

文章编号: 1674 - 7054(2012)02 - 0099 - 05

马氏珠母贝代谢产物对羊栖菜生长的影响

李双波, 王梅芳, 孙成波, 王兵兵, 余祥勇

(广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524025)

摘要: 通过马氏珠母贝与羊栖菜的混养实验, 测定了贝释放的氮磷含量及羊栖菜对贝释放氮磷的吸收量, 比较了实验组(有贝)、模拟组(无贝)与对照组之间羊栖菜的生长差异, 并进一步阐述了羊栖菜对马氏珠母贝代谢产物的吸收速率与去除效率。结果表明: 实验组中, 马氏珠母贝释放的氮以及羊栖菜吸收的氮均以 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为主; 对4种代谢产物 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$, 马氏珠母贝的释放比例为27:21:1:18, 而羊栖菜的吸收比例为17:12:1:2.6。方差分析结果表明, 实验组与模拟组相比, 藻对氮磷的吸收速率具有明显的促进作用 ($P < 0.05$); 各组间生长情况的 Duncan's 多重比较表明, 各组羊栖菜日增质量与日增长值均存在显著性差异 ($P < 0.05$), 大小顺序为: 实验组 > 对照组 C > 模拟组 > 对照组 A > 对照组 B。这表明马氏珠母贝的代谢产物能够促进羊栖菜生长。

关键词: 马氏珠母贝; 氮磷释放量; 羊栖菜; 吸收作用

中图分类号: S 968.4

文献标志码: A

羊栖菜(*Sargassum fusiforme* (Harvey) Setch) 俗名鹿角菜、海大麦、海栖或虎栖, 在广东又名玉茜, 属褐藻门(Heophyta)、马尾藻科(Sargasaceae) 多年生暖温性经济海藻。藻体黄褐色, 肥厚多汁, 一般生长于低潮带的岩石上, 多集生于浪大流急、潮流通畅的水域, 主要分布于朝鲜、日本和中国沿海, 以朝鲜西南沿岸及济洲岛产量最高^[1]。近年来, 羊栖菜已经成为我国继海带、江蓠、紫菜、裙带菜和麒麟菜之后, 而进入农业养殖范畴的海藻, 有关羊栖菜化学成分生物活性、食品加工、人工育苗、药用价值等方面研究已有很多报道^[2-3]。

海水珍珠养殖是广东、广西和海南三省区海水养殖业的支柱产业之一, 而马氏珠母贝是生产海水珍珠的主要母贝, 其相关报道主要集中在养殖与育珠、育种等方面^[4-6], 关于其养殖对生态海区优化效应的研究报道甚少^[7]。沿海生态系统富营养化已成为世界性问题。随着海水养殖业的迅猛发展, 养殖对象排泄、残饵腐化分解及水流状况不佳, 导致了养殖水体营养盐不断累积, 严重威胁到近海生态环境^[8-9]。大型海藻在海洋物质循环和能量流动中起着重要作用, 它不仅是海洋生态系统的初级生产者, 而且在防治海水富营养化及退化、修复海洋生态系统中扮演着重要角色^[10]。贝藻混养越来越受到学者的关注, 目前, 利用大型海藻和双壳贝类混养模式来抑制水体中微藻的密度、改善水质和预防赤潮的研究, 只在北方贻贝或扇贝与海带混养、南方珍珠贝与江蓠、麒麟菜混养有相关报道^[11]。本研究拟通过马氏珠母贝和羊栖菜的混养实验, 对养殖水体环境和营养条件进行观测与比较, 旨在为合理地利用贝藻混养来改善水质和防治赤潮发生提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 海藻与马氏珠母贝的来源 羊栖菜来源于阳江市允泊湾, 选择长势良好的藻体冷藏运输到广东海洋大学东海岛海洋生物研究基地, 马氏珠母贝于2011年4月采自雷州半岛流沙镇的养殖海区, 贝壳高

