

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.01092

浒苔对刺参幼参生长影响的初步研究

李晓, 王颖, 吴志宏, 刘天红, 孙元芹, 李红艳

山东省海水养殖研究所, 山东 青岛 266002

摘要: 对浒苔(*Enteromorpha prolifera*)的一般营养成分、氨基酸及脂肪酸含量进行测定, 并以浒苔为原料投喂体质量(5.26±0.14) g 的刺参(*Apostichopus japonicas* Selenka)幼参, 与幼参常用饵料如鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)、马尾藻(*Sargassum muticum*)、海带(*Laminaria japonica*)进行效果对比。营养成分检测结果显示, 浒苔蛋白质含量为15.7%, 其中含量较高的氨基酸有天门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸等; 脂肪含量低(1%), 多不饱和脂肪酸比例较高(0.24%); 浒苔中各重金属(无机砷、镉、铅、甲基汞)含量均低于国家相关限量标准。以4种海藻为饵料投喂幼参70 d后, 各组刺参幼参生长良好, 成活率无明显差异($P>0.05$), 幼参体质量均显著增长($P<0.05$); 各组刺参的特定生长率(SGR)由高到低依次为鼠尾藻组、浒苔组、马尾藻组、海带组; 摄食率(IR)由高到低依次为海带、马尾藻、浒苔、鼠尾藻, 饵料转化率(FE)由高到低依次为鼠尾藻组、浒苔组、马尾藻组、海带组。浒苔、鼠尾藻、马尾藻3个投喂组刺参幼参特定生长(SGR)无显著差异($P>0.05$), 但显著高于海带组($P<0.05$)。本研究说明, 浒苔蛋白含量高、脂肪含量低, 可全部或部分替代鼠尾藻添加到幼参饵料。

关键词: 浒苔; 营养成分; 刺参饵料; 生长

中图分类号: S963.71

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)05-1092-08

浒苔(*Enteromorpha*)属于绿藻门(Chlorophyta), 绿藻纲(Chlorophyceae), 石莼目(Ulvales), 石莼科(Ulvaceae), 主要有条浒苔(*Enteromorpha clathrata*)、肠浒苔(*Enteromorpha intestinalis*)、扁浒苔(*Enteromorpha compressa*)、浒苔(*Enteromorpha prolifera*)和小管浒苔(*Enteromorpha tubulosa*)5种^[1], 是中国近海常见的一类大型绿藻, 为黄海、东海海域优势种^[2]。浒苔自古以来即被作为食用和药用植物^[3], 具有丰富的营养成分, 开发潜力大, 可作为一种海洋饵料资源^[4], 用于海水鱼、虾和贝类的饵料配料或添加剂^[5-6]。近年来, 由于全球气候变暖及水体富营养化, 导致浒苔等海洋绿藻大量增殖, 形成“绿潮”^[7], 给沿岸环境构成极大危害。如采用适当的方法将其变废

为宝, 将会取得良好的生态效益和经济效益。

随着刺参(*Apostichopus japonicas* Selenka)养殖业的迅速发展, 刺参饵料的开发越来越受到人们的关注。目前, 在刺参养殖过程中, 稚参阶段饵料多是以鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)、马尾藻(*Sargassum muticum*)为主, 其他大型褐藻碎液为辅^[8]。由于这些常用天然藻类自然资源量显著下降^[5], 而且采收时间有季节限制, 导致刺参饵料原料紧缺, 制约了刺参苗种与养殖产业的发展, 因此亟须寻找一种有效且资源量丰富的藻类作为刺参饵料的新来源。

本研究对浒苔属浒苔的营养成分进行了分析, 与稚参饵料常用的马尾藻、鼠尾藻及海带(*Laminaria japonica*)进行比较, 并对这4种海藻

收稿日期: 2012-12-04; 修订日期: 2013-02-16.

基金项目: 国家海洋局公益性项目(2011418028).

作者简介: 李晓(1985-), 女, 研究实习员, 研究方向为水产品加工与安全. E-mail: lixiaohappy9@163.com

通信作者: 王颖, 研究员, 研究方向为水产养殖及水产品加工. E-mail: food_rc@sina.com

单独投喂刺参幼参的效果进行了比较, 探讨浒苔作为刺参饵料原料的可行性, 为浒苔在水产动物饲料方面的应用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验用浒苔采集于青岛八大峡(2010 年 7 月), 鼠尾藻采集于青岛八大关(2010 年 5 月), 马尾藻、海带购自荣成(2010 年 5 月), 海泥采自即墨鳌山卫。

实验用刺参幼参来自即墨鳌山卫育苗厂。

1.2 饵料制备

浒苔、马尾藻、鼠尾藻、海带、海泥分别烘干, 粉碎, 过 200 目筛备用。各组藻类饵料配置均按藻粉质量添加 2% 食母生和 2% 酵母, 之后添加 3 倍质量的海泥。

