

龙须菜对刺参生长及环境因子的影响

王肖君^{1,2} 孙慧玲^{1*} 谭杰¹ 高菲¹ 燕敬平¹ 陈爱华³

(¹农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(²上海海洋大学水产与生命学院, 201306)

(³山东省乳山市水产技术推广站, 264500)

摘 要 2010 年 5~7 月在山东威海乳山杜家岛基地, 采用陆基围隔生态学实验方法和正交设计法, 在不投饵模式下进行刺参 *Apostichopus japonicus* 和龙须菜 *Gracilaria lemaneiformis* 混养实验。刺参密度分别为 15、20、25 ind/m², 龙须菜初始密度分别为 0、180、360 g/m², 比较了不同处理下幼参和龙须菜的生长存活情况, 并定期检测环境营养盐的变化。结果表明, 刺参平均日增重率(Md-wg)、特定生长率(SGR)受刺参密度的影响显著, 受龙须菜密度的影响不显著, 受刺参与龙须菜之间交互效应影响不显著; 刺参密度为 15 ind/m²、龙须菜密度为 360 g/m² 时刺参平均日增重率、特定生长率最大; 刺参密度为 25 ind/m²、龙须菜密度为 360 g/m² 时龙须菜产量最高, 刺参密度为 25 ind/m²、龙须菜密度为 180 g/m² 时龙须菜特定生长率最高。水质分析结果表明, 刺参密度为 15 ind/m² 时底泥总氮、总磷含量降幅最大。实验结果显示, 龙须菜和刺参混养可在一定条件下改善水质条件, 提高刺参的特定生长率, 在本实验条件下刺参密度 15 ind/m²、龙须菜密度 360 g/m² 的混养配比较合理, 其生态互利效果最好。

关键词 刺参 龙须菜 混养 水质 底质

中图分类号 S963.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)05-0058-09

Effect of *Gracilaria lemaneiformis* on the growth of sea cucumber *Apostichopus japonicus* and the environment

WANG Xiao-jun^{1,2} SUN Hui-ling^{1*} TAN Jie¹ GAO Fei¹

YAN Jing-ping¹ CHEN Ai-hua³

(¹Key Laboratory for Sustainable Utilization of Fisheries Resources, Ministry of Aquaculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(²College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, 201306)

(³Rushan Aquatic Product Technology Promotion Department, 264500)

ABSTRACT Polyculture of sea cucumber *Apostichopus japonicus* and *Gracilaria lemaneiformis* was conducted in land-based enclosures at orthogonal design during May~July, 2010. *A. japonicus* was cultured at densities of 15, 20, 25 ind/m² without feed, and *G. lemaneiformis* was cultured at densities of 0, 180, 360 g/m². The growth and survival of *A. japonicus* and *G.*

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2009-ts-07、2010-cb-03)资助

* 通讯作者。E-mail: sunhl@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85819199

收稿日期: 2011-01-13; 接受日期: 2011-03-03

作者简介: 王肖君(1986-), 女, 硕士研究生, 主要从事海水养殖研究。E-mail: wangxiaojun207@126.com

lemaniformis were compared for different treatments and the changes of environmental nutrient were also detected. The results showed that the final average weight (Wf), daily weight gain (Mdwg) and Specific Growth Rate (SGR) of *A. japonicus* were significantly affected by the density of *A. japonicus*. Wf, Mdwg and SGR of *A. japonicus* were not significantly affected by the density of *G. lemaneiformis*. The highest Wf, Mdwg and SGR of *A. japonicus* were obtained when the density of *A. japonicus* and *G. lemaneiformis* were 15 ind/m² and 360 g/m² respectively. The highest yield of *G. lemaneiformis* was acquired when the density of *A. japonicus* and *G. lemaneiformis* were 25 ind/m² and 360 g/m² respectively. The highest SGR of *G. lemaneiformis* was obtained when the density of *A. japonicus* and *G. lemaneiformis* were 25 ind/m² and 180 g/m² respectively. The analysis of water quality showed that the content of total nitrogen and total phosphorus in mud declined most sharply when the density of *A. japonicus* was 15 ind/m². In summary, polyculture of *A. japonicus* and *G. lemaneiformis* could improve water quality and increase the SGR of *A. japonicus*.

KEY WORDS *Apostichopus japonicus* *Gracilaria lemaneiformis* Polyculture
Water quality Sediment

我国是世界刺参养殖第一大国,2008年全国刺参增养殖面积约112 468 hm²,产量达到92 567 t,行业经济总产值达到200多亿元,是目前我国重要养殖经济水产品中单一经济总量最大的养殖品种。刺参 *Apostichopus japonicus* (Selenka) 是典型的沉积食性底栖动物,主要以沉积物中的有机碎屑,包括细菌、原生动物、底栖硅藻以及动、植物的有机碎屑等为食物(Choe 1963;张宝琳等 1995)。

