

# 鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)对刺参生长及水环境的影响\*

王志刚 胡凡光 郭萍萍 吴志宏 宋娴丽 孙福新<sup>①</sup>  
李美真 王保廷 逢邵楠

(山东省海洋生物研究院 青岛 266104)

**摘要** 研究了在一定养殖空间内刺参-鼠尾藻适宜的养殖容量和养殖密度。将不同密度的平均体重为(16.7±0.95) g的刺参和鼠尾藻混养在1 m<sup>3</sup>水体的塑料桶内,实验分为12组,每组设3个重复,对刺参、鼠尾藻的生长及养殖水环境因子的变化情况进行了研究与分析。结果显示,1) 刺参、鼠尾藻平均日增重率(*Mdwg*)和特定生长率(*SGR*)受刺参密度和鼠尾藻密度影响显著( $P<0.05$ )。作为对照,无鼠尾藻、刺参密度为750、500、250 g/m<sup>3</sup>时,其生长均相对较差;刺参密度为250 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为1000、1500 g/m<sup>3</sup>时,刺参生长相对最好。刺参密度为750 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为500 g/m<sup>3</sup>时,鼠尾藻特定生长率(*SGR*)最大;刺参密度为250 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为1500 g/m<sup>3</sup>时,鼠尾藻特定生长率(*SGR*)最小;2) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N和PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P含量变化受刺参和鼠尾藻养殖量的影响显著( $P<0.05$ )。无鼠尾藻,刺参密度为750、500、250 g/m<sup>3</sup>时,实验组NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N和PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P含量相对较高,其中,刺参为750 g/m<sup>3</sup>实验组含量最高;刺参密度为250 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为1000、1500 g/m<sup>3</sup>时,实验组NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N和PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P含量相对较低。研究结果显示,鼠尾藻密度的大小对促进刺参的生长有非常显著的影响,同时对养殖水体中的营养因子具有较强的吸收能力。本研究条件下,刺参密度为250 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为1000、1500 g/m<sup>3</sup>模式参藻搭配比例较合适,其生态互利效果最好。

**关键词** 鼠尾藻; 刺参; 平均日增重率; 特定生长率

**中图分类号** S912 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)03-0125-06

鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)隶属褐藻门、圆子纲、墨角藻目、马尾藻科、马尾藻属,是北太平洋西部特有的暖温带海藻,在我国北起辽东半岛,南至雷州半岛均有分布,是沿海常见海藻(原永党等,2006;胡凡光等,2013a),具有重要的经济价值,在海洋生态系统中占有重要地位(李美真等,2009)。许多学者研究表明,鼠尾藻在自然海区中具有极高的生产力,在快速生长的同时能够从周围环境中大量吸收N、P和CO<sub>2</sub>,而使海水中营养盐浓度下降(杨宇峰等,2005;

关春江等,2012)。包杰等(2008)的研究表明,鼠尾藻对水体氮、磷均具有较高的吸收速率,且能较好地同时吸收NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N。姜宏波等(2009)在实验室条件下研究了温度、盐度和光照强度对鼠尾藻N、P吸收的影响及藻体生长和生化组成的影响。刘元刚等(2006)向刺参养殖池中移植大叶藻,杨红生等(2000)在烟台四十里湾海区建立了贝藻参混养系统,周毅等(2001)测定了贝藻参混养系统中沉积物有机质含量的变化,均取得了较好的效果。由此可见,养殖大型海

\* 海洋公益性行业科研专项经费项目(201305005)、山东省现代农业产业技术体系刺参产业创新团队(SDAIT05 011 04)和山东省农业重大应用技术创新(2012.6-2014.6)共同资助。王志刚, E-mail: wangzhigang912@126.com

