

# 不同产地浒苔对幼刺参生长、消化和非特异性免疫的影响\*

杨心愿<sup>1, 2, 3, 4</sup> 林承刚<sup>1, 2, 4</sup> 宋肖跃<sup>1, 2, 3, 4</sup> 孙景春<sup>1, 2, 4</sup> 杨红生<sup>1, 2, 4</sup>①

(1. 中国科学院海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室 青岛 266237; 3. 中国科学院大学 北京 100049; 4. 中国科学院海洋大科学研究中心 青岛 266071)

**摘要** 为探究不同产地浒苔型饵料对幼刺参生长、消化和非特异性免疫的影响, 本实验将青岛浒苔与宁波浒苔的干粉与海泥分别按一定质量比例混合, 开展刺参饲喂实验, 并与刺参天然饵料马尾藻进行对比。结果表明, 青岛浒苔饵料和马尾藻饵料喂养的刺参的粗蛋白含量分别为  $14.31\% \pm 0.10\%$  和  $15.43\% \pm 1.41\%$ , 显著高于宁波浒苔饵料( $11.17\% \pm 0.63\%$ ), 粗脂肪和灰分含量无显著差异; 青岛浒苔组、宁波浒苔组和马尾藻组的增重率分别为  $22.65\% \pm 5.68\%$ 、 $3.03\% \pm 1.17\%$  和  $20.47\% \pm 2.01\%$ , 特定生长率分别为  $(1.44 \pm 0.33)$ 、 $(0.21 \pm 0.08)$ 、 $(1.33 \pm 0.12)\%/d$ , 青岛浒苔组和马尾藻组刺参的增重率和特定生长率显著高于宁波浒苔组; 青岛浒苔组、宁波浒苔组和马尾藻组刺参肠道淀粉酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶和纤维素酶活力无显著差异; 马尾藻组刺参体腔液碱性磷酸酶活力为  $(17.57 \pm 4.56)$  金氏单位/100mL, 显著高于青岛浒苔组 [ $(5.56 \pm 1.32)$  金氏单位/100mL] 和宁波浒苔组 [ $(2.83 \pm 0.75)$  金氏单位/100mL], 超氧化物歧化酶和酸性磷酸酶活力无显著差异。由此可见, 绿潮暴发时, 通过打捞浒苔用以配制刺参饵料, 既有助于缓解绿潮的生态灾害, 又能够补充刺参饵料来源, 具有广阔的生态效益和市场前景, 但是其营养成分影响因素较为复杂, 配制饵料时应充分考虑不同品种、采集时间和生长地点的差异, 并通过一些前处理手段充分发挥浒苔的饵料价值。

**关键词** 绿潮; 浒苔; 刺参; 生长; 消化; 非特异性免疫

中图分类号 S968.9 doi: 10.11693/hyh20180200034

绿潮(Green tide)是大型海洋绿藻过量增殖而产生的生态异常现象, 主要绿潮生物多隶属于绿藻门(Chlorophyta)、石莼目(Ulvales)、石莼科(Ulvaceae)的石莼属(*Ulva*)、刚毛藻属(*Cladophora*)和硬毛藻属(*Chaetomorpha*)等, 浒苔(*Ulva prolifera*)是我国南黄海绿潮暴发的优势种(Fletcher, 1996; 罗民波等, 2015)。一方面, 由绿潮引起的生态危害包括水体缺氧、底质腐败、海洋生物丰度和多样性下降等, 另一方面, 浒苔在营养水平和原料供应上具备一定的饵料价值(刘峰, 2010; 孙文等, 2011)。刺参