1.3 实验设计

刺参取样后暂养 3 d, 期间不投喂饵料。待暂养结束后, 挑选体质健壮, 规格相近的刺参进行投喂实验。刺参个体初始体质量为(5.24±0.11) g, 分为 4 个处理组, 各组分别投喂浒苔(I 组)、马尾藻(II 组)、鼠尾藻(III 组)、海带(IV 组), 每处理组设 3 个重复, 每个重复放置 20 头幼参, 在 60 cm×40 cm×30 cm 的塑料水箱中饲养, 饲养水体 50 L。每天早晚各投喂海参 1 次(9:00AM 和 5:00PM), 投喂饵料量按幼参体质量的 3%。喂养周期 70 d。整个实验在避光条件下进行, 期间保持充氧, 水温控制在(16±1.5)℃。

1.4 养殖条件

养殖用海水先经逐级沉淀, 后经砂滤池处理制得。水质监测结果: pH 8.2±0.2, 盐度 30~31, 氨氮 2.97~4.54 μg/L, 亚硝酸盐 5~10 μg/L。每天定时吸出粪便和残饵, 更换养殖水体的 1/3, 每 10 d 全部更换养殖用水并彻底清洗水箱, 以保证水质清洁。

1.5 样品采集和数据测定

暂养结束后, 随机抽取刺参 10 头, 作为第 0 天样品, 测定湿重和干重; 之后, 从实验第 0 天开始, 每 10 d 从各水箱中随机抽取刺参 10 头, 测定湿重; 喂养实验结束后, 刺参饥饿 48 h, 从各水

箱中随机抽取 10 头, 作为第 70 天的样品, 测定湿重和干重。

湿重测定: 称重时用捞网沥净刺参水分, 之后将刺参放置在干滤纸上 30 s 后称重。为减小操作误差, 测定过程均由固定人员操作。

干重测定: 将测得湿重的刺参 65℃ 下烘干 5 h 后称重。

刺参的质量增长率(G)^[9]、特定生长率(SGR)^[10]、消化率(IR)、饵料转化率(FE)^[11-13]计算公式如下:

$$\text{质量增长率 } G(\%) = [(WW_2 - WW_1) / WW_1] \times 100$$

$$\text{特定生长率 } SGR(\%/d) = 100 (\ln WW_2 - \ln WW_1) / T$$

$$\text{摄食率 } IR(g/g \cdot d) = C / [T(DW_2 + DW_1) / 2]$$

$$\text{饵料转化率 } FE(\%) = 100(DW_2 - DW_1) / C$$

式中, WW_2 和 WW_1 分别为实验初始和结束时刺参湿重, DW_1 和 DW_2 分别为实验初始和结束时刺参干重, C 为实验过程中所消耗的饵料干重, T 为实验时间。

1.6 浒苔样品的分析方法

采集样品经鉴定为浒苔属浒苔, 进行了营养成分和重金属含量的测定。

一般营养成分的测定: 水分采用直接干燥法(GB5009.3-2010), 灰分采用高温灼烧法(GB5009.4-2010), 蛋白质采用凯氏定氮法(GB5009.5-2010), 脂肪采用索式抽提法(GB/T5009.6-2003)。

氨基酸的分析: 样品经 6 mol/L HCl 水解, 水解时充氮气 24 h, 采用安米诺西斯氨基酸分析仪自动分析仪测定 17 种氨基酸。另取样品用 5 mol/L NaOH 水解后, 采用同机测定其色氨酸含量。

脂肪酸的分析: 样品经氯仿-甲醇混合液提取后, 用 1 mol/L KOH 处理, 经硫酸甲酯化, 用气相色谱仪测定。

重金属的测定: 铅、镉使用石墨炉原子吸收光谱法进行测定; 无机砷采用高效液相色谱-氢化物发生原子荧光(HPLC-HG-AFS) 联用技术法测定^[14]; 甲基汞采用气相色谱法测定。

1.7 数据统计分析

实验数据以均值±标准误($\bar{x} \pm SE$)表示。实验数据用 SPSS13.0 软件进行差异显著性分析(ANOVA),

并进行 Duncan 多重比较, 差异显著度为 0.05。

2 结果与分析

2.1 四种海藻营养成分的比较

表 1 表明, 浒苔蛋白质含量为 15.7%, 仅次于鼠尾藻, 高于亨氏马尾藻和海带; 浒苔脂肪含量低于亨氏马尾藻, 而高于鼠尾藻和海带; 灰分含量仅高于鼠尾藻, 而低于马尾藻和海带。

表 1 4 种藻类基本营养成分的比较

Tab.1 Comparison of basic nutrition of different marine algae %

| 营养成分(以干基计) nutrient content(dry basis) | 蛋白质 protein | 脂肪 fat | 灰分 ash |
|--|----------------|-----------|-----------|
| 浒苔 <i>Enteromorpha prolifera</i> | 15.70 | 1 | 14.70 |
| 亨氏马尾藻 ^[15] <i>Sargassum henslowianum</i> ^[15] | 14.20 | 1.17 | 23.4 |
| 鼠尾藻 ^[16] <i>Sargassum thunbergii</i> ^[16] | 19.35 | 0.41 | 14.44 |
| 海带 <i>Laminaria japonica</i> | 8.70 | 0.20 | 20.00 |

