharina japonica* in feeds on growth, carcass chemical composition, and air exposure resistance of abalone (*Haliotis discus*, Reeve 1846)[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2023, 54(4): 882-898.
- [17] Chen H Y. Flora of Hainanica[M]. Beijing: Science Press, 1964. [陈焕镛. 海南植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1964.]
- [18] Zeng B J, Dou B X, Li Z F, et al. Salt tolerance of environmental salinity stress and comprehensive evaluation of nutritional value of *Sesuvium portulacastrum*, an important halophyte[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2017, 48(3): 568-575. [曾碧健, 窦碧霞, 黎祖福, 等. 海洋盐生植物海马齿(*Sesuvium portulacastrum*)对环境盐度胁迫的耐受性及营养价值综合评价[J]. 海洋与湖沼, 2017, 48(3): 568-575.]
- [19] Magwa M L, Gundidza M, Gweru N, et al. Chemical composition and biological activities of essential oil from the leaves of *Sesuvium portulacastrum*[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2006, 103(1): 85-89.
- [20] Yang F, Yang M F, Zheng S H, et al. Study on the in-situ remediation effects of *Sesuvium portulacastrum* ecological floating beds in Dongshan Bay[J]. Journal of Fisheries Research, 2019, 41(3): 225-233. [杨芳, 杨妙峰, 郑盛华, 等. 东山湾海马齿生态浮床原位修复效果研究[J]. 渔业研究, 2019, 41(3): 225-233.]
- [21] Li Q Q, Luo L Q, Chen Y F, et al. Selection of salt-tolerant plants for high-salinity wastewater treatment by constructed wetlands[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2017, 23(5): 873-878. [李芊芊, 罗柳青, 陈洋芳, 等. 高盐污水处理人工湿地中耐盐植物的筛选[J]. 应用与环境生物学报, 2017, 23(5): 873-878.]
- [22] Zeng B J, Yue X C, Li Z F, et al. Effect of ecological floating bed on zooplankton community structure in a mariculture pond[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(2): 354-359. [曾碧健, 岳晓彩, 黎祖福, 等. 生态浮床原位修复对海水养殖池塘浮游动物群落结构的影响[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(2): 354-359.]
- [23] Fan W, Li W J, Fu G, et al. *Sesuvium portulacastrum* L., a promising halophyte in research and application[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2010, 18(6): 689-695. [范伟, 李文静, 付桂, 等. 一种兼具研究与应用开发价值的盐生植物——海马齿[J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(6): 689-695.]
- [24] Lokhande V H, Gor B K, Desai N S, et al. *Sesuvium portulacastrum*, a plant for drought, salt stress, sand fixation, food and phytoremediation. A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2013, 33(2): 329-348.
- [25] National Health and Family Planning Commission of the