收稿日期: 2012 - 05 - 03

基金项目: 广东省科技计划项目(2010B031300011); 公益性行业(农业)科研专项(200903028)

作者简介: 李双波(1984 -), 男, 安徽淮南人, 广东海洋大学海洋经济动物发育学2009级硕士研究生。

通信作者: 余祥勇(1966 -), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士, 主要从事贝类的遗传育种、生态养殖技术开发与管理研究。E-mail: yuxyong@tom.com

为(52.1 ± 4.1) mm; 体质量(体重)为(15.88 ± 3.14) g。

1.1.2 贝藻预培养 实验分2组, 除去马氏贝与羊栖菜表面肉眼可见的附着物, 用过滤海水冲洗干净, 先将藻分为2份, 其中每份藻和贝分别置于海水养殖试验池中暂养1~2 d, 试验池规格: 3 m × 3 m × 2 m, 每天更换1次新鲜海水, 换水量均为池内海水量的1/3, 保持充足的光照, 并用增氧来提供动荡的水体, 使其尽可能适应试验池中的生存环境。同时, 用另1份藻来去除实验用海水中的营养盐。

1.2 方法

1.2.1 马氏珠母贝释放前后的氮和磷测定 实验设置3个平行组, 分别向3个玻璃缸中加10 L实验海水, 测定缸中海水氮与磷的含量, 然后放20个健康良好的马氏珠母贝, 通气5 h后, 取出贝暂养于试验池1中, 再次测定缸中的氮磷含量, 扣除海水本底, 计算出贝在实验组里释放出的氮磷平均含量。每缸分别放入100 g带有假根生长良好的羊栖菜, 每组2株, 每株质量(50 ± 2.5) g, 吸收1 h后, 将藻移出, 再次测定缸中的氮磷含量, 并计算藻吸收的氮磷平均含量。

将对照组的3个玻璃缸标记为A、B、C, 除缸中不投放贝外, 其他情况同实验组。实验组及对照组A移出的藻暂养于海边, 对照组B、对照组C移出的藻分别暂养于试验池2和池3中, 以备循环使用。

试验池每天晚上换水1次, 换水量均为池内海水量的1/3。试验池1和2所换海水均为新鲜海水, 而试验池3所换海水为暂养贝的试验池1中所换出的海水。

1.2.2 模拟马氏珠母贝释放的氮和磷 用NH₄Cl、NaNO₃、NaNO₂和NaH₂PO₄来模拟实验组中马氏珠母贝5 h内释放氮磷的量, 同时也设置对照组A、B、C3组一起进行藻的1 h氮磷吸收量的计算, 从每个玻璃缸移出羊栖菜并暂养, 试验池换水情况同实验组。

1.2.3 测量羊栖菜鲜质量与长度 分别测量放入玻璃缸中藻的鲜质量与长度, 每5 d测1次。记录数据, 并比较实验组、模拟组、对照组A、对照组B、对照组C各组之间的生长情况。

1.2.4 测量与计算方法 代谢产物氨态氮、硝酸氮、亚硝酸氮和活性磷采用GB/T 12763.4-2007相应方法^[12]测定; 其中, 氨态氮采用次溴酸钠氧化法测定, 硝酸氮采用锌-镉还原法测定, 亚硝酸氮采用萘乙二胺分光光度法测定, 活性磷采用抗坏血酸还原磷钼蓝法测定。

实验环境: 海水温度为(23.6 ± 2.3) °C, 海水密度为1.018~1.020, pH值8.12~8.32。

计算公式: $NUR = (C_t - M_t) V / (WW \times t)$, 计算吸收率(Nutrient uptake rate, NUR),

$NRE = (C_t - M_t) / C_t \times 100\%$, 计算去除效率(Nutrient reduction efficiency, NRE),

式中, WW指实验前所测量藻体的湿质量(g); C_t和M_t分别指养殖一段时间后对照组和实验组营养盐浓度(μmol · L⁻¹); V表示体积, t指养殖时间(h)。