表 2 3 种藻类氨基酸含量的比较

Tab.2 Comparison of amino acid content of different marine algae

g·100⁻¹·g⁻¹(DW)

| 氨基酸名称 amino acid | 浒苔 <i>Enteromorpha prolifera</i> | 亨氏马尾藻 ^[15] <i>Sargassum henslowianum</i> ^[15] | 鼠尾藻 ^[16] <i>Sargassum thunbergii</i> ^[16] |
|--|-------------------------------------|--|--|
| 天门冬氨酸 Asp** | 1.89 | 0.99 | 1.48 |
| 苏氨酸 Thr* | 1.00 | 0.40 | 0.68 |
| 丝氨酸 Ser** | 0.70 | 0.35 | 0.49 |
| 谷氨酸 Glu** | 1.76 | 3.24 | 3.11 |
| 脯氨酸 Pro | 0.51 | 1.12 | — |
| 甘氨酸 Gly** | 0.9 | 0.96 | 0.75 |
| 丙氨酸 Ala** | 1.53 | 1.17 | 1.33 |
| 缬氨酸 Val* | 0.65 | 0.60 | 0.94 |
| 胱氨酸 Cys | 0.71 | — | 0.10 |
| 蛋氨酸 Met* | 0.15 | 0.09 | 0.31 |
| 异亮氨酸 Ile* | 0.64 | 0.44 | 0.78 |
| 亮氨酸 Leu* | 1.01 | 0.70 | 1.38 |
| 酪氨酸 Tyr | 0.22 | 0.25 | 0.42 |
| 苯丙氨酸 Phe* | 0.75 | 0.44 | 0.67 |
| 组氨酸 His | 0.35 | 0.14 | 0.21 |
| 色氨酸 Trp* | 0.17 | 0.17 | 0.07 |
| 赖氨酸 Lys* | 0.44 | 0.51 | 1.12 |
| 精氨酸 Arg | 0.73 | 0.57 | 0.81 |
| 氨基酸总量 total amine acids content (TAA) | 14.11 | 12.14 | 14.71 |

注: *为必需氨基酸; **为风味氨基酸。

Note: * means essential amino acid; ** means flavor amino acid.

对浒苔、亨氏马尾藻和鼠尾藻这 3 种蛋白质含量高的藻类进行氨基酸含量比较, 发现每 100 g 藻类干品中, 氨基酸总量由高到低依次为鼠尾藻、浒苔、亨氏马尾藻, 其中浒苔和鼠尾藻中氨基酸总量较为接近。浒苔中含量较高的氨基酸有天门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸和苏氨酸(表 2)。

浒苔脂肪酸组成如表 3 所示, 饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸分别占脂肪酸含量的 57.14%、42.86%。多不饱和脂肪酸含量较高, 占脂肪酸含量的 24.49%, 其中 Ω 3 脂肪酸占 12.24%, Ω 6 脂肪酸占 11.22%。

2.2 浒苔重金属含量

重金属是评价藻类安全的重要指标。4 种主要重金属的测定结果表明, 浒苔中无机砷含量较低, 远低于 GB 19643—2005《藻类制品卫生标准》和 GB 13078—2001《饲料卫生标准》中的最低限

表 3 浒苔的脂肪酸组成和含量

Tab.3 Composition and content of fat acid of *Enteromorpha prolifera*

g·100⁻¹·g⁻¹(DW)

| 脂肪酸 fat acid | 含量 content |
|-----------------|---------------|
| ∑SFA | 0.56 |
| ∑MUFA | 0.18 |
| ∑PUFA | 0.24 |
| ∑Ω 3PUFA | 0.12 |
| ∑Ω 6PUFA | 0.11 |
| ∑Ω 9PUFA | 0.16 |

量要求, 镉、铅含量也均在安全限量内, 未检出甲基汞(表 4)。

2.3 不同藻类投喂对刺参生长与存活率的影响

实验过程中, 各组水质正常, 刺参摄食良好, 无异常死亡。实验结束时, 刺参形体肥满, 棘刺坚挺, 伸展性良好。不同藻类投喂对刺参生长的影响见表 5。投喂 70 d 后, 各处理组刺参体质量均得到了增长, 终体质量均显著大于初始体质量 ($P<0.05$); 各处理组刺参终体质量由高到低依次为鼠尾藻组、浒苔组、马尾藻组、海带组; 摄食

不同饵料的幼参特定生长率(SGR)由高到低依次为鼠尾藻组、浒苔组、马尾藻组、海带组。实验结束后, 浒苔投喂组海参的质量增长率为(99.43±5.48)%, 与马尾藻、鼠尾藻投喂组之间无显著差异($P>0.05$), 但显著高于海带投喂处理($P<0.05$)。