我国的刺参养殖以传统养殖模式(单一品种养殖)为主,大多采用粗放式不投饵的养殖,对刺参放养密度缺乏科学依据,随意性极大,既不利用充分水体空间和饵料资源,也不利于保持养殖系统的稳定。养殖密度直接影响到放养生物的成活率、生长状况、水质等,是影响养殖产量的重要因素之一。本研究选取刺参和龙须菜作为养殖对象,在不投饵模式下设计不同的养殖密度,测定刺参、龙须菜生长及环境因子的变化状况,通过建立养殖生态系的适宜结构,探讨参藻混养的互利机制,从生态效益和生物修复出发,初步寻求最适宜的刺参和龙须菜养殖密度,为生态养殖取得社会、经济和生态效益提供基础理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于2010年5~7月在山东威海乳山杜家岛基地进行,采用陆基围隔生态学实验方法。围隔建在参池中,平均水深1.5 m,面积为2.25 m²,围隔结构参见李德尚等(1998)。围隔内放置附着基,附着基使用透明波纹板,每个围隔内投放4个筐,每个筐内放7个波纹板。

实验用刺参购于杜家岛基地养殖厂,选取个体健康、大小均匀的幼参(8.0±0.3 g)作为实验参,龙须菜购自福建莆田。

1.2 实验方法

实验采用正交设计方案。刺参设置3个密度,分别为15、20、25 ind/m²,放养时间为4月15日。龙须菜设置3个密度,初始密度分别为0、180、360 g/m²,放养时间为5月19日。平均每个实验设置3个重复,共27个围隔,龙须菜采用夹绳养殖方法,整个实验期间不投饵不换水。每20 d检查一次刺参生长情况,每个围隔每次取20头刺参测量体重。每隔7 d检查龙须菜的生长情况,并适当调节所在水深。具体放养情况见表1。

1.3 样品采集

每 7 d 从每个围隔的底部取 250 ml 水样,经 0.45 μm 的纤维素酯微孔滤膜抽滤后得到的滤膜用来检测叶绿素,滤液内加入 0.5 ml 三氯甲烷,于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存备用。分别于实验开始、结束前用采泥器直接采集表层 1~2 cm 深度泥样,于 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干后研细备用。

表 1 各实验组放养情况

Table 1 Stocking of *Apostichopus japonicus* and *Gracilaria lemaneiformis* in different treatments

组别 Treatment	初始放养密度 Initial stocking density		组别 Treatment	初始放养密度 Initial stocking density	
	刺参 <i>A. japonicus</i>	龙须菜 <i>G. lemaneiformis</i>		刺参 <i>A. japonicus</i>	龙须菜 <i>G. lemaneiformis</i>
	(ind/m ²)	(g/m ²)		(ind/m ²)	(g/m ²)
1	15	0	6	20	360
2	15	180	7	25	0
3	15	360	8	25	180
4	20	0	9	25	360
5	20	180			

1.4 分析方法

1.4.1 测量方法

日常检测指标:水温、盐度、溶解氧(DO)和 pH,使用水质参数分析系统(YSI556)测定,观测时间为每天上午 8:30~9:00。

1.4.1.1 水质检测指标

氨氮(NH₄-N)、亚硝酸盐(NO₂-N)、硝酸盐(NO₃-N)、磷酸盐(PO₄-P)、硅酸盐(SiO₄-Si)、叶绿素。氨氮含量测定采用次溴酸盐氧化法,亚硝酸盐含量测定采用萘乙二胺分光光度法,硝酸盐含量测定采用锌-镉还原法,磷酸盐含量测定采用抗坏血酸-磷钼蓝法,硅酸盐含量测定采用硅钼黄法,叶绿素含量测定采用荧光分光光度法,参见《中华人民共和国国家标准海洋监测规范》(GB17378.7-1998)。

1.4.1.2 底质检测指标

总氮(TN)、总磷(TP),在实验开始和结束时测。总磷(TP)含量测定采用 Aspila 法(1976),总氮(TN)含量测定采用过硫酸钾氧化法。实验开始前及结束后,使用分析天平(感量为 0.01 g)对刺参的体重进行测量。

刺参的平均日增重率(Mdwtg)根据以下公式计算:

$$\text{Mdwtg}(\text{g/d}) = (W_f - W_i) / t$$
 式中, W_i 为初始刺参平均体重, W_f 为实验结束刺参平均体重, t 为实验持续时间(days)。

刺参的特定生长率(Specific Growth Rate)用以下方程计算:

$$\text{SGR}(\%/d) = 100 \cdot (\ln W_f - \ln W_i) / t$$

龙须菜的特定生长率(Specific Growth Rate)用以下方程计算:

$$\text{SGR}(\%/d) = 100 \cdot (\ln W_2 - \ln W_1) / T$$

式中, W_1 、 W_2 分别表示生长前后的重量, T 是养殖时间(d)。

1.4.2 实验数据分析

根据测定数据,计算平均值、标准差,采用 SPSS 软件对各实验结果的差异显著性进行双因素方差分析,当差异显著时($P < 0.05$),使用多重比较(LSD)进一步分析各个处理组间的差异显著性。