数据处理: 数据以平均值 ± 标准差表示。所得数据用统计软件SPSS17.0进行单因子方差分析以及Duncan's多重比较, 以P < 0.05作为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 马氏珠母贝与羊栖菜对氮磷的释放和吸收 在实验组中, 马氏珠母贝在6 h内释放出的氮主要以NH₄⁺ - N为主, NO₃⁻ - N次之, NO₂⁻ - N最少, 浓度分别为81.28~81.35, 62.65~62.69, 2.86~2.95 μmol · L⁻¹, 所释放出的PO₄³⁺ - P为51.60~51.74 μmol · L⁻¹, 四者的浓度比为27:21:1:18。实验组藻对氮磷的吸收主要以NH₄⁺ - N为主, NO₃⁻ - N次之, 它们的吸收比例是17:12:1:2.6。比较实验组与模拟组的藻在1 h内吸收氮磷的值, 模拟组藻的吸收比例为17:12:1:2.8(见表1)。

表1 各组间马氏珠母贝的氮磷释放量与羊栖菜对氮磷的吸收量

代谢成分	实验组		模拟组		对照组
	贝释放量/ (μmol · L ⁻¹)	藻吸收量/ (μmol · h ⁻¹)	药品加入量/ (μmol · L ⁻¹)	藻吸收量/ (μmol · h ⁻¹)	藻吸收量/ (μmol · h ⁻¹)
NH ₄ ⁺ - N	81.30 ± 0.027a	88.16 ± 0.022b	81.33 ± 0.008a	75.70 ± 0.054c	1.12 ± 0.236d
NO ₃ ⁻ - N	62.67 ± 0.014a	62.64 ± 0.013b	62.66 ± 0.013a	53.82 ± 0.025c	1.49 ± 0.385d
NO ₂ ⁻ - N	2.95 ± 0.035a	5.20 ± 0.034b	2.93 ± 0.008a	4.48 ± 0.008c	1.92 ± 0.578d
总 N	146.92 ± 0.051a	156.00 ± 0.049b	146.93 ± 0.019a	134.00 ± 0.046c	4.53 ± 0.742d
PO ₄ ³⁺ - P	51.66 ± 0.053a	13.72 ± 0.047b	51.55 ± 0.008a	12.60 ± 0.030c	0.15 ± 0.036d

注: 同一行标有不同字母的数据间差异显著(P < 0.05)。

羊栖菜对实验组与模拟组氮的去除率分别为 10.65% 和 9.09% ,且对磷的去除率分别为 2.65% 和 2.44% ,它们均有显著性差异($P < 0.05$)。这表明实验组藻明显比模拟组藻对氮磷总量的吸收有促进作用。

2.2 各组间羊栖菜对无机氮、磷营养盐积累量的比较 模拟组加入的量与实验组马氏贝释放的氮磷的量基本相同,但藻对两组总氮与总磷的吸收却不同,在实验组,羊栖菜对总氮与总磷的吸收量,经 13 d 积累后分别为 623.85、54.87 μmol ,明显多于模拟组羊栖菜对总氮与总磷的吸收积累值,分别为 535.92、50.39 μmol ,而对照组之间均吸收甚少,无显著性差异和比例规律性(见表 2)。

表 2 各组间羊栖菜对氮、磷积累吸收量的平均值

实验 天数/d	$\mu\text{mol } \bar{x} \pm s$									
	实验组		模拟组		对照组 A		对照组 B		对照组 C	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
1	156.00±0.05	13.72±0.05	133.90±0.05	12.61±0.03	5.39±0.81	0.11±0.03	4.12±0.68	0.17±0.05	5.31±0.79	0.15±0.05
5	155.88±0.04	13.66±0.04	134.00±0.06	12.63±0.04	4.53±0.74	0.17±0.04	3.66±0.53	0.21±0.07	3.56±0.45	0.17±0.04
9	155.97±0.05	13.79±0.05	134.02±0.06	12.55±0.03	5.31±0.79	0.21±0.07	5.39±0.80	0.11±0.03	4.36±0.71	0.15±0.04
13	156.00±0.06	13.70±0.04	134.00±0.06	12.60±0.03	5.31±0.72	0.15±0.04	5.31±0.73	0.18±0.05	5.39±0.81	1.12±0.03
总计	623.85	54.87	535.92	50.39	20.54	0.64	18.48	0.67	18.62	0.59