从图 1 中可以看出, 0~40 d, 浒苔投喂刺参的长势良好, 体质量始终大于鼠尾藻和马尾藻投喂的刺参, 与鼠尾藻组差异不显著($P>0.05$); 40~50 d 浒苔组出现负增长, 鼠尾藻组刺参体质量超过浒苔组, 但浒苔组的刺参体质量大于马尾藻组; 50~70 d, 浒苔组海参体质量继续增长, 虽低于鼠尾藻组, 但差异不显著($P>0.05$)。

由表 6 可见, 0~10 d, 20~30 d 浒苔投喂的刺参组 SGR 大于其他各组; 10~20 d 浒苔投喂的刺参 SGR 低于鼠尾藻组和海带组($P<0.05$); 30~40 d 及 50~60 d 浒苔投喂组刺参 SGR 低于马尾藻组($P>0.05$); 40~50 d 浒苔投喂组出现负增长; 60~70 d 浒苔投喂的刺参 SGR 低于马尾藻组($P<0.05$)。但总体上, 0~40 d 各组投喂刺参的 SGR 较高, 刺参生长良好; 40~70 d 各组的 SGR 较前 40 d 要低。

表 4 浒苔重金属元素含量

Tab.4 Content of heavy metal of *Enteromorpha prolifera*

mg·kg⁻¹

| 重金属(以干基计) heavy metal(dry basis) | 无机砷 inorganic arsenic | 镉 Cd | 铅 Pb | 甲基汞 methyl mercury |
|-------------------------------------|--------------------------|---------|---------|-----------------------|
| 浒苔 <i>Enteromorpha prolifera</i> | 0.28 | 0.603 | 0.677 | 未检出 not detected |
| GB19643—2005 | ≤1.5 | — | ≤1.0 | ≤0.5 |
| GB13078—2001 | ≤2.0 | ≤0.75 | ≤5.0 | ≤0.5 |

表 5 不同藻类投喂对刺参体质量和生长率的影响

Tab.5 Body weight and growth rate of *Apostichopus japonicus* fed with different alge

n=10; $\bar{x} \pm SE$

| 处理 treatment | 初始湿重/g initial wet weight | 初始干重/g initial dry weight | 终湿重/g final wet weight | 终干重/g final dry weight | 质量增长率/% weight gain rate | 特定生长率 /(%·d ⁻¹) SGR |
|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 浒苔 <i>Enteromorpha prolifera</i> | 5.21±0.12 | 0.40±0.01 | 10.90±0.50 ^a | 1.25±0.06 ^a | 99.43±5.48 ^a | 1.63±0.04 ^a |
| 马尾藻 <i>Sargassum muticum</i> | 5.27±0.09 | 0.40±0.00 | 10.75±0.57 ^a | 1.22±0.07 ^a | 92.45±13.97 ^a | 1.58±0.10 ^a |
| 鼠尾藻 <i>Sargassum thunbergii</i> | 5.25±0.11 | 0.40±0.01 | 11.90±0.70 ^a | 1.29±0.08 ^a | 108.3±17.22 ^a | 1.69±0.11 ^a |
| 海带 <i>Laminaria japonica</i> | 5.30±0.14 | 0.41±0.01 | 7.75±0.05 ^b | 0.80±0.05 ^b | 43.13±3.75 ^b | 0.95±0.11 ^b |

注: 同一列标有不同相邻字母表示差异显著($P<0.05$), 不同相间字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: Adjacent different letters in the same column indicate significant difference($P<0.05$), non-adjacent letters in the same column indicate extremely significant difference($P<0.01$).

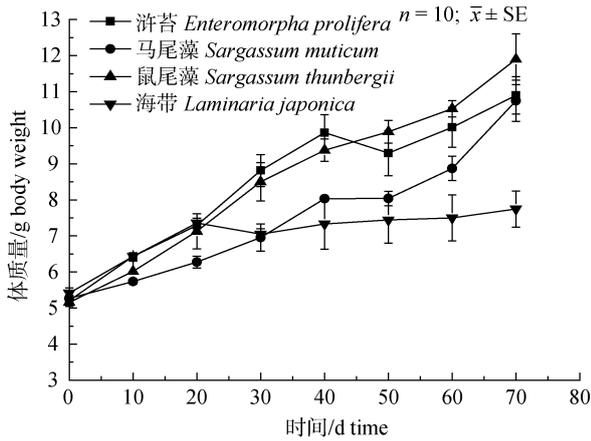


图 1 不同藻类投喂下刺参体质量的变化

Fig.1 Body weight variations of *Apostichopus japonicus* fed with different alge

2.4 不同藻类投喂对刺参摄食率与饵料转化率的影响

如图 2 所示, 刺参对各种藻类的摄食率(IR)由高到低依次为海带、马尾藻、浒苔、鼠尾藻, 浒苔组的摄食率显著低于海带组($P<0.05$), 而高于鼠尾藻组($P<0.05$)。刺参对各种藻类的饵料转化率(FE)由高到低依次为鼠尾藻、浒苔、马尾藻、海带, 浒苔组的饵料转化率显著低于鼠尾藻组($P<0.05$), 而高于海带组($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 浒苔营养成分与刺参营养需求的分析