- People's Republic of China. National food safety standard determination of moisture in foods: GB 5009.3-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [26] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard, determination of protein in foods: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [27] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard, determination of fat in foods: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [28] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard, determination of ash in foods: GB 5009.4—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [29] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard, determination of dietary fiber in foods: GB 5009.88—2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定: GB 5009.88—2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.]
- [30] Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. Fundamental terminology and definition of nutritional component in foods: GB/Z 21922—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008. [中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 食品营养成分基本术语: GB/Z 21922—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.]
- [31] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard, determination of amino acids in foods: GB 5009. 124—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 017. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.]
- [32] Pu Y Y. Determination of sulfur-containing amino acids in milk powder by amino acid analyzer[J]. Farm Products Processing, 2014, 365(9): 35-36. [蒲云月. 氨基酸分析仪法测定奶粉中含硫氨基酸[J]. 农产品加工, 2014, 365(9): 35-36.]
- [33] Pu Y Y, Chen S B. Determination of tryptophan in milk powder by amino acid analyzer[J]. Farm Products Processing, 2015, 390(8): 40-43. [蒲云月, 陈少波. 氨基酸分析仪法测定奶粉中色氨酸[J]. 农产品加工, 2015, 390(8): 41-43.]
- [34] Association of Official Analytical Chemists. AOAC Official method 996.06 fat (total, saturated, and unsaturated) in foods[S]. Gaithersburg: AOAC International, 2001.
- [35] Zhang Z H, Liu Q, Wang P, et al. The rheological properties and structural changes of abalone meat with different drying methods[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2017, 26(2): 205-214.
- [36] FAO/WHO. Energy and protein requirement[R]. Geneva: WHO, 1973.
- [37] Li T, Wang F J, Sun X T, et al. Nutrition assessment on *Saccharina Huangguan* No.1 cultivated in different sea area[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(11): 70-75. [李涛, 王飞久, 孙修涛, 等. 黄官 1 号海带在不同海域的营养成分分析与评价[J]. 食品科技, 2012, 37(11): 70-75.]
- [38] Yao H Q, Wang F J, Liu F L, et al. Chemical analysis and nutritional assessment of new varieties of *Saccharina japonica*[J]. Food Science, 2016, 37(12): 95-98. [姚海芹, 王飞久, 刘福利, 等. 食用海带品系营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 95-98.]
- [39] Fang J H, He W, Mao Y Z, et al. A comparison of nutrients in kelp cultured in standardized and traditional long-line modes in Sanggou Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(2): 170-175. [房景辉, 何为, 毛玉泽, 等. 桑沟湾标准化与传统养殖模式海带的营养成分比较[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(2): 170-175.]
- [40] Ni H, Wang X L, Jiang Z D, et al. Nutritional, taste and texture characteristics of juvenile and adult kelp[J]. Food Science, 2022, 43(23): 34-40. [倪辉, 王晓林, 姜泽东, 等. 海带生长初期与成体期食品原料学特性[J]. 食品科学, 2022, 43(23): 34-40.]
- [41] Aroyehun A Q, Palaniveloo K, Ghazali F, et al. Effects of seasonal variability on the physicochemical, biochemical, and nutritional composition of Western Peninsular Malaysia *Gracilaria manilaensis*[J]. Molecules, 2019, 24(18): 3298.
- [42] Zhou Z M, He Q, Ma X Y. Evaluation of nutritional components in *Gracilaria lemaneiformis*[J]. Food Science, 2010, 31(9): 284-287. [周峙苗, 何清, 马晓宇. 东海红藻龙须菜的营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 284-287.]
- [43] Xu J, Wang S, Huang H X, et al. Research on spatial difference of diet of cultured abalone by stable carbon and nitrogen isotope[J]. Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition), 2017, 45(3): 454-458. [徐军, 王沈, 黄红霞, 等. 应用碳氮稳定同位素比较养殖鲍鱼食性的空间差异[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2017, 45(3): 454-458.]
- [44] Pomin V H. Seaweed: Ecology, nutrient composition and medicinal uses[M]. New York: Nova Science Publishers,