(*Apostichopus japonicus*)隶属于棘皮动物门(Echinodermata)、楯手目(Aspidocita)、刺参科(Stichopodidae)、仿刺参属(*Apostichopus*), 是我国重要增殖海珍品(杨红生等, 2014), 马尾藻(*Sargassum* sp.)等天然饵料供应不足已成为限制刺参养殖业发展的因素之一(袁成玉, 2005)。当前针对浒苔型饵料的研究多使用单一产地的浒苔, 其刺参饲喂效果也未与马尾藻等天然饵料进行对比分析。本实验将不同产地的浒苔干粉与海泥分别按一定质量比例混合, 制成饵料, 研究其对幼刺参生长、消化和非特异性免疫

\* 中国科学院战略性先导科技专项(A类)资助, XDA11020700号; 鳌山科技创新计划项目资助, 2016ASKJ02号; 国家自然科学基金青年科学基金项目资助, 41606171号; 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室创新团队项目资助, LMEES-CTSP-2018-1号。杨心愿, 硕士研究生, E-mail: xyang19930920@163.com

通讯作者: 杨红生, 博士生导师, 研究员, E-mail: hshyang@126.com

收稿日期: 2018-02-10, 收修改稿日期: 2018-04-25

的影响,并与马尾藻饵料进行对比,以期为浒苔资源利用和刺参饵料配制提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

本实验使用藻类为浒苔(*Ulva prolifera*),分别采自青岛和宁波附近海域,经海水洗涤、自然晾晒、粉碎研磨后制成藻类干粉。马尾藻(*Sargassum* sp.)干粉购于威海马山水产公司,制备方式与浒苔干粉相同。海泥购于威海马山水产公司。幼刺参购于山东东方海洋科技股份有限公司,即刻运至实验室水槽内暂养,期间不投喂饵料。

### 1.2 饵料制备与营养水平

**1.2.1 饵料制备** 藻类干粉和海泥于 60℃ 下烘干,粉碎研磨,经 80 目筛绢过滤后按质量比 1:3 混合,配制成浒苔属饵料、石莼属饵料和马尾藻饵料。

**1.2.2 营养水平** 分别测定三种饵料的粗蛋白、粗脂肪和灰分含量。采用考马斯亮蓝法测定饵料的粗蛋白含量,采用索氏抽提法测定饵料的粗脂肪含量,采用灼烧称重法测定饵料的粗灰分含量。

### 1.3 养殖分组与实验管理

**1.3.1 养殖分组** 暂养 3d 后,挑选体质健康、活力良好、规格相近的幼刺参展开饲喂实验。刺参个体初始体重为(10.57±0.43)g,随机分为 3 组,分别饲喂不同饵料,每组包括 3 个重复,每个重复包括 4 头幼刺参,置于 535mm×390mm×325mm 规格的塑料水箱中进行饲喂。

**1.3.2 实验管理** 刺参饲喂实验于 2017 年 11 月 27 日—12 月 10 日在中国科学院海洋研究所循环水养殖实验室展开,共计 14d。各塑料水箱中海水体积约为 40L,水温约为 18℃,盐度约为 30,溶氧浓度约为 5.8mg/L, pH 约为 7.7。实验期间采用自然光照,保持连续充气,每天 10:00 换水约 1/2 并通过虹吸管吸取刺参残饵和粪便,每天 12:00 分别投放浒苔属饵料、石莼属饵料,和马尾藻饵料,投放量按刺参总体重的 3% 计算,并根据刺参摄食情况和海水透明度进行适当调整,每天检查刺参存活情况并确保水温、充气等无异常现象。

### 1.4 样品采集与指标测定

**1.4.1 样品采集** 14d 饲喂期结束后,记录每个塑料水箱存活刺参的数量并随机取 3 头幼刺参,称重,即刻解剖后取其肠道,清理肠道内容物,使用生理盐水进行漂洗,置于 2mL 离心管中,作为淀粉酶

(amylase, AMS)、胃蛋白酶(pepsase, PP)、纤维素酶(cellulose, CL)和胰蛋白酶(trypsin, TRY)活力的样品,于-80℃ 条件下暂存,抽取体腔液,置于 2mL 离心管中,作为酸性磷酸酶(acid phosphatase, ACP)、碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, AKP)和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活力的样品,于-80℃ 条件下暂存。