浒苔蛋白质含量为 15.7%, 浒苔中含量较高

表 6 不同藻类对刺参特定生长率的影响

Tab.6 Specific growth rate(SGR) of *Apostichopus japonicus* fed with different alge

$n=10; \bar{x} \pm SE; \%$

| 饲养时间 feed time | 浒苔 <i>Enteromorpha prolifera</i> | 马尾藻 <i>Sargassum muticum</i> | 鼠尾藻 <i>Sargassum thunbergii</i> | 海带 <i>Laminaria japonica</i> |
|-------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 0-10 d | 2.11±0.21 ^a | 0.85±0.07 ^b | 1.54±0.67 ^{ab} | 1.29±0.29 ^b |
| 10-20 d | 1.25±0.06 ^a | 0.89±0.15 ^b | 1.69±0.22 ^c | 1.73±0.21 ^c |
| 20-30 d | 1.89±0.43 ^a | 1.02±0.30 ^a | 1.76±0.16 ^a | 0.10±0.07 ^b |
| 30-40 d | 1.12±0.12 ^a | 1.45±0.4 ^a | 0.99±0.31 ^a | 0.02±0.00 ^b |
| 40-50 d | -0.59±0.02 ^a | 0.01±0.0 ^b | 0.53±0.02 ^c | -0.37±0.03 ^d |
| 50-60 d | 0.74±0.07 ^a | 0.99±0.03 ^a | 0.63±0.03 ^a | -0.8±0.02 ^b |
| 60-70 d | 0.37±0.06 ^b | 1.33±0.17 ^a | 0.18±0.02 ^b | 0.32±0.01 ^b |

注: 同一行肩注相邻字母表示差异显著($P<0.05$), 相间字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: Adjacent letters in the same line indicate significant difference($P<0.05$), non-adjacent letters in the same column indicate extremely significant difference($P<0.01$).

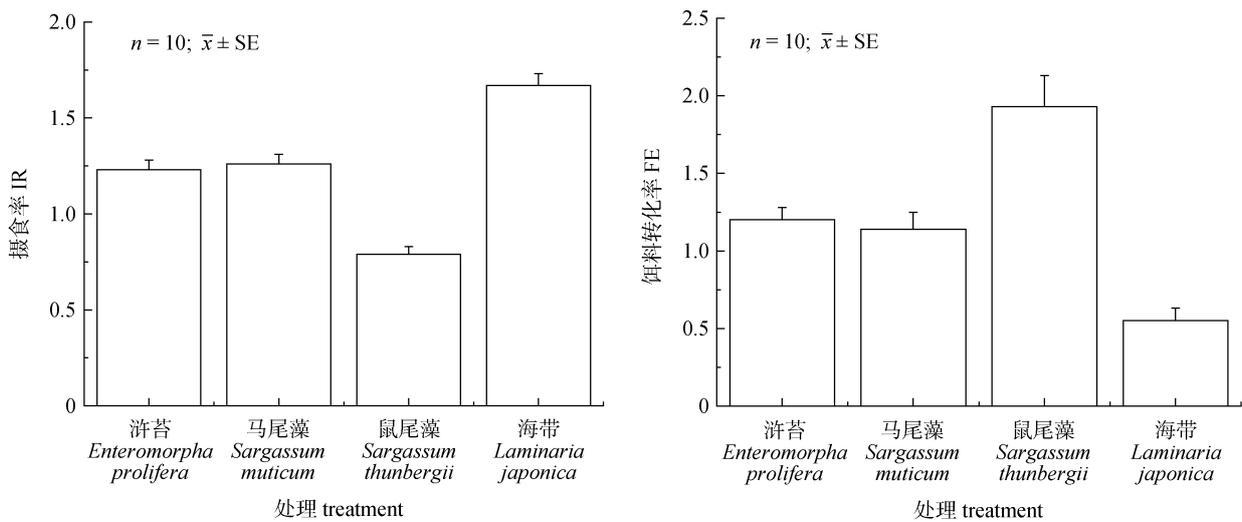


图 2 不同藻类对刺参摄食率(IR)和饵料转化率(FE)的影响

Fig.2 Ingestion rate(IR)and feed efficiency (FE) of *Apostichopus japonicus* fed with different alge

的氨基酸有天门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸和苏氨酸; 脂肪含量 1%, 多不饱和脂肪酸占脂肪含量的比例较高; 灰分含量为 14.7%; 无机砷、镉、铅、甲基汞的含量远低于 GB19643-2005《藻类制品卫生标准》和 GB13078-2001《饲料卫生标准》中的相关限量要求, 是一种高蛋白、低脂肪、安全的海洋藻类。