① 通讯作者: 孙福新, 研究员, E-mail: sunfx817@163.com

收稿日期: 2014-12-12, 收修改稿日期: 2015-01-29

藻是吸收、利用营养物质、净化水质和延缓水域富营养化的有效措施之一。

每一个养殖生态系统,其养殖容量和环境容量是一定的,通过大型海藻吸收水体无机营养盐,使系统的自净能力增强,养殖水体的养殖容量提高,但养殖生物的放养密度和密度搭配仍然是生态系统维持较长时期稳定的关键,如果大型海藻的养殖密度太低,就起不到清洁水体的目的,过高又会导致营养盐含量过低的“瘦水”环境。目前,国内在刺参-海藻混养等方面已有较多的研究,但总体来看,其养殖模式比较粗放,对海藻的养殖密度以及海藻与刺参的搭配量等方面研究尚少。本研究选取刺参和鼠尾藻为实验混养材料,设计不同量的刺参-鼠尾藻组合养殖模式,测定刺参、鼠尾藻的生长及养殖水环境因子的变化情况,探讨刺参-鼠尾藻综合养殖的生态平衡点,寻求一定养殖空间内刺参-鼠尾藻适宜的养殖容量和养殖密度,为刺参池塘养殖可持续发展提供基础理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验设计与管理

将平均体质量为(16.7±0.95) g、外观正常、体质健壮的同批次刺参和刺参养殖池中生长旺盛期的鼠尾藻藻体饲养在 1 m<sup>3</sup> 水体的塑料试验桶内。实验分为 12 组,每组设 3 个重复,实验期间不投饵不换水。实验期间,水温为 8.5–21.5℃、pH 为 7.8–8.4、盐度为 28–31.2、溶氧≥6.0 mg/L。实验分组设计如表 1 所示。

生长测定:在 2014 年 4 月 14 日–5 月 19 日的实验期间,每 7 d 测量一次实验桶内刺参体质量及鼠尾藻藻体湿重。

水质测定:每日 09:30–10:00、16:00–16:30 测量水温、盐度、溶解氧和 pH,使用水质参数分析系统(CEL/850)测定。每 7 d 测量一次实验桶内水质水样,采用次溴酸盐氧化法测定氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N),采用萘乙二胺分光光度法测定亚硝酸盐氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N),采用镉柱还

表 1 各实验模式分组情况  
Tab.1 Experimental groups

组别 Treatment	初始放养密度 Initial stocking density (g/m <sup>3</sup> )		组别 Treatment	初始放养密度 Initial stocking density (g/m <sup>3</sup> )	
	刺参 Sea cucumber	鼠尾藻 <i>S. thunbergii</i>		刺参 Sea cucumber	鼠尾藻 <i>S. thunbergii</i>
1	750	0	7	500	1000
2	750	500	8	500	1500
3	750	1000	9	250	0
4	750	1500	10	250	500
5	500	0	11	250	1000
6	500	500	12	250	1500

原法测定硝酸盐氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、磷酸盐(PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P)含量测定采用抗坏血酸-磷钼蓝法。

### 1.2 指标测定

测定刺参平均日增重率(*Mdwg*)、刺参的特定生长率(*SGR*)和鼠尾藻的特定生长率(*SGR*) 3 种生长指标。

刺参平均日增重率:  $Mdwg(g/d) = (W_t - W_0)/T$ ;

刺参的特定生长率:  $SGR(\%/d) = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0)/T$ ;

鼠尾藻的特定生长率:  $SGR(\%/d) = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1)/T$

式中,  $W_0$  为初始刺参平均体重(g);  $W_t$  为实验结束刺参平均体重(g);  $W_1$  为初始鼠尾藻质量(g);  $W_2$  为实验结束时鼠尾藻质量(g);  $T$  是实验时间(d)。

### 1.3 统计分析

所有测定结果为平均数±标准差( $n \geq 3$ ),用方差分析(ANOVA)和  $t$ -检验进行统计显著性分析,以

$P < 0.05$  作为差异的显著性水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同实验模式对刺参生长的影响