**1.4.2 指标测定** 计算幼刺参的成活率(survival rate, SR)、增重率(weight gain rate, WGR)、特定生长率(specific growth rate, SGR),各指标计算公式如下:

$$SR(\%)=100 \times \frac{\text{最终刺参头数}}{\text{初始刺参头数}};$$

$$WGR(\%)=100 \times \frac{\text{最终刺参平均体重}-\text{初始刺参平均体重}}{\text{初始刺参平均体重}};$$

$$SGR(\%/d)=100 \times \frac{\ln \text{最终刺参平均体重}-\ln \text{初始刺参平均体重}}{\text{养殖天数}};$$

以肠道淀粉酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶和纤维素酶活力反映不同饵料对幼刺参肠道消化酶的影响,以体腔液酸性磷酸酶、碱性磷酸酶和超氧化物歧化酶活力反映不同饵料对幼刺参体腔液非特异性免疫酶的影响,酶活力以比活力表示,均采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定。

### 1.5 数据处理

实验数据使用 Excel 2016 进行初步整理与分析,使用 SPSS 16.0 进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan 氏多重比较,设定显著水平为  $P < 0.05$ 。实验结果以平均值±标准误(Mean±SE)表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 饵料营养水平

由表 1 可知,青岛浒苔饵料、宁波浒苔饵料、马尾藻饵料的粗蛋白含量分别为 14.31%±0.10%、11.17%±0.63%、15.43%±1.41%,粗脂肪含量分别为 3.98%±0.85%、4.03%±0.11%、4.96%±0.38%,灰分含量分别为 6.40%±0.60%、4.91%±0.60%、3.47%±1.22%。青岛浒苔饵料和马尾藻饵料的粗蛋白含量显著高于宁波浒苔饵料( $P < 0.05$ ),青岛浒苔饵料和马尾藻饵料的粗蛋白含量无显著差异( $P > 0.05$ ),三种饵料的粗脂肪和灰分含量无显著差异( $P > 0.05$ )。

### 2.2 不同饵料饲喂下幼刺参生长情况

由表 2 可知,青岛浒苔组、宁波浒苔组、马尾藻组幼刺参的存活率分别为 100%、91.67%±8.33%、91.67%±8.33%,增重率分别为 22.65%±5.68%、3.03%±1.17%、20.47%±2.01%,特定生长率分别为

表 1 不同类型刺参饵料营养水平(干物质)

Tab.1 The nutrient levels of different experimental diets (dry material)

饵料类型	粗蛋白(%)	粗脂肪(%)	灰分(%)
青岛浒苔饵料	14.31±0.10 <sup>a</sup>	3.98±0.85 <sup>a</sup>	6.40±0.60 <sup>a</sup>
宁波浒苔饵料	11.17±0.63 <sup>b</sup>	4.03±0.11 <sup>a</sup>	4.91±0.60 <sup>a</sup>
马尾藻饵料	15.43±1.41 <sup>a</sup>	4.96±0.38 <sup>a</sup>	3.47±1.22 <sup>a</sup>

注: 同列数据肩标不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 下同

1.44%±0.33%、0.21%±0.08%、1.33%±0.12%。三组幼刺参存活率无显著差异( $P>0.05$ ), 青岛浒苔组和马尾藻组幼刺参的增重率和特定生长率显著高于宁波浒苔组( $P<0.05$ ), 青岛浒苔组和马尾藻组幼刺参的增重