2.3 不同组间羊栖菜的日增质量比较 从表 3 可以看出,在马氏珠母贝氮磷释放实验组与模拟实验组同步的第 5、9、13 天里,组内日增质量并无显著性差异。同时,因组内每次计算的日增质量相当于 4 d 重复 1 次的实验,这也间接说明了随着实验天数的延长,羊栖菜并没有出现藻体生长下降的趋势。将组间进行单因素方差分析,结果表明:各组羊栖菜日增质量值均存在着显著性差异($P < 0.05$),大小顺序为:实验组 > 对照组 C > 模拟组 > 对照组 A > 对照组 B。

表 3 各组羊栖菜的日增质量比较

实验 天数/d	$\text{g } \bar{x} \pm s$									
	实验组		模拟组		对照组 A		对照组 B		对照组 C	
	鲜质量	日增质量	鲜重质量	日增质量	鲜重质量	日增质量	鲜重质量	日增质量	鲜重质量	日增质量
1	50.0±1.50	-	50.0±1.50	-	50.0±1.50	-	50.0±1.50	-	50.0±1.50	-
5	65.30±1.80	3.78±0.03aA	61.10±1.50	2.78±0.04aB	59.50±1.00	2.38±0.05aC	58.30±1.30	2.08±0.07aD	62.60±1.40	3.15±0.04aE
9	80.40±2.30	3.83±0.02aA	72.50±1.70	2.85±0.04bB	68.90±1.30	2.35±0.04bC	66.00±1.40	1.92±0.05bD	75.50±1.50	3.23±0.05aE
13	95.60±1.30	3.80±0.03aA	83.40±2.10	2.73±0.06aB	78.80±1.40	2.48±0.07cC	74.40±1.60	2.10±0.10aD	88.10±2.00	3.15±0.04aE

注:同一列标有不同小写字母的数据间差异显著($P < 0.05$);同一行标有不同大写字母的数据间差异显著($P < 0.05$)。

2.4 各组间羊栖菜的日增长情况 随着实验天数的增加,模拟组与对照组 A、B 的组内日增长出现了显著下降的趋势($P < 0.05$),而实验组与对照组 C 的组内日增长均在实验的第 9 天出现明显的上升趋势,随后日增长趋于下滑。各组间的日增长存在显著性差异($P < 0.05$),同样,大小顺序也是实验组 > 对照组 C > 模拟组 > 对照组 A > 对照组 B(见表 4)。

表 4 各组间羊栖菜的日增长比较

实验 天数/d	$\text{cm } \bar{x} \pm s$									
	实验组		模拟组		对照组 A		对照组 B		对照组 C	
	长度	日增长	长度	日增长	长度	日增长	长度	日增长	长度	日增长
1	24.5±0.2	-	24.5±0.2	-	24.5±0.2	-	24.5±0.2	-	24.5±0.2	-
5	30.0±0.2	1.38±0.01aA	27.9±0.3	0.85±0.01aB	27.6±0.2	0.78±0.02aC	26.7±0.2	0.55±0.01aD	28.2±0.1	0.93±0.02aE
9	35.6±0.3	1.42±0.01bA	31.1±0.1	0.80±0.02bB	30.5±0.3	0.73±0.03bC	28.8±0.1	0.54±0.02aD	32.2±0.2	1.00±0.01bE
13	41.2±0.2	1.39±0.01aA	34.3±0.2	0.80±0.03aB	33.4±0.2	0.73±0.03bC	31.0±0.2	0.51±0.01bD	36.0±0.2	0.95±0.02abE