2 结果与分析

实验开始时水温为 $17.18\text{ }^{\circ}\text{C}$,实验结束时水温为 $27.60\text{ }^{\circ}\text{C}$,盐度变化范围 $31.96\sim 32.86$,pH 变化范围为 7.09

~8.51。

2.1 养殖生物的生长情况

经过 82 d 养殖后刺参平均日增重率(Mdwt)、特定生长率(SGR)受刺参密度的影响显著(表 2, Two-Way ANOVA, $P < 0.05$), 受龙须菜密度的影响不显著(表 2, Two-Way ANOVA, $P > 0.05$), 受刺参与龙须菜之间交互效应影响不显著(表 2, Two-Way ANOVA, $P > 0.05$)。龙须菜密度为 0 g/m²时, 不同刺参密度之间 SGR 差异不显著, 刺参密度为 20、25 ind/m²时 Mdwt($P = 0.035$)差异显著, 刺参密度为 15、25 ind/m²时和密度为 15、20 ind/m²时 Mdwt 差异不显著; 龙须菜密度为 180 g/m²时, 刺参密度为 15 与 25 ind/m²时 Mdwt($P = 0.033$)、SGR($P = 0.024$)差异显著, 刺参密度为 20 与 25 ind/m²时 Mdwt 及 SGR 差异不显著, 刺参密度为 15、20 ind/m²时 Mdwt、SGR 差异不显著; 龙须菜密度为 360 g/m²时, 刺参密度为 15、25 ind/m²时 Mdwt($P = 0.003$)、SGR($P = 0.002$)差异极显著, 刺参密度为 20 与 25 ind/m²时 Mdwt($P = 0.017$)、SGR($P = 0.01$)差异显著, 刺参密度为 15、20 ind/m²时 Mdwt、SGR 差异不显著(表 2, One-Way ANOVA)。综合来看, 以刺参密度为 15 ind/m²、龙须菜密度为 360 g/m²刺参平均日增重率(Mdwt)、特定生长率(SGR)最高, 刺参生长最好。

表 2 刺参的生长及存活

Table 2 Growth and survival of *A. japonicus*

组别 Treatment	刺参重量		平均日增重 Mdwt(g/d)	特定生长率 SGR(%/d)	存活率 Survival rate(%)
	Weight of <i>A. japonicus</i> (g)				
	初始值 Initial	结束值 Final			
1	8.01±0.01	18.08±1.20 ^{ab}	0.12±0.01 ^{ab}	0.99±0.08 ^{ab}	100
2	8.01±0.01	18.63±0.69 ^{ab}	0.13±0.01 ^{ab}	1.03±0.04 ^{ab}	100
3	8.01±0.02	21.04±2.19 ^a	0.16±0.03 ^a	1.08±0.26 ^a	100
4	8.01±0.02	18.62±1.29 ^{ab}	0.13±0.02 ^{ab}	1.03±0.09 ^{ab}	100
5	8.02±0.01	17.47±0.37 ^{ab}	0.12±0.01 ^{ab}	0.95±0.03 ^{ab}	100
6	8.01±0.01	18.63±2.49 ^{ab}	0.13±0.03 ^{ab}	1.02±0.16 ^{ab}	100
7	8.00±0.02	15.12±1.56 ^{bc}	0.09±0.02 ^{bc}	0.77±0.13 ^{bc}	100
8	8.01±0.02	13.68±2.12 ^c	0.07±0.03 ^c	0.64±0.18 ^c	100
9	8.01±0.01	13.07±1.43 ^c	0.06±0.02 ^c	0.59±0.13 ^c	100

由表 3 分析得出, 不同刺参密度之间龙须菜的产量差异不显著(表 3, Two-Way ANOVA, $P > 0.05$), 以刺参密度为 25 ind/m²时龙须菜产量最高; 不同龙须菜密度之间龙须菜的产量差异不显著(表 3, Two-Way ANOVA, $P > 0.05$), 以龙须菜密度为 360 g/m²时龙须菜产量最高。以刺参密度为 25 ind/m²、龙须菜密度为 360 g/m²时龙须菜产量最高。不同刺参密度之间龙须菜的特定生长率差异不显著(表 3, Two-Way ANOVA, $P > 0.05$), 以刺参密度为 25 ind/m²时龙须菜特定生长率最高; 不同龙须菜密度之间龙须菜的特定生长率差异不显著(表 3, Two-Way ANOVA, $P > 0.05$), 以龙须菜密度为 180 g/m²时龙须菜特定生长率最高。以刺参密度为 25 ind/m²、龙须菜密度为 180 g/m²时龙须菜特定生长率最高。

2.2 水质环境变化

2.2.1 水体中溶解氧含量的变化

从图 1 可以看出, 5 月 28 日~7 月 7 日溶解氧含量受龙须菜密度影响显著(图 1, Two-Way ANOVA, $P < 0.05$), 混养龙须菜实验组比不混养龙须菜实验组溶解氧含量高, 龙须菜密度为 180 g/m²时溶解氧含量低于龙须菜密度为 360 g/m²时溶解氧含量; 5 月 28 日~7 月 7 日溶解氧含量受刺参密度影响不显著(图 1, Two-Way ANOVA, $P > 0.05$)。