- 2011: 15-47.
- [45] Ren L H, Zhang J H, Wang W Q, et al. Effects of three dietary treatments on the energy budget of different sized *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Progress in Fishery Sciences, 2011, 32(5): 51-57. [任黎华, 张继红, 王文琪, 等. 饵料对不同规格皱纹盘鲍能量收支的影响[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(5): 51-57.]
- [46] Yang F, Luo D L, Zheng H D, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in spears and leaflets of *Sesuvium portulacastrum* in Dongshan Bay[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2024, 63(1): 142-148. [杨芳, 罗冬莲, 郑惠东, 等. 东山湾海马齿嫩茎和嫩叶的营养成分分析与评价[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2024, 63(1): 142-148.]
- [47] Zhou Q C, Mai K S, Tan B P. Effects of vitamin A on growth, survival and carcass composition of juvenile *Haliotis discus hannai*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2000, 7(1): 118-120. [周歧存, 麦康森, 谭北平. 维生素A对皱纹盘鲍幼鲍生长、存活及体成分的影响[J]. 中国水产科学, 2000, 7(1): 118-120.]
- [48] Zhou Q C, Mai K S, Tan B P, et al. The effects of vitamin E on growth, survival and carcass composition of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai* Ino)[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32(2): 125-131. [周歧存, 麦康森, 谭北平, 等. 维生素E对皱纹盘鲍幼鲍生长、存活及体成分的影响[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(2): 125-131.]
- [49] Wan M, Mai K S, Ma H M, et al. Effects of dietary selenium and vitamin E on antioxidant enzyme activities in abalone, *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2004, 28(5): 496-503. [万敏, 麦康森, 马洪明, 等. 硒和维生素E对皱纹盘鲍血清抗氧化酶活力的影响[J]. 水生生物学报, 2004, 28(5): 496-503.]
- [50] Zhou Q C, Mai K S. Studies on the nutritional requirement of vitamin D for *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(2): 155-160. [周歧存, 麦康森. 皱纹盘鲍维生素D营养需要的研究[J]. 水产学报, 2004, 28(2): 155-160.]
- [51] Zhang W B, Mai K S, Tan B P, et al. Effects of phosphorus-deficiency on shell biomineralization in abalone *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Chinese High Technology Letters, 2002, 12(9): 59-64. [张文兵, 麦康森, 谭北平, 等. 缺磷对皱纹盘鲍贝壳生物矿化的影响[J]. 高技术通讯, 2002, 12(9): 59-64.]
- [52] Zhu Z W, Wang S F, Zhou M X. Influencing factors analysis of feed quality in feed production and management[J]. Feed Research, 2019, 42(12): 118-121. [朱中伟, 汪善锋, 周明夏. 饲料生产管理中影响饲料品质因素的分析[J]. 饲料研究, 2019, 42(12): 118-121.]
- [53] Johnson F, Wardle J. Variety, palatability, and obesity[J]. Advances in Nutrition, 2014, 5(6): 851-859.
- [54] Guo F, Chen L L, Wu S M, et al. Research progress on evaluation methods and application of palatability of pet food[J]. Feed Industry, 2023, 44(12): 107-112. [郭斐, 陈乐乐, 毋思敏, 等. 宠物食品适口性评价方法及其应用研究进展[J]. 饲料工业, 2023, 44(12): 107-112.]
- [55] Nie Z Q, Yan J P. Studies on food habit of adult abalone, *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Journal of Fisheries of China, 1985, 9(1): 19-27. [聂宗庆, 燕敬平. 皱纹盘鲍成体摄食习性的初步研究[J]. 水产学报, 1985, 9(1): 19-27.]
- [56] Kawashima A, Agatsuma Y, Taniguchi K. Dietary evaluation of the boiled stipe of wakame, *Undaria pinnatifida*, for growth of the ezo abalone *Haliotis discus hannai*[J]. Suisanzoshok, 2002, 50(1): 97-102.
- [57] Wu Y P. Studies on the stability of the abalone artificial diets[J]. Marine Sciences, 2000, 24(4): 47-49. [吴永沛. 鲍人工配合饲料稳定性的研究[J]. 海洋科学, 2000, 24(4): 47-49.]
- [58] Li S, Guo Q Y, Li B G, et al. Evaluation of culture mode and feed on body color, texture and nutritional composition of cultured *Pseudosciaena crocea*[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(21): 118-125. [李松, 郭全友, 李保国, 等. 养殖模式和饵料对养殖大黄鱼体色、质构和营养成分评价的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(21): 118-125.]
- [59] Sun L H, Li Q, Jiang J H, et al. Analysis on phenotypic traits and muscle nutritional composition of *Cherax quadricarinatus* in different specifications[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2023, 54(3): 885-894. [孙丽慧, 李倩, 姜建湖, 等. 淡水经济虾类红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)不同规格肌肉营养组成及表型性状分析[J]. 海洋与湖沼, 2023, 54(3): 885-894.]
- [60] Zhang X, Li G Q, Li H N, et al. Effects of feed nutrient level and shape on the growth performance of layer chicks during 0 to 60 days of age[J]. China Feed, 2023(13): 64-67. [张霞, 李光奇, 李花妮, 等. 饲料营养水平及形态对0-60日龄蛋雏鸡生长性能的影响[J]. 中国饲料, 2023(13): 64-67.]
- [61] Ding J Z, Yao Y Y, Chang L R, et al. Nutritional components analysis from the gastropod of *Haliotis discus hannai*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(16): 297-303, 307. [丁建姿, 姚艳艳, 常丽荣, 等. 皱纹盘鲍腹足营养成分分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(16): 297-303, 307.]
- [62] Jiang W B, Li X Q, Ji D, et al. Comparative study on effects of germinated broad bean and germinated pea on growth and flesh quality of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(1): 83-93. [姜维波, 李小勤, 冀东, 等. 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼生长和肉质影响的比较[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(1): 83-93.]
- [63] Hovenier R, Kanis E, van Asseldonk T, et al. Breeding for pig meat quality in halothane negative populations-a review[J]. Pig News and Information, 1993, 14: 17-25.