宋志东等^[17]认为, 从幼体发育到成体的过程中, 刺参不断摄食藻类导致体内蛋白质含量增加, 饲料蛋白含量是影响刺参生长的关键因素。朱伟等^[9]研究发现刺参饵料中粗蛋白质的最佳水平为 18.21%~24.18%。周玮等^[18]报道, 饲料蛋白水平为 19.48%时, 幼参的特定生长率最高, 饵料系数最低。Seo 等^[19]对刺参的研究表明, 饲料中蛋白质含量为 20%或 40%时, 刺参特定生长率最高, 显著高于 30%饲料组。本研究测得浒苔蛋白质含量为 15.7%, 接近上述刺参蛋白质需求的最佳水平, 这可能是浒苔组刺参的特定生长率较高的原因之一。鼠尾藻中粗蛋白含量为 19.35%, 也在蛋白质需求的最佳水平范围内, 鼠尾藻组刺参特定生长率高于浒苔组, 与朱伟等^[9]的研究结果一致。Sun 等^[20]发现苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸等在刺参的生长中起着极为重要的作用, 刺参在摄食这些氨基酸较高的饵料后体质量增长较快。而就刺参生长发育过程而言, 天门冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸、苏氨酸、甘氨酸、丙氨酸等几种氨基酸的含量在一定阶段内随着个体的生长呈现显著升高的趋势^[17]。浒苔氨基酸组成中天门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸、苏氨酸的含量较高, 与鼠尾藻的氨基酸构成是一致的, 应该也是浒苔组刺参的特定生长率较高的原因。

王吉桥等^[21]认为刺参幼参饲料中脂肪的最适含量为 5.35%~7.05%, 略高于朱伟等^[9]的研究结果(5.0%), 适当提高饵料中多不饱和脂肪酸含量能够有效促进刺参的生长。从饲料研究的角度考虑, 刺参配合饲料中需要的脂肪含量不高, 但是从刺参体壁脂肪酸的比例来看, 其对多不饱和脂肪酸的含量要求较高^[22-23], 至于适宜的必需脂肪

酸种类和需求量还需要深入研究^[24]。浒苔中脂肪含量为 1%, 多不饱和脂肪酸占脂肪酸总量的 24.49%; 鼠尾藻脂肪含量 0.4%^[16], 多不饱和脂肪酸占脂肪酸的 44.26%^[25]。用两者投喂, 刺参生长效果都较好。从营养角度出发, 以任意单一海藻喂养刺参, 并不能取得最佳的投喂效果, 如果适当调整饵料的蛋白和脂肪含量和搭配, 投喂效果会更好。这就需要就刺参对原料中营养物质的利用率及对营养物质的需求量进行研究, 从而寻找合理的营养比例搭配以满足刺参的营养需要。

饵料转化率是评价饲料质量的重要指标^[26]。实验数据显示, 投喂实验 70 d, 饵料转化率由高到低依次为鼠尾藻、浒苔、马尾藻、海带, 与特定生长率呈现的关系一致, 这与周玮等^[18]的结论吻合。刺参对鼠尾藻的饵料转化率要显著高于浒苔, 但摄食率却显著低于浒苔, 这可能一方面说明刺参喜好摄食浒苔饵料, 另一方面说明刺参对浒苔的利用率要低于鼠尾藻。另外, 刺参对海带的摄食率较高, 但是饵料转化率却很低。说明高的生长性能并不是以高摄食量为基础的, 这与鱼类的生长研究有所不同^[27]。可能是由于海带中蛋白质含量较低, 无法满足幼参的生长需要。因饲料营养物质含量低而导致动物摄食量增加的现象在海胆、蟹等动物中也有报道^[28-29]。动物摄食行为会随周围环境的改变而改变, 而夏苏东认为, 动物摄食补偿是刺参对海带饲料摄食量增加的主要原因^[30]。

3.2 浒苔作为刺参饲料的应用价值

浒苔深加工产品用于水产养殖, 已多见于鱼、虾、贝类水产动物, 可有效促进生长、提高产量、改善肉质和体色、提高品质^[31]。本实验将浒苔应用于海参幼参饵料, 70 d 养殖实验结果显示, 各组饵料喂养的海参体质量都得到显著增长 ($P < 0.05$); 浒苔、鼠尾藻、马尾藻 3 组刺参的 SGR 之间无显著差异 ($P > 0.05$), 但都显著高于海带组 ($P < 0.05$)。鼠尾藻是刺参的优质饵料^[32-34], 浒苔喂养刺参幼参的总体效果与鼠尾藻差异不显著, 说明浒苔可以作为刺参饵料原料。这与朱建新等^[5]研究结果不相符, 而与郭娜等^[10]的研究结果一

致。可能是由于朱建新等所采用的饵料为纯藻粉, 没有添加海泥, 而根据 Liu 等^[12]的研究结果, 单纯投喂藻粉会增加刺参的排泄能耗, 不利于刺参的生长。本实验和郭娜等均采用浒苔与海泥的配合饵料, 因此取得了较好喂养效果。0~40 d 浒苔投喂刺参的 SGR 较高, 刺参生长良好; 40~50 d 出现负增长, 之后 30 d SGR 再次增大, 即海参在摄食浒苔过程中出现了前期生长快速, 中期变缓慢, 后期又开始增长的情况, 说明投喂浒苔饲料时, 幼参需要有一个适应的过程, 浒苔对海参的促生长作用可能还需要更长期的实验验证。