由表 2 可以看出,刺参-鼠尾藻组合养殖模式下生长的刺参,其 *Mdwg* 和 *SGR* 受刺参密度和鼠尾藻密度影响显著( $P < 0.05$ )。鼠尾藻密度为 0,刺参密度为 750、500 g/m<sup>3</sup> 时 *Mdwg* 和 *SGR* 差异不显著( $P > 0.05$ );刺参密度为 500 g/m<sup>3</sup>,鼠尾藻密度为 1500 g/m<sup>3</sup> 时、刺参密度为 250 g/m<sup>3</sup> 时,鼠尾藻密度为 1000、1500 g/m<sup>3</sup> 时, *Mdwg* 和 *SGR* 差异不显著( $P > 0.05$ );刺参密度为 750 g/m<sup>3</sup>,鼠尾藻密度为 0、500、1000、1500 g/m<sup>3</sup> 时, *Mdwg* 和 *SGR* 差异显著( $P < 0.05$ );刺参密度为 500 g/m<sup>3</sup>,鼠尾藻密度为 0、500、1000、1500 g/m<sup>3</sup> 时, *Mdwg* 和 *SGR* 差异显著( $P < 0.05$ );刺参密度为 250 g/m<sup>3</sup>,鼠尾藻密度为 0、500 g/m<sup>3</sup> 时, *Mdwg* 和 *SGR* 差异显著

表 2 不同试验模式下刺参生长情况  
Tab.2 The growth of sea cucumbers in different experimental conditions

组别 Treatment	刺参平均体质量/只 Average weight		日均增重/只 Mdwg (g/d)	特定生长率 SGR (%/d)	存活率 Survival rate (%)
	初始值 Initial(g)	结束值 Final(g)			
1	16.73±0.38	18.01±0.46 <sup>a</sup>	0.036±0.002 <sup>a</sup>	0.21±0.012 <sup>a</sup>	100
2	16.46±0.79	19.25±1.13 <sup>ab</sup>	0.08±0.01a <sup>b</sup>	0.446±0.032 <sup>ab</sup>	100
3	16.59±0.32	19.75±0.33 <sup>ab</sup>	0.092±0.003 <sup>ab</sup>	0.497±0.025 <sup>ab</sup>	100
4	16.57±0.86	20.25±1.07 <sup>b</sup>	0.105±0.006 <sup>b</sup>	0.574±0.003 <sup>b</sup>	100
5	16.37±0.96	18.82±1.31 <sup>a</sup>	0.07±0.01 <sup>a</sup>	0.397±0.033 <sup>a</sup>	100
6	17.19±1.09	21.29±1.75 <sup>bc</sup>	0.117±0.02 <sup>b</sup>	0.609±0.057 <sup>bc</sup>	100
7	17.09±0.89	21.57±0.93 <sup>bc</sup>	0.128±0.001 <sup>b</sup>	0.667±0.026 <sup>bc</sup>	100
8	17.16±1.08	22.59±1.81 <sup>c</sup>	0.155±0.021 <sup>c</sup>	0.793±0.049 <sup>c</sup>	100
9	15.83±0.53	19.24±0.55 <sup>ab</sup>	0.098±0.001 <sup>ab</sup>	0.558±0.017 <sup>b</sup>	100
10	16.69±1.33	21.74±1.31 <sup>bc</sup>	0.144±0.019 <sup>bc</sup>	0.758±0.119 <sup>c</sup>	100
11	16.49±1.34	22.13±2.02 <sup>c</sup>	0.161±0.021 <sup>c</sup>	0.838±0.051 <sup>c</sup>	100
12	16.83±1.09	22.81±1.85 <sup>c</sup>	0.175±0.025 <sup>c</sup>	0.866±0.087 <sup>c</sup>	100

注: 表中数据为平均值±标准差( $n=3$ ), 表中同一列数据上标不同字母代表显著性差异( $P<0.05$ )