Effects of two processing methods of *Sesuvium portulacastrum* diet on culture performance, nutrient composition, and muscle texture properties of *Haliotis discus hannai*

LI Leibin, QIAO Kun, QI Jianfei, WEN Ping, FANG Minjie, GUO Shaopeng, LIU Zhiyu, LIN Qi, ZENG Qingmin

Fisheries Research Institute of Fujian, Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Xiamen 361013, China

Abstract: The increase in feed costs has significantly impacted the sustainable development of the Chinese abalone industry. The halophyte sea purslane (*Sesuvium portulacastrum*) is nutritionally valuable and shows potential as a novel bait source for abalone. We analyzed the nutrient composition of blanched and salted sea purslane to assess the value of sea purslane as abalone feed. Subsequently, blanched and salted sea purslane were separately used as the sole feed for Pacific abalone (*Haliotis discus hannai*) with the same specifications in each group (shell length: 5.161 ± 0.315 cm, body weight: 16.90 ± 3.07 g). The red alga *Gracilaria lemaneiformis* served as the control feed. The abalone were fed once every 4 days over an 80-day culture cycle, with sufficient feed dispensed each time to ensure the provision of adequate feed and the generation of leftovers. There were four main findings. First, moisture, energy, crude protein (dry basis), crude fat, carbohydrate, and ash contents were ($89.08 \pm 0.01\%$), (103.44 ± 0.15) kJ/100 g, ($12.49 \pm 0.28\%$), ($2.93 \pm 0.06\%$), ($20.34 \pm 0.28\%$), and ($29.10 \pm 0.08\%$), respectively, for blanched sea purslane and ($59.37 \pm 0.04\%$), (139.38 ± 0.79) kJ/100 g, ($4.16 \pm 0.08\%$), ($1.25 \pm 0.01\%$), ($5.74 \pm 0.18\%$), and ($72.80 \pm 0.05\%$), respectively, for salted sea purslane. Both types of sea purslane feed contained 18 amino acids, indicating a comprehensive amino acid profile that was relatively close to that of Pacific abalone muscle in terms of the presence of 11 important amino acids. Second, the two types of sea purslane feed significantly influenced the feed intake (FI) and feed conversion ratio (FCR) of Pacific abalone ($P < 0.05$). The FI and FCR were highest in abalone that fed on salted sea purslane and lowest in abalone that fed on *G. lemaneiformis*. Neither type of sea purslane feed significantly influenced the survival rate, average daily shell length gain, average daily body weight gain, specific growth rate of shell length, specific growth rate of body weight, condition factor, or meat yield of Pacific abalone ($P > 0.05$). Third, both types of sea purslane feed significantly increased the ash content and reduced the moisture, collagen, and total amino acid contents of Pacific abalone muscle ($P < 0.05$); however, they did not significantly influence the crude fat content, essential amino acids/total amino acids ratio, first limiting amino acid content ($P > 0.05$). The sea purslane feed could increase the linoleic acid and α -linolenic contents of Pacific abalone muscle. Fourth, there were no significant differences in the influence of the two types of sea purslane feed on the springiness and resilience of Pacific abalone muscle tissue ($P > 0.05$). However, blanched sea purslane significantly reduced the hardness and chewiness of the muscle tissue ($P < 0.05$), while salted sea purslane significantly increased the hardness of the muscle tissue ($P < 0.05$). In conclusion, both types of sea purslane feed can replace *G. lemaneiformis* as feed for Pacific abalone within an 80-day culture cycle. Pacific abalone fed with sea purslane had good production performance and nutritional value, with salted purslane contributing to improved abalone muscle texture.

Key words: *Sesuvium portulacastrum*; *Haliotis discus hannai*; *Gracilaria lemaneiformis*; blanching; salting

Corresponding author: LIN Qi. E-mail: xmqlin@sina.com