表3 龙须菜的生长及存活

Table 3 Growth and survival rate of *G. lemaneiformis*

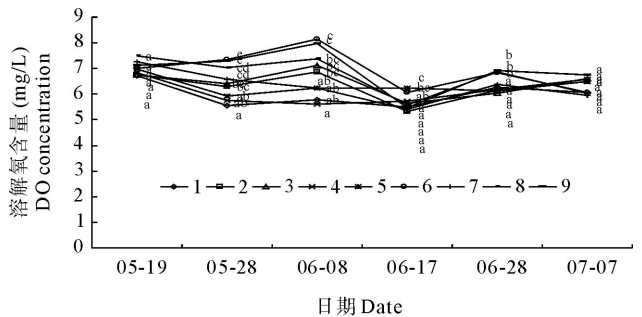
组别 Treatment	实验初始密度 Initial density (g/m ²)	实验结束密度 Final density(g/m ²)	特定生长率 SGR (%/d)
1			
2	180.00±5.00	294.91±27.61	1.02±0.20
3	360.00±5.00	645.00±61.28	1.21±0.20
4			
5	180.00±6.00	304.54±106.05	1.01±0.70
6	360.00±4.00	552.04±45.67	0.89±0.18
7			
8	180.00±5.00	356.39±15.71	1.42±0.92
9	360.00±6.00	652.04±30.66	1.24±0.10

2.2.2 水体中氮盐含量的变化

图2、图3、图4显示了水体中氨氮(NH₄-N)、亚硝酸盐(NO₂-N)、硝酸盐(NO₃-N)的变化趋势。氨氮含量受刺参密度影响不显著(图2, Two-Way ANOVA, $P>0.05$), 除6月17日和7月7日外, 以刺参密度为15 ind/m²的实验组氨氮含量最高; 氨氮含量受龙须菜密度影响不显著(图2, Two-Way ANOVA, $P>0.05$)。亚硝酸盐含量受刺参密度影响不显著(图3, Two-Way ANOVA, $P>0.05$), 除6月8日和6月28日外, 以刺参密度为15 ind/m²的实验组亚硝酸盐含量最高; 亚硝酸盐含量受龙须菜密度影响不显著(图3, Two-Way ANOVA, $P>0.05$), 除6月17日和6月28日外, 混养龙须菜实验组比不混养龙须菜实验组亚硝酸盐含量低。硝酸盐含量受刺参和龙须菜密度影响均不显著(图4, Two-Way ANOVA, $P>0.05$)。

2.2.3 水体中磷酸盐(PO₄-P)、硅酸盐(SiO₄-Si)、叶绿素a(Chl-a)含量的变化

5月19日~6月28日各个实验组之间磷酸盐含量差异不显著(图5, One-Way ANOVA)。7月7日所有实验组磷酸盐含量迅速增加, 磷酸盐含量受刺参密度影响显著(图5, Two-Way ANOVA, $P<0.05$), 以刺参密度为

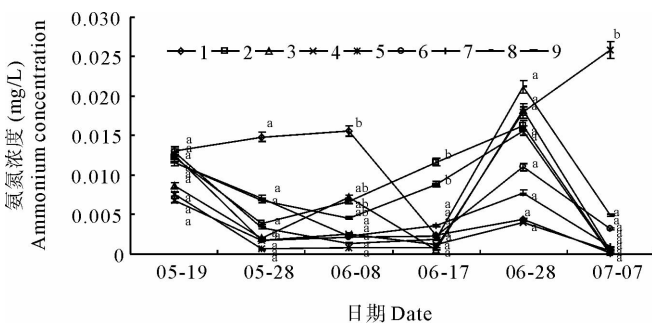


标有相同字母的数据表示相互差异不显著($P>0.05$)

Data with the same superscript are not significantly different($P>0.05$)

图1 水体中溶解氧的变化

Fig. 1 The variation of dissolved oxygen in the enclosures

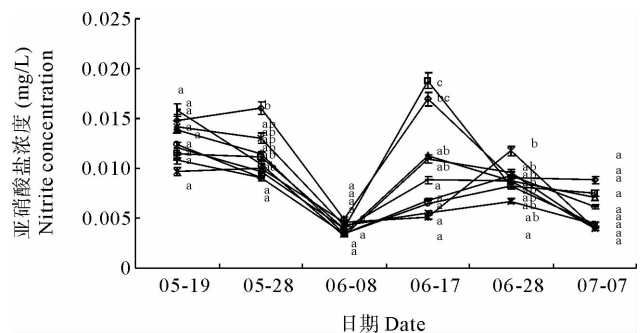


标有相同字母的数据表示相互差异不显著($P>0.05$)

Data with the same superscript are not significantly different($P>0.05$)

图2 水体中氨氮含量的变化

Fig. 2 The variation of ammonium concentration in the enclosures



标有相同字母的数据表示相互差异不显著($P>0.05$)