Note: Data in the table as mean ± standard deviation ( $n=3$ ), data with different letters in the same column are significantly different ( $P<0.05$ )

( $P<0.05$ )。实验数据分析显示, 刺参密度为 750、500、250  $\text{g}/\text{m}^3$ , 鼠尾藻密度为 0 时, 刺参生长相对较差; 刺参密度为 250  $\text{g}/\text{m}^3$ 、鼠尾藻密度为 1000、1500  $\text{g}/\text{m}^3$  时, 刺参生长相对最好, 说明鼠尾藻密度对刺参生长起着非常显著的影响。

## 2.2 不同实验模式对鼠尾藻生长的影响

由表 3 可以看出, 该实验模式下生长的鼠尾藻, 其 SGR 受鼠尾藻密度和刺参密度影响显著( $P<0.05$ )。刺参密度相同的条件下, 鼠尾藻的生长及 SGR 受其密度影响显著( $P<0.05$ ); 刺参密度为 250  $\text{g}/\text{m}^3$ , 鼠尾藻密度为 1000、1500  $\text{g}/\text{m}^3$  时, 其 SGR 差异不显著( $P>0.05$ ); 刺参密度不同, 鼠尾藻密度相同的情况下, 鼠尾藻的生长和 SGR 差异显著( $P<0.05$ ), 说明鼠尾藻的生长受刺参密度影响较大; 数据显示, 刺参密度为 750  $\text{g}/\text{m}^3$ 、鼠尾藻密度为 500  $\text{g}/\text{m}^3$  时, 其 SGR 最大; 刺参密度为 250  $\text{g}/\text{m}^3$ 、鼠尾藻密度为 1500  $\text{g}/\text{m}^3$  时, 其 SGR 最小, 说明相同条件下, 刺参密度的大小对鼠尾藻的生长影响较为显著( $P<0.05$ ), 可能刺参密度大时, 其排泄的氨氮等营养物质多, 鼠尾藻吸收的营养盐多, 故促进其生长。

## 2.3 不同实验模式养殖水体营养盐浓度的变化

### 2.3.1 养殖水体中氮盐含量变化

图 1、图 2、图 3 为各实验模式养殖水体中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_2^--\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量的变化趋势, 由图 1-图 3 可以看出,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_2^--\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量变化受刺参和鼠尾藻养殖量的影响显著( $P<0.05$ )。刺参密度为 750、500、250  $\text{g}/\text{m}^3$ , 鼠尾藻密度为 0 时, 实验组  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_2^--\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$

表 3 不同试验模式下鼠尾藻生长情况  
Tab.3 The growth of *S. thunbergii* under different experimental conditions

组别 Treatment	实验初始密度 Initial density ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	实验结束密度 Final density ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	特定生长率 SGR(%/d)
1			
2	500	1905±77.62 <sup>b</sup>	3.82±0.177 <sup>c</sup>
3	1000	2387±27.32 <sup>bc</sup>	2.487±0.033 <sup>b</sup>
4	1500	2955±122.6 <sup>c</sup>	1.937±0.119 <sup>ab</sup>
5			
6	500	1604±26.23 <sup>ab</sup>	3.33±0.047 <sup>bc</sup>
7	1000	2053±45.09 <sup>b</sup>	2.055±0.063 <sup>ab</sup>
8	1500	2776±75.06 <sup>c</sup>	1.759±0.077 <sup>a</sup>
9			
10	500	1103±45.09 <sup>a</sup>	2.257±0.114 <sup>b</sup>
11	1000	1856±55.30 <sup>ab</sup>	1.767±0.086 <sup>a</sup>
12	1500	2505±52.68 <sup>bc</sup>	1.466±0.06 <sup>a</sup>

注: 表中数据为平均值±标准差( $n=3$ ), 表中同一列数据上标不同字母代表有显著性差异( $P<0.05$ )

Note: Data in the table as mean ± standard deviation ( $n=3$ ), data with different letters in the same column are significantly different ( $P<0.05$ )