率和特定生长率无显著差异( $P>0.05$ )。

### 2.3 不同饵料饲喂下幼刺参肠道消化酶活力

由表 3 可知, 青岛浒苔组、宁波浒苔组、马尾藻组幼刺参的淀粉酶活力分别为(1.31±0.24)、(1.35±0.19)、(0.85±0.14)U/mg prot, 胃蛋白酶活力分别为(2.94±0.55)、(3.66±0.51)、(3.59±0.81)U/mg prot, 胰蛋白酶活力分别为(472.21±108.67)、(403.96±50.02)、(365.70±59.61)U/mg prot, 纤维素酶活力分别为(954.78±115.06)、(705.91±208.58)、(552.82±38.63)U/g prot。三组幼刺参各消化酶活力均无显著差异( $P>0.05$ )。

表 2 不同饵料饲喂下幼刺参生长情况

Tab.2 The growth performance of *A. japonicas* fed with different experimental diets

组别	存活率(%)	初始体重(g)	最终体重(g)	增重率(%)	特定生长率(%/d)
青岛浒苔组	100 <sup>a</sup>	10.73±0.26 <sup>a</sup>	13.18±0.91 <sup>a</sup>	22.65±5.68 <sup>a</sup>	1.44±0.33 <sup>a</sup>
宁波浒苔组	91.67±8.33 <sup>a</sup>	10.81±0.41 <sup>a</sup>	11.15±0.54 <sup>b</sup>	3.03±1.17 <sup>b</sup>	0.21±0.08 <sup>b</sup>
马尾藻组	91.67±8.33 <sup>a</sup>	10.17±0.07 <sup>a</sup>	12.26±0.24 <sup>a</sup>	20.47±2.01 <sup>a</sup>	1.33±0.12 <sup>a</sup>

表 3 不同饵料饲喂下幼刺参肠道消化酶活力

Tab.3 Intestinal digestive enzyme activities of *A. japonicas* fed with different experimental diets

组别	淀粉酶活力(U/mg prot)	胃蛋白酶活力(U/mg prot)	胰蛋白酶活力(U/mg prot)	纤维素酶活力(U/g prot)
青岛浒苔组	1.31±0.24 <sup>a</sup>	2.94±0.55 <sup>a</sup>	472.21±108.67 <sup>a</sup>	954.78±115.06 <sup>a</sup>
宁波浒苔组	1.35±0.19 <sup>a</sup>	3.66±0.51 <sup>a</sup>	403.96±50.02 <sup>a</sup>	705.91±208.58 <sup>a</sup>
马尾藻组	0.85±0.14 <sup>a</sup>	3.59±0.81 <sup>a</sup>	365.70±59.61 <sup>a</sup>	552.82±38.63 <sup>a</sup>

### 2.4 不同饵料饲喂下幼刺参体腔液非特异性免疫酶活力

由表 4 可知, 青岛浒苔组、宁波浒苔组、马尾藻组幼刺参的超氧化物歧化酶活力分别为(289.69±25.07)、(328.73±15.33)、(316.95±18.37)U/mL, 碱性磷酸酶活力分别为(5.56±1.32)、(7.33±1.24)、(17.57±

4.56)金氏单位/100mL, 酸性磷酸酶活力分别为(2.55±0.77)、(2.83±0.75)、(3.62±0.37)金氏单位/100mL。其中马尾藻组幼刺参的碱性磷酸酶活力显著高于青岛浒苔组和宁波浒苔组( $P<0.05$ ), 青岛浒苔组和宁波浒苔组的碱性磷酸酶活力无显著差异( $P>0.05$ ), 三组幼刺参其他非特异性免疫酶活力无显著差异( $P>0.05$ )。

表 4 不同饵料饲喂下幼刺参体腔液非特异性免疫酶活力

Tab.4 Non-specific immune enzyme activities of coelomic fluid of *A. japonicas* fed with different experimental diets

组别	超氧化物歧化酶活力(U/mL)	碱性磷酸酶活力(金氏单位/100mL)	酸性磷酸酶活力(金氏单位/100mL)
青岛浒苔组	289.69±25.07 <sup>a</sup>	5.56±1.32 <sup>a</sup>	2.55±0.77 <sup>a</sup>
宁波浒苔组	328.73±15.33 <sup>a</sup>	7.33±1.24 <sup>a</sup>	2.83±0.75 <sup>a</sup>
马尾藻组	316.95±18.37 <sup>a</sup>	17.57±4.56 <sup>b</sup>	3.62±0.37 <sup>a</sup>