4 结论

浒苔高蛋白、低脂肪, 氨基酸含量均衡, 多不饱和脂肪酸占脂肪酸含量的比例高, 无机砷、镉、铅、甲基汞的含量低于相关限量要求, 是一种营养丰富、安全的海洋藻类; 浒苔用于幼参养殖实验, 使刺参体质量得到显著增加, 喂养 70 d 与鼠尾藻效果差异不显著, 具有较好的促刺参生长作用。因此, 浒苔可以添加到幼参饵料中用作饵料原料, 替代或部分替代鼠尾藻。

参考文献:

- [1] 王建伟, 阎斌伦, 林阿朋, 等. 浒苔(*Enteromorpha prolifera*)生长剂孢子释放的生态因子研究[J]. 海洋通报, 2007, 26(2): 60-65.
- [2] 乔方利, 马德毅, 朱明远, 等. 2008 年黄海浒苔暴发的基本状况与科学应对措施[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(3): 409-410.
- [3] 嵇国利, 于广利, 吴建东, 等. 暴发期条浒苔多糖的提取分离及其理化性质研究[J]. 中国海洋药物杂志, 2009, 28(3): 7-12.
- [4] 林英庭, 朱风华, 徐坤, 等. 青岛海域浒苔营养成分分析与评价[J]. 饲料工业, 2009, 30(3): 46-49.
- [5] 朱建新, 曲克明, 李健, 等. 不同处理方法对浒苔饲喂稚幼刺参效果的影响[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(5): 108-112.
- [6] 林文庭. 浅论浒苔的开发与利用[J]. 中国食物与营养, 2007(9): 23-25.
- [7] 孙修涛, 王翔宇, 王文俊, 等. 绿潮中浒苔的抗逆能力和药物杀灭效果初探[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(5): 130-136.
- [8] 袁玉成. 海参饲料研究的现状与发展方向[J]. 水产科学, 2005, 24(12): 54-56.
- [9] 朱伟, 麦康森, 张百刚, 等. 刺参稚参对蛋白质和脂肪需求量的初步研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(3): 53-58.
- [10] 郭娜, 董双林, 刘慧. 几种饲料原料对刺参幼参生长和体成分的影响[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(31): 123-128.
- [11] 曹俊明, 许丹丹, 黄燕华, 等. 饲料中添加核苷酸对凡纳滨对虾生长、组织生化组成及非特异性免疫功能的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(4): 594-603.
- [12] Liu Y, Dong S, Tian X, et al. Effect of dietary sea mud and yellow soil on growth and energy budget of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) [J]. Aquaculture, 2009(286): 266-270.
- [13] 朱长波, 董双林, 王芳. 水环境($Mg^{2+}+Ca^{2+}$)/($Na^{+}+K^{+}$) 比值对凡纳滨对虾幼虾生长和能量收支的影响[J]. 中国水产科学, 2009, 16(6): 914-922.
- [14] 尚德荣, 宁劲松, 赵艳芳, 等. 高效液相色谱-氢化物发生原子荧光(HPLC-HG-AFS)联用技术检测海藻食品中无机砷[J]. 水产学报, 2010, 34(1): 132-137.
- [15] 谌素华, 王维民, 刘辉, 等. 亨氏马尾藻化学成分分析及其营养学评价[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(5): 154-156.
- [16] 吴海歌, 于超, 姚子昂, 等. 鼠尾藻营养成分分析研究[J]. 大连大学学报, 2008, 29(3): 84-93.
- [17] 宋志东, 王际英, 王世信, 等. 不同生长发育阶段刺参体壁营养成分及氨基酸组成比较分析[J]. 水产科技情报, 2009, 36(1): 11-13.
- [18] 周玮, 张慧君, 李赞东, 等. 不同饲料蛋白水平对仿刺参生长的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 4(25): 359-364.
- [19] Seo J Y, Lee S M. Optimum dietary protein and lipid levels for growth of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*[J]. Aquacult Nutr, 2011, 17: 56-61.
- [20] Sun H, Liang Me, Yan J, et al. Nutrient requirements and growth of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*[J]. Adv Sea Cucumber Aquacult Manag, 2004, 15: 327-331.
- [21] 王吉桥, 赵丽娟, 苏久旺, 等. 饲料中脂肪及乳化剂含量对仿刺参幼参生长和体组分的影响[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24: 17-23.
- [22] 王际英, 宋志东, 王世信, 等. 刺参体壁的营养成分分析[J]. 中国水产, 2009, 5: 80-81.
- [23] 李丹彤, 常亚青, 陈炜, 等. 獐子岛野生刺参体壁营养成分的分析[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(3): 278-282.
- [24] 王吉桥, 赵丽娟, 姜玉声, 等. 饲料中不同脂肪酸搭配对仿刺参幼参生长和体组分的影响[J]. 渔业科学进展, 2009, 12. 30(6): 62-74.
- [25] 张敏, 李瑞霞, 伊纪峰, 等. 4 种经济海藻脂肪酸组成分析[J]. 海洋科学, 2012, 36(4): 7-12.