含量相对较高, 其中以刺参为 750  $\text{g}/\text{m}^3$  实验组含量最高; 其他实验组  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_2^--\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量受鼠尾藻养殖量的影响较显著( $P<0.05$ ), 随着鼠尾藻养殖量的增加, 营养因子含量逐渐降低; 刺参密度为 500  $\text{g}/\text{m}^3$ 、鼠尾藻密度为 1500  $\text{g}/\text{m}^3$  的实验组, 刺参密度为 250  $\text{g}/\text{m}^3$ 、鼠尾藻密度为 1000、1500  $\text{g}/\text{m}^3$  时, 实验组  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_2^--\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  含量相对较低, 说明养殖水环境因子变化受刺参和鼠尾藻养殖量的

影响较显著( $P<0.05$ )。

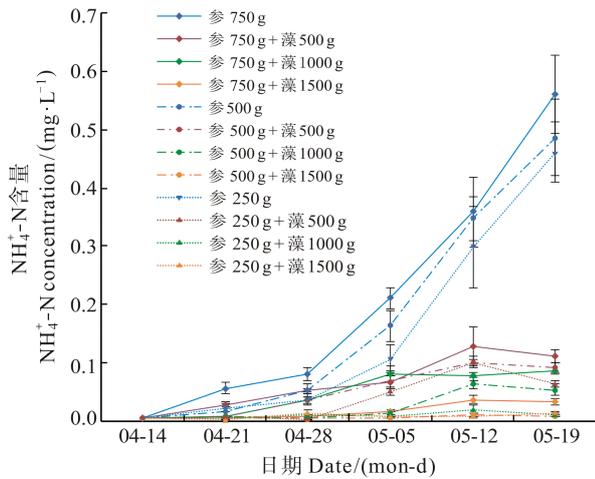


图1 水体中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量变化

Fig.1 The variation of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentration in the water

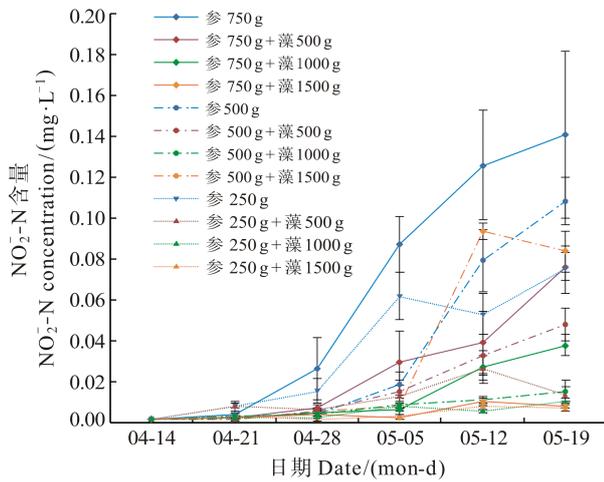


图2 水体中 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 含量变化

Fig.2 The variation of  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  concentration in the water

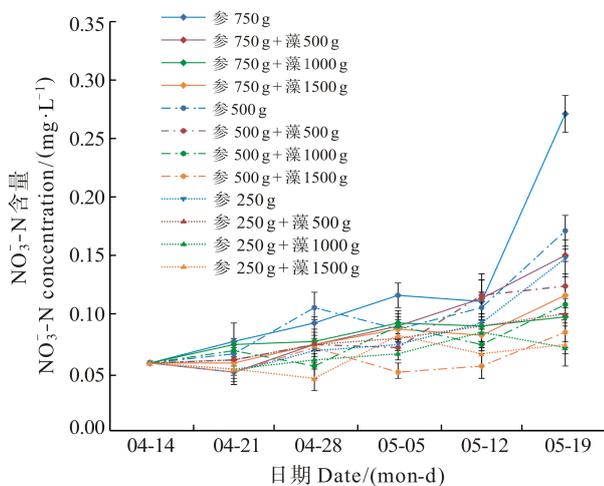


图3 水体中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量变化

Fig.3 The variation of  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  concentration in the water