Data with the same superscript are not significantly different($P>0.05$)

图3 水体中亚硝酸盐含量的变化

Fig. 3 The variation of nitrite concentration in the enclosures

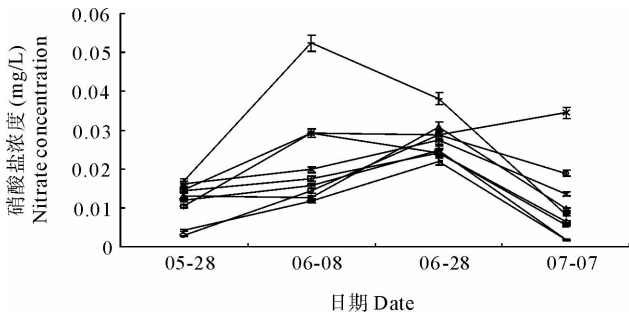
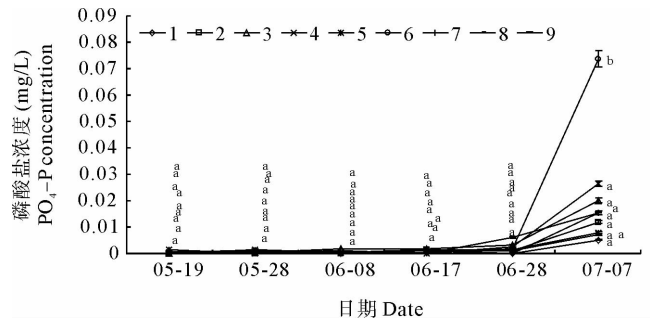


图 4 水体中硝酸盐含量的变化

Fig. 4 The variation of nitrate concentration in the enclosures



标有相同字母的数据表示相互差异不显著($P>0.05$)

Data with the same superscript are not significantly different($P>0.05$)

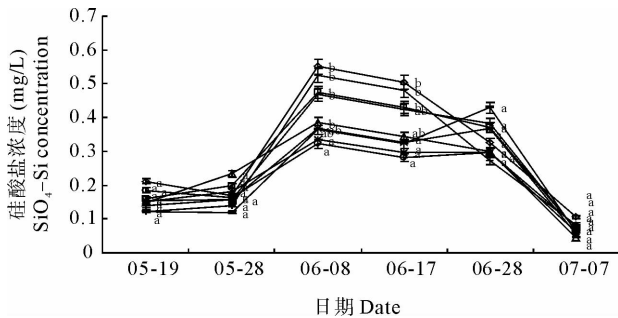
图 5 水体中磷酸盐含量的变化

Fig. 5 The variation of phosphate concentration in the enclosures

20 ind/m²的实验组磷酸盐含量最高;磷酸盐含量受龙须菜密度影响显著(图 5, Two-Way ANOVA, $P<0.05$),以龙须菜密度为 360 g/m²的实验组磷酸盐含量最高。

硅酸盐含量受刺参密度影响不显著(图 6, Two-Way ANOVA, $P>0.05$),除 5 月 19 日和 6 月 28 日外,以刺参密度为 15 ind/m²的实验组硅酸盐含量最高;硅酸盐含量受龙须菜密度影响不显著(图 6, Two-Way ANOVA, $P>0.05$),除 6 月 8 日和 6 月 28 日外,混养龙须菜实验组比不混养龙须菜实验组硅酸盐含量低。

叶绿素 a 含量受刺参和龙须菜密度影响均不显著(图 7, Two-Way ANOVA, $P>0.05$),除 5 月 19 日和 7 月 7 日外,混养龙须菜实验组比不混养龙须菜实验组叶绿素 a 含量高。

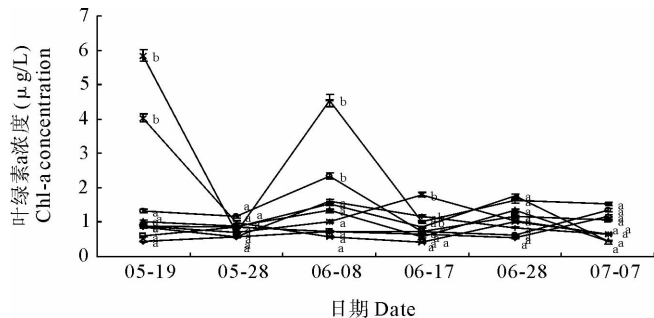


中标有相同字母的数据表示相互差异不显著($P>0.05$)

Data with the same superscript are not significantly different($P>0.05$)

图 6 水体中硅酸盐的变化

Fig. 6 The variation of dissolved silicate in the enclosures



标有相同字母的数据表示相互差异不显著($P>0.05$)

Data with the same superscript are not significantly different($P>0.05$)