## 3 讨论

### 3.1 饵料营养水平

本实验结果表明, 在同一质量配比下, 青岛浒苔饵料、宁波浒苔饵料、马尾藻饵料的主要营养成分存

在一定差异, 其中青岛浒苔饵料和马尾藻饵料的粗蛋白含量(14.31%±0.10%和 15.43%±1.41%)显著高于宁波浒苔饵料(11.17%±0.63%), 出现上述差异的原因可能是与藻类的品种、采集时间和生长地点等有关。

针对不同品种,已有研究显示缘管浒苔(*Ulva linza*)、条浒苔(*Ulva clathrata*)、肠浒苔(*Ulva intestinakis*)粗蛋白含量分别为 27.0%、22.10%、30.45%,粗脂肪含量分别为 0.9%、1.18%、0.38% (何清, 2006; 蔡春尔, 2009; 杨欢, 2013)。针对采集时间,林建云等(2011)对福建沿岸海域浒苔样品的营养成分展开调查,冬、春季浒苔样品均呈深绿色或亮绿色,其粗蛋白和粗脂肪含量分别为 24.85%±2.40%和 0.33%±0.10%,入夏后浒苔样品多为黄绿色或浅黄色,其粗蛋白和粗脂肪含量分别为 14.72%±1.90%和 0.26%±0.06%。针对生长地点,已有研究显示山东青岛、浙江定海、广东湛江沿岸海域浒苔样品的粗蛋白含量分别为 11.16%、13.21%、18.91%,粗脂肪含量分别为 1.5%、1.04%、0.67% (徐大伦等, 2003; 吉宏武等, 2005; 林英庭等, 2009)。综上所述,影响藻类营养成分的因素复杂、变化多样,设计饲料配方时应充分考虑不同品种、时间、产地对其原料的影响,并进行实际测定,而非完全依赖现有资料。

### 3.2 不同饵料饲喂下幼刺参生长情况

本实验结果表明,青岛浒苔饵料和马尾藻饵料饲喂下,刺参的存活率、增重率和特定生长率无显著差异,存活率超过 90%,刺参增重 20%以上,特定生长率为(1—2)%/d,而宁波浒苔饵料饲喂下,刺参的增重率和特定生长率显著低于其他小组,生长情况不佳。一方面,马尾藻是刺参的天然饵料,而浒苔型饵料和马尾藻饵料的刺参饲喂效果相似,说明浒苔在动物饵料开发上具有较大潜力;另一方面,浒苔营养成分的影响因素繁杂,其蛋白质含量可能是浒苔饵料开发的重要参考指标之一。针对浒苔饵料开发潜力,杨宁(2016)刺参饲喂实验显示,饵料中浒苔添加量为 6%和 9%时,刺参的特定生长率为(1—2)%/d,其生长效果最佳;Asino(2011)大黄鱼饲喂实验显示,饵料中浒苔含量为 5%、10%、15%时,大黄鱼的特定生长率分别为 0.96、0.99、1.00%/d,显著高于无浒苔添加组;Yang 等(2016)罗非鱼饲喂实验显示,饵料中浒苔添加量为 30、40、50g/kg 时,罗非鱼增重率为 424.1%—454.4%,显著高于无浒苔添加组。针对蛋白质含量,夏苏东(2012)通过设置不同蛋白质水平(5%—30%)的饵料,分析其对刺参生长的影响,结果表明饵料中蛋白质含量为 15%时,刺参的特定生长率最高(0.98%)。而本实验中青岛浒苔组和马尾藻组粗蛋白含量分别为 14.31%±0.10%和 15.43%±1.41%,在一定程度上能够解释其饲喂效果为何优于宁波浒苔