注:同一列标有不同小写字母的数据间差异显著($P < 0.05$);同一行标有不同大写字母的数据间差异显著($P < 0.05$)。

3 讨 论

3.1 羊栖菜与马氏珠母贝对氮的吸收和释放 从实验结果看,贝释放的氮主要以 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为主,这与王德利^[15]报道的在贝类等养殖动物排泄物中,多以 NH_3 为主相一致,海水里的 NH_3 与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的含量呈正相关($P < 0.01$),且存在下列关系^[13]: $\text{NH}_3 + \text{H}^+ = \text{NH}_4^+$ 。同样,藻也是以吸收 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为主,羊栖菜之所以更易吸收 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$,可能由于海水是碱性溶液, pH 值约为 8,原生质的主要组成部分蛋白质在碱性溶

液中本身是带负电荷的,在海水溶液中的阳离子 NH_4^+ 可被用于 H^+ 的交换吸附。此外,羊栖菜是一种广温性、适应强光性的大型经济褐藻^[14]。这可能是由于褐藻中含有的褐藻黄素能更好地利用光能,光合作用较强从而加快了对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的吸收。已有研究表明:褐藻黄素吸收的光在光合作用中被利用的效率大致与叶绿素吸收的光相同^[15]。故在相同的单位时间里,比其他无机氮盐被吸收的更多。这与岳维忠、黄小平等^[16]做的大型藻类对养殖水体净化的初步研究相符合。

3.2 羊栖菜对氮磷的去除效率与吸收速率 毛玉泽等^[17]报道了龙须菜对扇贝排泄 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的最大去除效率分别达到 83.7% 和 70.4%。而本研究中羊栖菜在单位时间里,实验组对无机总氮与无机总磷的去除效率分别为 53.10% 和 13.28%;模拟组对无机总氮与无机总磷的去除效率分别为 45.58% 和 12.20%。本实验中羊栖菜的氮磷去除效率低于龙须菜的原因,可能是贝藻混养尚未处于最佳混养比例,其比例有待于做更深一步的研究。

在本实验中,营养盐的吸收速率是以实验前测量的羊栖菜鲜质量为参数,并没有测量羊栖菜在吸收 1 h 后藻体的鲜质量,这样做主要是因为藻体在实验吸收 1 h 前后的生长对鲜质量的影响不大,同时藻在实验前是经过干布擦拭的,可以减少藻体自身从暂养环境中带入的少量营养盐,从而减少误差。经测量与计算,实验组对无机总氮与无机总磷的吸收速率分别为 $1.560 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $0.137 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$;模拟组对无机总氮与无机总磷的吸收速率分别为 $1.340 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $0.126 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。据李再亮等^[18]报道,随着无机总氮和无机总磷浓度的升高,当其浓度分别达到 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,羊栖菜对无机氮(IN)、无机磷(IP)吸收速率的最大值分别为 $1.369 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $0.143 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。之后,随着一定范围营养盐浓度的增大而继续维持在吸收速率的最大值。本实验中的实验组与模拟组,它们的无机总氮与无机总磷的浓度均在 $147.453 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $51.680 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右(包含处理海水少量本底浓度)。据此,羊栖菜在实验组与模拟组中对 IN 和 IP 的吸收速率应符合 $1.369 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $0.143 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 的理论值,但实际计算值与这 2 个理论值并不符,各组间藻对 IN 吸收速率大小顺序为:实验组 > 理论值 > 模拟组;各组间藻对 IP 吸收速率大小顺序为:理论值 > 实验组 > 模拟组。这再次说明了实验组马氏珠母贝的代谢产物中可能存在着对 N 吸收速率有促进作用的物质。