图 7 水体中叶绿素 a 含量的变化

Fig. 7 The variation of Chl-a concentration in the enclosures

2.2.4 池塘底泥中总氮(TN)、总磷(TP)含量的变化

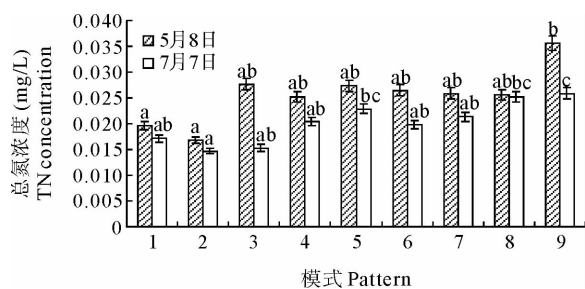
总氮含量降幅受刺参密度影响不显著(图 8, Two-Way ANOVA, $P>0.05$),以刺参密度为 15 ind/m²的实验组总氮含量降幅最大;总氮含量降幅受龙须菜密度影响不显著(图 8, Two-Way ANOVA, $P>0.05$),以龙须菜密度为 360 g/m²的实验组总氮含量降幅最大。

总磷含量降幅受刺参密度影响不显著(图 9, Two-Way ANOVA, $P>0.05$),以刺参密度为 15 ind/m²的实验组总磷含量降幅最大;总磷含量降幅受龙须菜密度影响不显著(图 9, Two-Way ANOVA, $P>0.05$),混养龙须菜实验组总氮含量降幅小于不混养龙须菜实验组总氮含量降幅。

3 讨论与结论

3.1 刺参和龙须菜的生长情况

不同的学者对于最佳密度的定义不同,秦传新(2009)从获得最大净产量的密度为养殖生物的最佳密度出发,获得研究结果是池塘养殖刺参(5.0 ± 2.0 g)在不投饵模式下最适密度为 14.1 ind/m^2 ,投饵模式下最适密度为 22.3 ind/m^2 ,当刺参密度过高时饵料供给可能是刺参生长重要的限制因素。Slater(1872)研究也发现,刺参在高密度下将会受到饵料限制。本实验在不投饵情况下,刺参密度为 15 、 20 ind/m^2 时,刺参生长状况好,与秦传新(2009)所得结果基本一致;刺参密度为 25 ind/m^2 时刺参生长状况最差,特定生长率显著低于刺参密度为 15 ind/m^2 和 20 ind/m^2 时刺参的特定生长率,分析原因可能是受到饵料限制。实验用围隔影响水体交换,也影响实际养殖水体天然饵料的数量,可能导致最佳放养密度被低估。

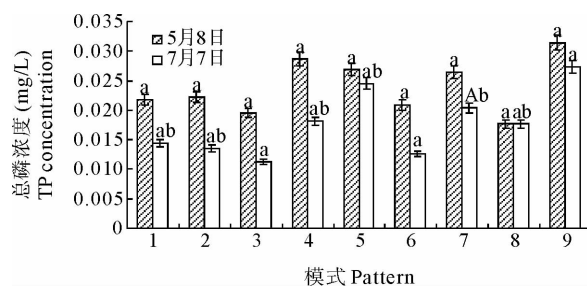


标有相同字母的数据表示相互差异不显著($P>0.05$)

Data with the same superscript are not significantly different($P>0.05$)

图8 底泥中总氮含量的变化

Fig. 8 The variation of total nitrogen concentration in the sediment



标有相同字母的数据表示相互差异不显著($P>0.05$)

Data with the same superscript are not significantly different($P>0.05$)

图9 底泥中总磷含量的变化

Fig. 9 The variation of total phosphorus concentration in the sediment

刘永宏等(1996)采用海区调查和室内实验相结合的方法,研究了不同体重刺参的夏眠,并认为体重在 $25 \sim 85$ 、 $86 \sim 160$ 和 160 g 以上刺参的夏眠临界温度分别为 24.1 、 22.9 和 $21.8 \text{ }^\circ\text{C}$,而 25 g 以下的刺参在高温下并不夏眠。在整个夏眠期,1龄刺参可减重 52.8% ,2龄参减重 39.7% ,2~3龄参减重 45.5% ,3龄以上减重 30.4% 。实验开始选用刺参规格为 $8.0 \pm 0.3 \text{ g}$,实验结束时,刺参最高平均体重为 $21.04 \pm 2.19 \text{ g}$,不存在夏眠情况。另外,在实验过程中也定期检查刺参的活动情况,并未发现夏眠。如果选用较大规格且在一定温度下夏眠的刺参,刺参生长缓慢甚至出现体重减轻的情况,则会对实验结果产生较大的影响。

孙伟等(2006)发现,添加龙须菜的混养系统中,文蛤的软体部干质量增长量较单养系统中文蛤的软体部干质量增长量高,成活率也提高了 $23\% \sim 28\%$ 。毛玉泽等(2009)研究结果显示,龙须菜对水体中氨氮和磷酸盐最大去除率达到 83.7% 和 70.4% ,单养系统中扇贝死亡率高于混养系统。实验中刺参密度为 15 ind/m^2 时,混养龙须菜实验组刺参生长状况优于单养实验组刺参的生长状况。