组。此外,多糖类、脂类、萜类等生物活性物质综合作用也是浒苔促进动物生长的重要机制(杨欢, 2015)。

### 3.3 不同饵料饲喂下幼刺参肠道消化酶活力

本实验结果表明,青岛浒苔饵料、宁波浒苔饵料、马尾藻饵料饲喂下,刺参肠道淀粉酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶、纤维素酶活力分别为(0.85—1.35)、(2.94—3.66)、(365.70—472.21)U/mg prot 和(552.82—954.78)U/g prot;各组之间肠道消化酶活力无显著差异。消化酶活力高低与营养吸收、生长和发育密切相关,可用来判断动物对某种饵料的适应情况(Harris *et al*, 1986; Hirche, 1989),而浒苔型饵料组与马尾藻饵料组各消化酶活力均无显著差异,在一定程度上说明刺参对浒苔型饵料具有良好的适应性。此外,通过与其他浒苔型饵料饲喂实验对比,酶解、发酵等前处理手段可能有助于提高浒苔型饵料的吸收效果。李猛等(2015)使用经酿酒酵母发酵处理后的浒苔饵料饲喂刺参,结果表明其肠道淀粉酶平均活力为 5.57U/mg prot,纤维素酶平均活力为 669.83U/g prot,胰蛋白酶平均活力为 526U/mg prot,除纤维素酶外均高于本实验结果。李猛等(2017)使用经碱性蛋白酶制剂酶解和酿酒酵母发酵处理后的浒苔型饵料饲喂刺参,结果表明其肠道淀粉酶活力约为 7.0U/mg prot,纤维素酶活力约为 680U/g prot,胰蛋白酶活力约为 520U/mg prot,淀粉酶和胰蛋白酶活力均高于本实验结果。因此,对浒苔型饵料进行酶解、发酵等前处理工作可能提高刺参对营养物质的吸收,从而提高刺参生长速度。

### 3.4 不同饵料饲喂下幼刺参体腔液非特异性免疫酶活力

本实验结果表明,青岛浒苔饵料、宁波浒苔饵料、马尾藻饵料饲喂下,刺参体腔液酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、超氧化物歧化酶活力分别为(2.55—3.62)、(5.56—17.57)金氏单位/100mL 和(289.69—328.73)U/mL,马尾藻组碱性磷酸酶活力显著高于青岛浒苔组和宁波浒苔组,其他非特异性免疫酶活力无显著差异。酸性磷酸酶和碱性磷酸酶是刺参非特异性免疫反应中重要的水解酶,具备识别异物、提高吞噬细胞吞噬能力、细胞损伤修复等生物学功能(Cajaraville *et al*, 2000; Rajalakshmi *et al*, 2005),超氧化物歧化酶是刺参主要抗氧化酶之一,与生物体对环境胁迫的适应能力密切相关(Regoli *et al*, 2004)。酸性磷酸酶、碱性磷酸酶和超氧化物歧化酶活力是评价刺参免疫能力的常用指标,马尾藻组碱性磷酸酶活力为(17.57±4.56)金氏单位/100mL,是浒苔型饵料组的 2—3 倍,

说明马尾藻促进刺参非特异性免疫的能力或优于浒苔。目前, 针对浒苔及其活性物质对生物体免疫能力的影响也存在较多研究。秦搏(2015)实验结果表明, 饵料中添加浒苔能够显著提高刺参体腔液超氧化物歧化酶活力; 徐大伦(2006)实验结果表明, 浒苔多糖能够提高栉孔扇贝血淋巴中 SOD 酶和溶菌酶活力。因此, 浒苔型饵料同样有利于增强刺参免疫能力, 如何充分发挥其优势还需更多研究。