- [26] 李二超, 陈立侨, 顾顺樟, 等. 水产饲料蛋白源营养价值的评价方法[J]. 海洋科学, 2009, 7(33): 113–117.
- [27] 孙晓峰, 冯健, 陈江虹, 等. 投喂频率对尼罗系福罗非鱼幼鱼胃排空、生长性能和体组分的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(11): 1677–1683.
- [28] Cruz-Rivera E, Hay M E. Can quantity replace quality? Food choice, compensatory feeding, and fitness of marine mesograzers[J]. Ecology, 2000, 81: 201–219.
- [29] Stachowicz J J, Hay M E. Facultative mutualism between an herbivorous crab and a coralline alga: advantages of eating noxious seaweeds[J]. Oecologia, 1996, 105: 377–387.
- [30] 夏苏东. 刺参幼参摄食行为与蛋白质营养需求研究[D]. 青岛: 中科院海洋研究所, 2012: 25–27.
- [31] 林英庭, 宋春阳, 薛强, 等. 浒苔对猪生长性能的影响及养分消化率的测定[J]. 饲料研究, 2009(3): 47–49.
- [32] 朱建新, 刘慧, 冷凯良, 等. 几种常见饵料对稚幼参生长影响的初步研究[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(5): 48–53.
- [33] Battaglene S C, Evizel S J, Ramofafia C. Survival and growth of cultured juvenile sea cucumbers *Holothuria scabra*[J]. Aquaculture, 1999, 178: 293–322.
- [34] Slater M J, Jeffs A G, Carton A G. The use of the waste from green-lipped mussels as a food source for juvenile sea cucumber, *Australostichopus mollis*[J]. Aquaculture, 2009, 292: 219–224.

Effect of *Enteromorpha prolifera* on growth of *Apostichopus japonicus*

LI Xiao, WANG Ying, WU Zhihong, LIU Tianhong, SUN Yuanqin, LI Hongyan
Mariculture Institute of Shandong Province, Qingdao 266002, China

Abstract: In recent years, global warming and water eutrophication have led to the proliferation of green marine algae. The proliferation of *Enteromorpha prolifera*, known as green tide, causes significant harm to the coastal environment. *E. prolifera* has been used as an edible and medicinal plant since ancient times. It is currently used as a food resource, ingredient, and additive for marine fish, shrimp, and shellfish food. However, there are few reports on its use in sea cucumber aquaculture. The aim of this study is to explore the feasibility using *E. prolifera* as sea cucumber juvenile feed. In this study, general nutrients, amino acids and fatty acids contained in *E. prolifera* were analyzed. Comparative feeding trials using *E. prolifera* and common sea cucumber diets (*Sargassum thunbergii*, *Sargassum muticum*, and *Laminaria japonica*) in *Apostichopus japonicus* with an average body weight of (5.26±0.14) g were conducted. The results of the nutrition test revealed that *E. prolifera* is a good source of protein. Of the amino acids, Asp, Glu, Ala, and Leu contents were highest. The overall fat content was low, but the polyunsaturated fatty acid content was above normal. The heavy metal (inorganic arsenic, Cd, Pb, and methyl mercury) contents were all lower than the relevant national standard. The results of the feeding trials revealed that during the experiment, each sea cucumber group fed well. There was no significant difference in survival rate among the groups ($P>0.05$). At the end of the trial, the body weight of sea cucumbers fed on each diet had increased significantly ($P<0.05$). The specific growth rate relationships were $S.thunbergii>E.prolifera>S.muticum>L.japonica$. The ingestion rate relationships were $L.japonica>S.muticum>E.prolifera>S.thunbergii$. The feed efficiency relationships were $S.thunbergii>E.prolifera>S.muticum>L.japonica$. The differences among the sea cucumber groups fed on *S. thunbergii*, *E. prolifera*, and *S. muticum* were not significant ($P>0.05$), but all were significantly higher than the *L. japonica* group ($P<0.05$). There was no significant different between the general feeding effect of *S. thunbergii* and *E. prolifera*. This indicates that *E. prolifera* is a high-protein, low-fat algae food with lower heavy metal content, so it can be used as an alternative or partial substitute for the most commonly used algal food (*S. thunbergii*) for juvenile sea cucumbers. This would not only alleviate the shortage of *S. thunbergii* and other resources, but also improve the *E. prolifera* utilization rate as part of a new comprehensive management strategy.

Key words: *Enteromorpha prolifera*; nutrition component; *Apostichopus japonicus* diet; growth

Corresponding author: WANG Ying. E-mail: food_rc@sina.com