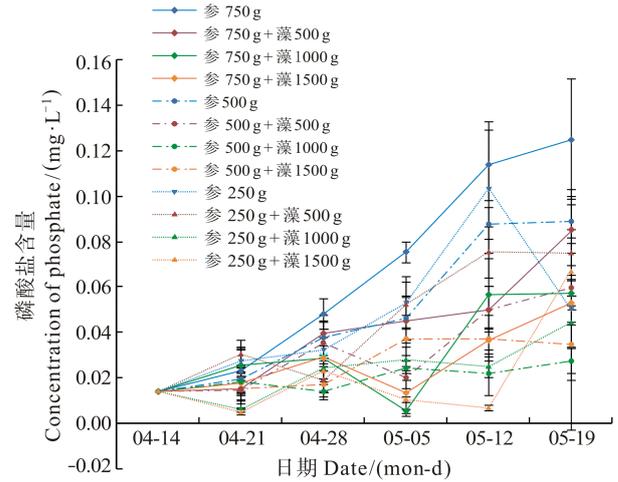


图4 水体中 $\text{PO}_4^-\text{-P}$ 含量变化

Fig.4 The variation of  $\text{PO}_4^-\text{-P}$  concentration in the water

**2.3.2 养殖水体中 $\text{PO}_4^-\text{-P}$ 含量变化** 图4为各实验模式养殖水体中 $\text{PO}_4^-\text{-P}$ 含量的变化趋势, $\text{PO}_4^-\text{-P}$ 含量变化受刺参和鼠尾藻养殖量的影响较显著( $P<0.05$ )。刺参密度为750、500、250  $\text{g}/\text{m}^3$ ,鼠尾藻密度为0时,实验组 $\text{PO}_4^-\text{-P}$ 含量相对较高,其中以刺参为750  $\text{g}/\text{m}^3$ 实验组含量最高,至实验结束时达0.125  $\text{mg}/\text{L}$ ;其他实验组 $\text{PO}_4^-\text{-P}$ 含量受鼠尾藻养殖量的影响较显著( $P<0.05$ ),随着鼠尾藻养殖量的增多, $\text{PO}_4^-\text{-P}$ 含量逐渐降低;刺参密度为750、500  $\text{g}/\text{m}^3$ ,鼠尾藻密度为1500  $\text{g}/\text{m}^3$ 实验组,刺参密度为250  $\text{g}/\text{m}^3$ 、鼠尾藻密度为1000、1500  $\text{g}/\text{m}^3$ 实验组, $\text{PO}_4^-\text{-P}$ 含量相对较低,其中,刺参密度为250  $\text{g}/\text{m}^3$ 、鼠尾藻密度为1000、1500  $\text{g}/\text{m}^3$ 实验组, $\text{PO}_4^-\text{-P}$ 含量最低,说明随鼠尾藻养殖量的增加,其吸收 $\text{PO}_4^-\text{-P}$ 的能力增大,致使 $\text{PO}_4^-\text{-P}$ 含量逐渐降低( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 刺参与鼠尾藻生长情况

本研究结果表明,刺参和鼠尾藻的生长与实验桶内养殖刺参与鼠尾藻量的比例息息相关。刺参密度为750、500、250  $\text{g}/\text{m}^3$ 、鼠尾藻密度为0时,刺参生长相对其他实验组合较差,其中,刺参密度为750  $\text{g}/\text{m}^3$ 、鼠尾藻密度为0时,刺参生长最差,其 $\text{SGR}$ 最小,说明一定养殖水体空间与相同养殖条件下,刺参养殖量越少,则生长越好。王肖君等(2011)研究刺参密度为25  $\text{ind}/\text{m}^2$ 时,刺参生长状况最差, $\text{SGR}$ 显著低于刺参密度为15、20  $\text{ind}/\text{m}^2$ 时刺参的 $\text{SGR}$ ,研究显示,刺参的 $\text{SGR}$ 随密度的升高显著降低,个体间的生长差异增大(裴素蕊等,2013),放养密度过大会加剧动物个体对空间和食物的竞争,导致个体生长差异随密度