龙须菜适宜生长温度为 $11 \sim 22 \text{ }^\circ\text{C}$,人工选育的品种在 $5 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ 均可生长,在 $2 \sim 5$ 个月适温期内,可增重 $250 \sim 800$ 倍(毛玉泽等 2006; 安鑫龙等 1993)。本研究中龙须菜生长状态不好,平均特定生长率为 1.13% ,最高特定生长率为 1.42% 。分析原因:一是温度,实验于 5 月 19 日开始,初始水温 $17.18 \text{ }^\circ\text{C}$,至 6 月 4 日水温已达到 $22 \text{ }^\circ\text{C}$,实验结束时中午水温 $30 \text{ }^\circ\text{C}$,实验过程中水温偏高,错过了龙须菜最佳生长季节。因为定期检查龙须菜的生长状况,适度调节所在水位,所以龙须菜腐烂现象不明显,但是龙须菜受高温及强光的影响生长率低。如果龙须菜发生腐烂现象,将会导致藻类沉积水底,消耗水体溶解氧,不利于刺参生长。二是营养盐浓度低,当环境缺氮时,藻体内的色素含量下降,藻体出现“黄化”现象,光合同化效率下降,生长也随之停止(徐永健等 2006)。Peggy 等(1993)认为,外界营养盐浓度较高时,大型藻类处于竞争优势;外界营养盐浓度

较低时,浮游植物处于竞争优势。实验池塘水体营养盐偏低,龙须菜处于竞争劣势,对营养盐吸收效果不明显,影响了龙须菜对池塘养殖环境修复效果的评估,导致部分实验结果不准确。三是水流,因大型藻类需要一定的水流,而围隔中水的流动性差不能带来充足的营养盐,具体生产中龙须菜的生长速度远高于实验所得数据,建议根据当地水质的主要状况参照本实验获得的最佳放养密度做适当调整。

实验期间水温变化幅度较大,尤其是后期高温对刺参和龙须菜的生理会产生不利影响,龙须菜可能会停止生长甚至出现腐烂症状,刺参虽然能继续摄食、生长,但活力明显减弱,都将影响实验结果的准确性。

3.2 参藻混养对环境因子的影响

刺参对沉积物的摄食和生物扰动作用可以促进沉积物中有机化合物的分解,从而转化为可溶性代谢废物进入水域(袁秀堂 2005)。刺参密度为 15 ind/m^2 时氨氮、亚硝酸盐含量相对较高,因为刺参在密度为 15 ind/m^2 时生长状态最好,生物扰动最大。研究表明, $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 是刺参的主要排泄产物,占刺参氮、磷营养盐再生的绝大部分(Uthicke 2001)。

刺参在苗种培育期间要求溶解氧含量在 5 mg/L 以上(刘阳 2009),整个实验期间所有实验组的溶解氧含量(DO)都高于 5 mg/L ,符合国家海水一类水质标准。龙须菜具有较强的产氧能力,5月28日~7月7日混养龙须菜实验组比不混养龙须菜实验组溶解氧含量高。汤坤贤(2007)利用龙须菜改善养殖区环境研究表明,修复区的溶解氧浓度明显高于非修复区。

胡海燕等(2003)研究表明,龙须菜能显著降低水体营养盐含量。实验期间,各个实验组水体营养盐含量都偏低,氨氮含量低于 0.03 mg/L ,亚硝酸盐含量低于 0.02 mg/L ,硝酸盐含量低于 0.06 mg/L ,磷酸盐含量在7月7日前低于 0.01 mg/L ,符合国家海水一类水质标准,所以龙须菜对营养盐的吸收作用并不明显。龙须菜在实验初期藻体呈浅黄色,后期颜色逐渐加深,实验结束时呈现深红色。经研究发现,当藻体内部储备的氮缺乏时,藻类所显的深红色慢慢消失,代之呈现浅黄色,生长也随之停止(Bjomsater *et al.* 1990)。结果表明,实验前期营养盐含量低于藻类生长所需含量。因此可以在池塘中添加适量营养盐,一方面促进大型藻类生长,另一方面促进微藻生长,给刺参提供更多可摄食饵料。

底泥中总氮含量降幅、总磷含量降幅以刺参密度为 15 ind/m^2 时降幅最大,因为刺参密度为 15 ind/m^2 时生长状态最好,对底部有机质摄食最多。周毅等(2001)测定了不同养殖系统中沉积物有机质的变化,结果表明,由于刺参对底部有机质的摄食与吸收,致使沉积物中 ON 和 OP 的含量分别降低了 0.5% 和 20.7% 。

龙须菜作为大型藻类,在适温条件下生长迅速,可作为附着基为刺参提供附着场所,龙须菜碎屑可作为饵料被刺参摄食,实验中经常观察到刺参附着在龙须菜上,可能与龙须菜产氧或者其上附着有部分适合刺参摄食的微藻有关。本实验是在刺参个体小并且较适宜刺参生存的条件下进行,在刺参密度较大的情况下,环境压力也较大,容易暴发疾病,混养龙须菜等大型藻类则可以给刺参提供良好的生存环境,降低发病率、增加成活率,加快刺参生长速度。