#### 4 结论

绿潮暴发时, 通过打捞浒苔用以配制刺参饵料, 既有助于缓解绿潮的生态灾害, 又能够补充刺参饵料来源, 具有广阔的生态效益和市场前景, 但是其营养成分影响因素较为复杂, 配制饵料时应充分考虑不同品种、采集时间和生长地点的差异, 并通过一些前处理手段充分发挥浒苔的饵料价值。

#### 参 考 文 献

- 吉宏武, 赵素芬, 2005. 南海 3 种可食绿藻化学成分及其营养评价. 广东海洋大学学报, 25(3): 19—23
- 刘 峰, 2010. 黄海绿潮的成因以及绿潮浒苔的生理生态学和分子系统学研究. 中国科学院海洋研究所博士学位论文
- 孙 文, 张国琛, 李秀辰等, 2011. 浒苔资源利用的研究进展及应用前景. 水产科学, 30(9): 588—590
- 李 猛, 廖梅杰, 王印庚等, 2015. 浒苔添加比例与微生物发酵对幼刺参生长、消化和非特异性免疫的影响. 动物营养学报, 27(10): 3270—3278
- 李 猛, 廖梅杰, 常 青等, 2017. 不同浒苔型饲料对幼刺参 (*Apostichopus japonicus*) 生长、消化及非特异性免疫的影响. 渔业科学进展, 38(5): 122—129
- 杨 宁, 郭中帅, 王正丽, 2016. 饲料中添加浒苔对仿刺参幼参生长、消化酶活性和免疫力的影响. 水产科学, 35(5): 498—503
- 杨 欢, 黎中宝, 2015. 浒苔在动物营养中的研究进展. 安徽农业科学, 43(6): 158—160
- 杨 欢, 黎中宝, 李元跃等, 2013. 厦门海域浒苔种类鉴定及其营养成分分析. 中国渔业质量与标准, 3(4): 70—75
- 杨红生, 周 毅, 张 涛等, 2014. 刺参生物学——理论与实践. 北京: 科学出版社
- 何 清, 胡晓波, 周峙苗等, 2006. 东海绿藻缘管浒苔营养成分分析及评价. 海洋科学, 30(1): 34—38
- 林英庭, 朱风华, 徐 坤等, 2009. 青岛海域浒苔营养成分分析与评价. 饲料工业, 30(3): 46—49
- 林建云, 陈维芬, 贺 青等, 2011. 福建沿岸海域浒苔藻类的营养成分含量与食用安全. 应用海洋学学报, 30(4): 570—576
- 罗民波, 刘 峰, 2015. 南黄海浒苔绿潮的发生过程及关键要素研究进展. 海洋渔业, 37(6): 570—574
- 秦 搏, 常 青, 陈四清等, 2015. 饲料中浒苔添加量以及处理方法对幼刺参生长、消化率、消化酶和非特异性免疫酶的影响. 水产学报, 39(4): 547—556
- 袁成玉, 2005. 海参饲料研究的现状与发展方向. 水产科学, 24(12): 54—56
- 夏苏东, 2012. 刺参幼参摄食行为与蛋白质营养需要研究. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文
- 徐大伦, 黄晓春, 杨文鸽等, 2003. 浒苔营养成分分析. 浙江海洋学院学报(自然科学版): 22(4): 318—320
- 徐大伦, 黄晓春, 欧昌荣等, 2006. 浒苔多糖对华贵栉孔扇贝血淋巴中 SOD 酶和溶菌酶活性的影响. 水产科学, 25(2): 72—74
- 蔡春尔, 姚 彬, 沈伟荣等, 2009. 条浒苔营养成分测定与分析. 上海海洋大学学报, 18(2): 2155—2159
- Asino H, Ai Q H, Mai K S, 2011. Evaluation of *Enteromorpha prolifera* as a feed component in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*, richardson, 1846) diets. Aquaculture Research, 42(4): 525—533
- Cajaraville M P, Bebianno M J, Blasco J *et al*, 2000. The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula: a practical approach. Science of the Total Environment, 247(2—3): 295—311
- Fletcher R L, 1996. The occurrence of “Green Tides”——a review. In: Schramm W, Nienhuis P H, eds. Marine Benthic Vegetation. Berlin Heidelberg: Springer, 7—43
- Harris R P, Samain J F, Moal J *et al*, 1986. Effects of algal diet on digestive enzyme activity in *Calanus helgolandicus*. Marine Biology, 90(3): 353—361
- Hirche H J, 1989. Spatial distribution of digestive enzyme activities of *Calanus finmarchicus* and *C. hyperboreus* in Fram Strait/Greenland Sea. Journal of Plankton Research, 11(3): 431—443
- Rajalakshmi, S, Mohandas A 2005. Copper-induced changes in tissue enzyme activity in a freshwater mussel. Ecotoxicology and Environmental Safety, 62(1): 140—143
- Regoli F, Cerrano C, Chierici E *et al*, 2004. Seasonal variability of prooxidant pressure and antioxidant adaptation to symbiosis in the Mediterranean demosponge *Petrosia ficiformis*. Marine Ecology Progress Series, 275(1): 129—137
- Yang H, Li Z B, Chen Q *et al*, 2016. Effect of fermented *Enteromorpha prolifera* on the growth performance, digestive enzyme activities and serum non-specific immunity of red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*). Aquaculture Research, 47(12): 4024—4031