的升高而增大(Schram *et al.*, 2006; Sanchez *et al.*, 2010), 以上研究与本研究具有相似之处。

刺参密度为 500 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为 1500 g/m<sup>3</sup> 和刺参密度 250 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为 500、1000、1500 g/m<sup>3</sup> 实验组合, 刺参 SGR 差异不显著( $P>0.05$ ), 其中, 刺参密度为 250 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为 1000、1500 g/m<sup>3</sup> 实验组合, 刺参 SGR 最大; 说明鼠尾藻密度的大小对促进刺参的生长起着非常明显的影响。刺参密度为 750 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为 500 g/m<sup>3</sup> 时, 鼠尾藻 SGR 最大; 刺参密度为 250 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为 1500 g/m<sup>3</sup> 时, 鼠尾藻 SGR 最小, 说明相同条件下, 刺参密度的大小对鼠尾藻的生长影响较为显著, 分析可能较高密度的刺参养殖量, 排泄产生较多的氨氮等营养物质, 促进了鼠尾藻的吸收及生长。

### 3.2 参藻混养对水体营养因子的影响

刺参密度为 750、500、250 g/m<sup>3</sup>, 鼠尾藻密度为 0 实验组, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 和 PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P 含量相对较高, 其中, 以刺参为 750 g/m<sup>3</sup> 实验组含量最高; 刺参密度为 500 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为 1500 g/m<sup>3</sup> 实验组, 刺参密度为 250 g/m<sup>3</sup>、鼠尾藻密度为 1000、1500 g/m<sup>3</sup> 实验组, 各营养因子含量相对较低, 说明鼠尾藻对水体中的营养因子具有较高的吸收能力。包杰等(2008)研究发现, 鼠尾藻在不同环境条件下都能较快地吸收水体中的 N、P, 并且能较好地同时吸收 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N; 胡凡光等(2013)通过对养殖池塘海藻栽培区和无海藻栽培区的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 及 P 等指标进行测量对比发现, 海藻栽培区 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 及 P 等指标明显比无海藻栽培区低; 以上研究均显示了鼠尾藻对养殖环境中营养盐具有较强的吸收能力。

## 参 考 文 献

- 王肖君, 孙慧玲, 谭杰, 等. 龙须菜对刺参生长及环境因子的影响. 渔业科学进展, 2011, 32(5): 58-66
- 包杰, 田相利, 董双林, 等. 温度、盐度和光照强度对鼠尾藻氮、磷吸收的影响. 中国水产科学, 2008, 15(2): 293-300
- 刘元刚, 王光辉. 大叶藻移植在海参养殖中的应用. 齐鲁渔业, 2006, 4(23): 12
- 关春江, 刘青, 赵冬至, 等. 鼠尾藻对养殖水体净化的围隔试验. 海洋环境科学, 2012, 31(5): 701-703
- 李美真, 丁刚, 詹冬梅, 等. 北方海区鼠尾藻大规格苗种提前育成技术. 渔业科学进展, 2009, 30(5): 75-82
- 杨红生, 王健, 周毅, 等. 烟台浅海区不同养殖系统养殖效果的比较. 水产学报, 2009, 24(2): 140-145
- 杨宇峰, 宋金明, 林小涛, 等. 大型海藻栽培及其在近海环境的生态作用. 海洋环境科学, 2005, 2(1): 76-80
- 胡凡光, 王志刚, 李美真, 等. 鼠尾藻池塘栽培生态观察. 渔业科学进展, 2013a, 34(6): 124-132
- 胡凡光, 王志刚, 李美真, 等. 鼠尾藻池塘秋冬季栽培生态观察. 渔业科学进展, 2013b, 34(1): 151-158
- 周毅, 杨红生, 吴玉霖. 栉孔扇贝生物沉积的模拟测定. 贝类学论文集IX, 2001, 99-111
- 姜宏波, 田相利, 董双林, 等. 温度和光照强度对鼠尾藻生长和生化组成的影响. 应用生态学报, 2009, 20(1): 185-189
- 原永党, 张少华, 孙爱凤, 等. 鼠尾藻劈叉筏式养殖试验. 海洋湖沼通报, 2006(2): 125-128
- 裴素蕊, 董双林, 王芳, 等. 限定食物资源下密度对刺参个体生长的影响. 中国海洋大学学报, 2013, 43(3): 32-37
- Sanchez P, Ambrosio PP, Flos R. Stocking density and sex influence individual growth of Senegalese sole (*Solea senegalensis*). Aquaculture, 2010, 300(1-4): 93-101
- Schram E, van der Heul JW, Kamstra A, *et al.* Stocking density-dependent growth of Dover sole (*Solea solea*). Aquaculture, 2006, 252(2-4): 339-347