3.3 刺参和龙须菜的适宜比例

本实验从刺参和龙须菜的生态效应和生态修复的适宜效果出发,在相同的养殖方式与养殖技术下,验证了二者混养的适宜效果。综合水质情况和刺参、龙须菜的生长情况得到:在不投饵情况下,以刺参($8.0 \pm 0.3 \text{ g}$)密度为 15 ind/m^2 、龙须菜密度为 360 g/m^2 最为合理。实验结束时刺参的个体重量在 $13 \sim 21 \text{ g}$,远未达到商品规格 $100 \sim 150 \text{ g}$,如果按照一般的生产流程还需再养殖 $1 \sim 2$ 年,在后续的养殖中,刺参规格增大后显然超过了池塘的养殖承载力,导致饵料不足或者养殖环境恶化。因此,建议在第1年小规格的刺参养殖阶段可采用此最佳密度,以后可以适度降低刺参放养密度,提高龙须菜放养密度。

鉴于本实验所用围隔影响水体交换,导致最适宜放养密度被低估,建议生产中可根据水质情况及水体天然饵料多少等具体情况参照本实验所获得的最佳放养密度做适度调整。

参 考 文 献

- 毛玉泽,杨红生,周毅,胡宗福,袁秀堂,游奎,王如才. 2006. 龙须菜的生长、光合作用及其对扇贝排泄氮磷的吸收. 生态学报, 26(10): 3 225~3 231
- 孙伟,张涛,杨红生,刘保忠,周毅,刘鹰. 2006. 龙须菜在滩涂贝藻混养系统中的生态作用模拟研究. 海洋科学, 30(12): 72~76
- 安鑫龙,齐遵利,李雪梅,张秀文. 2009. 大型海藻龙须菜的生态特征. 水产科学, 28(2): 156~161
- 李德尚,杨红生,王吉桥,卢敬让,田相利,刘国才. 1998. 一种池塘陆基实验围隔. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 28(2): 199~204
- 刘永宏,李馥馨,宋本祥,孙惠玲,张榭令,顾本学. 1996. 刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)夏眠习性研究: I-夏眠生态特点的研究. 中国水产科学, 3(2): 41~48
- 刘阳. 2009. 大叶藻提取活性物质对仿刺参“腐皮综合征”病灶优势菌及白脊藤壶幼体附着抑制研究. 见: 中国海洋大学硕士学位论文
- 汤坤贤. 2007. 龙须菜在网箱养殖区的生物修复研究. 中国水产科学, 14(3): 488~492
- 张宝琳,孙道元,吴耀泉. 1995. 灵山岛浅海岩礁区刺参(*Apostichopus japonicus*)食性初步分析. 海洋科学, (3): 11~13
- 周毅,杨红生,吴玉霖,何义朝,张福绥. 2001. 栉孔扇贝生物沉积的模拟测定. 贝类学论文集, IX: 99~111
- 胡海燕,卢继武,周毅,杨红生. 2003. 龙须菜在鱼藻混养系统中的生态功能. 海洋科学集刊, 45: 169~174
- 徐永健,钱鲁闽,王永胜. 2006. 氮素营养对龙须菜生长及色素组成的影响. 台湾海峡, 25(2): 222~228
- 袁秀堂. 2005. 刺参 *Apostichopus japonicus* (Selenka)生理生态学及其生物修复作用的研究. 见: 中国科学院研究生院博士学位论文
- Aspila, K. I., Agemian, H., and Chau, A. S. Y. 1976. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. Analyst, 101: 187~197
- Bjomsater, B., and Wheeler, A. 1990. Effect of nitrogen and phosphorous supply on growth and tissue composition of *Ulva fenestrata* and *Enteromorpha intestinalis* (Ulvales, Chlorophyta). J. Phycol. 26: 603~611
- Choe, S. 1963. Study of sea cucumber; morphology, ecology and propagation of sea cucumber. In: Kaibundou, Tokyo, 219
- Fong, P. 1993. Competition with macroalgae and benthic cyanobacterial mats limits phytoplankton abundance in experimental microcosms. Mar. Ecol. Prog. Ser. 100: 97~102
- Qin, C., Dong S., and Tian, X. 2009. Optimization of stocking density for the sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka, under feed-supplement and non-feed-supplement regimes in pond culture. Journal of Ocean University of China, 8(3): 296~302
- Slater, M. J. 2007. Survivorship and growth of the sea cucumber *Australostichopus* (*Stichopus*) *mollis* (Hutton 1872) in polyculture trials with green-lipped mussel farms. Aquaculture, 272: 389~398
- Uthicke, S. 2001. Nutrient regeneration by abundant coral reef holothurians. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 265(2): 153~170
- Mao, Y. Z., Yang, H. S., Zhou, Y., Ye, N. H., and Fang, J. G. 2009. Potential of the seaweed *Gracilaria lemaneiformis* for integrated multi-trophic aquaculture with scallop *Chlamys farreri* in North China. Appl. Phycol. 21(6): 649~656