**EFFECTS OF *ULVA PROLIFERA* FROM DIFFERENT SITES ON GROWTH,  
DIGESTION AND NON-SPECIFIC IMMUNITY OF JUVENILE SEA CUCUMBER  
(*APOSTICHOPUS JAPONICUS*)**

YANG Xin-Yuan<sup>1,2,3,4</sup>, LIN Cheng-Gang<sup>1,2,4</sup>, SONG Xiao-Yue<sup>1,2,3,4</sup>,  
SUN Jing-Chun<sup>1,2,4</sup>, YANG Hong-Sheng<sup>1,2,4</sup>

(1. CAS Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

**Abstract** An experiment was conducted to investigate the effects of diets containing *Ulva prolifera* from different sites on the growth, digestibility, digestive enzymes, and non-specific immunity enzymes of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. The diets were composed of a dry powder of *U. prolifera* from Qingdao (QD) and Ningbo (NB), and each mixed with sea mud at a certain mass ratio. The QD group and NB group were compared with the sea cucumber feeding on a natural diet (ND) of *Sargassum* sp. Results show that the crude protein contents of QD group and ND group were 14.31%±0.10% and 15.43%±1.41%, significantly higher than that of NB group (11.17%±0.63%). Crude fats and ash contents had no significant difference among the three groups. The weight gain rates of QD, NB, and ND groups were 22.65%±5.68%, 3.03%±1.17% and 20.47%±2.01%, and the specific growth rates (1.44±0.33)%/d, (0.21±0.08)%/d, and (1.33±0.12)%/d, respectively. The weight gain rates and specific growth rates of QD and ND were significantly higher than NB. The survival rates showed no significant difference among the three groups. Amylase, pepsase, cellulase, and trypsin activities were also similar among the three groups. Alkaline phosphatase activity of ND group was (17.57±4.56) King's unit/100mL, significantly higher than QD [(5.56±1.32) King's unit/100mL] and NB [(2.83±0.75) King's unit/100mL] groups. Superoxide dismutase and acid phosphatase activities of sea cucumbers were similar among the three groups. Therefore, making use of *U. prolifera* in its bloom as a sea cucumber bait resource could not only mitigate the environmental hazard of the green tide but also increase ecological and market values. However, the nutrient levels of *U. prolifera* depends on complex factors. The variety, collection time, and site position of *U. prolifera* should be considered. Some pretreatments are suggested to maximize the bait value of *U. prolifera*.

**Key words** green tide; *Ulva prolifera*; *Apostichopus japonicus*; growth; digestion; non-specific immune