(编辑 陈严)

## The Effects of *Sargassum thunbergii* on the Growth of Sea Cucumbers and the Water Environment

WAMG Zhigang, HU Fanguang, GUO Pingping, WU Zhihong, SONG Xianli, SUN Fuxin<sup>①</sup>,  
LI Meizhen, WANG Baoting, PANG Shaonan  
(Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao 266014)

**Abstract** To determine the appropriate farming capacity and the density of sea cucumbers and *Sargassum thunbergii* in certain volume of water, we analyzed the growth of sea cucumbers and *S. thunbergii* and the changes in the condition of the water from April to May, 2014. The results showed that the mean daily weight gain rate (*Mdwg*) and the specific growth rate (*SGR*) of sea cucumbers and *S. thunbergii* were significantly affected by their densities ( $P < 0.05$ ). In the absence of *S. thunbergii*, sea cucumbers showed poor growth performance when the density was 750, 500 and 250 g/m<sup>3</sup>. The growth was much improved when the sea cucumber density was 250 g/m<sup>3</sup> and the *S. thunbergii* density was 1000 g/m<sup>3</sup> and 1500 g/m<sup>3</sup> respectively. The highest *SGR* of *S. thunbergii* appeared when the densities of sea cucumbers and *S. thunbergii* were 750 g/m<sup>3</sup> and 500 g/m<sup>3</sup> respectively, and the lowest *SGR* of *S. thunbergii* appeared when the densities of sea cucumber and *S. thunbergii* were 250 g/m<sup>3</sup> and 1500 g/m<sup>3</sup> respectively. The levels of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N and PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P were significantly affected by the density of sea cucumbers and *S. thunbergii* ( $P < 0.05$ ). The levels of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N and PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P in the experimental group was relatively high when the sea cucumber densities were 750, 500 and 250 g/m<sup>3</sup>, and reached the highest when the density was 750 g/m<sup>3</sup>. The levels of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N and PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P in the experimental group were relatively low when the sea cucumber density was 250 g/m<sup>3</sup> and the *S. thunbergii* density was 1000 g/m<sup>3</sup> and 1500 g/m<sup>3</sup>. In conclusion, the growth of sea cucumbers was significantly affected by the density of *S. thunbergii*, and *S. thunbergii* had high absorption capacity to the trophic factors in water. Under the experimental conditions, the appropriate density of sea cucumbers should be 250 g/m<sup>3</sup> and the density of *S. thunbergii* should be 1000 g/m<sup>3</sup> or 1500 g/m<sup>3</sup>.

**Key words** *Sargassum thunbergii*; Sea cucumber; Average daily gain rate; Specific growth rate

<sup>①</sup> Corresponding author: SUN Fuxin, E-mail: sunfx817@163.com