3.3 羊栖菜的日增质量与日增长 对比各组羊栖菜连续 13 d 的同步实验,在平均日增质量与平均日增长上,均有显著性差异,且每次组内测量的平均值均无显著性差异。随着藻的质量与长度的日增长,在第 1, 5, 9, 13 天里,各组间 IN 与 IP 的吸收速率并没有呈显著性增加的趋势,而是稳定在一个不具显著性差异的速率范围内,笔者认为可能是这种理应增加的营养盐吸收速率被藻体自身带有的一种反方向减弱的趋势所替代或抵消。据 Pedersen 等^[19]对 1 种海藻(*Amphibolis antarctica*) N 吸收的研究发现,老的组织体或茎柄部虽然保留着吸收 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的能力,但却失去了吸收 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的能力,这表明幼体组织要维持正常的代谢至少需要吸收 2 种形式的 N 源。同时 Thomas 与 Harrison 也早已有相关报道:营养吸收率一般随年龄的增长而降低,如一种墨角藻(*Fucus distichus*)幼藻对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 吸收率较其成熟体分别高 8 和 30 倍^[20]。在实验组与对照组 C 各组内的日增长上,羊栖菜于第 9 天就出现了一个峰值,这可能是马氏朱母贝的代谢产物中存在某种物质促进了羊栖菜的生长,随着实验天数的持续,这种促进作用逐渐减弱,从而表现出了峰值之后又趋于下滑的结果。

在羊栖菜的日增质量与日增长上,再次分别对比各组,对照组 A 大于对照组 B,可能与外海的 IN 和 IP 浓度得到及时的补充,或海水的自然动荡要比试验池 2 中的通氧动荡效果更好有关;对照组 C 大于对照组 A 的原因,在很大程度上取决于从试验池 1 换入试验池 3 的 1/3 海水。经分析与计算,试验池 1 氮磷浓度分别为 $25.92 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.00 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,试验池 3 的氮磷浓度分别为 $26.23 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,它们相差甚小,尤其是从浓度的量上对氮磷吸收速率的影响,结合实验组 > 对照组 C > 模拟组的结论,笔者推测马氏珠母贝的代谢产物中可能含有促进藻类生长的因素。虽然藻类的生长易受物理、化学、生物等因素的影响,但在本实验中,为了避免多因素交错带来的干扰,特意把对照组增设到 3 组,一方面增加重复,提高对照的可信度,另一方面,对照组间互成对照,其中对照组 A 是关键组,它具有与实验组相同的海区暂养环境,直接关联着实验组与模拟组,通过它把对照组 C 与对照组 B 完全衔接成一个分析整体。当然,本实验仍有不足,并不能证明在马氏贝的代谢产物中是否存在通过促进氮磷吸收速率来提高羊栖菜生长的物质。

参考文献:

- [1]刘智训,张伟家,王仁斌. 浅析羊栖菜养殖技术[J]. 中国水产, 2007(9): 81-82.
- [2]王威,李红岩,王艳艳,等. 褐藻羊栖菜化学成分的研究[J]. 中草药, 2008(5): 657-661.
- [3]许忠能,王朝晖,孙立. 羊栖菜药用价值的研究进展[J]. 中草药, 2000(11): 876-878.
- [4]王梅芳,余祥勇,李咏梅,等. 马氏珠母贝育珠细胞小片和珠核处理技术研究 II: 不同处理液在广东徐闻育珠试验效果的比较[J]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(6): 7-13.
- [5]王梅芳,余祥勇,刘永. 马氏珠母贝雌雄同体和自体受精的研究[J]. 水生生物学报, 2006, 30(4): 420-424.
- [6]王梅芳,余祥勇,刘永,等. 马氏珠母贝精子的超低温保存[J]. 水产学报, 2006, 30(2): 170-174.
- [7]朱春华,申玉春,谢恩义,等. 湛江流沙湾马氏珠母贝的养殖容量[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(3): 76-81.
- [8]舒廷飞,罗琳,温琰茂. 海水养殖对近岸生态环境的影响[J]. 江西科学, 2007, 27(4): 617-622.
- [9]吴代放,熊卿,杜俊逸. 水产养殖对水体富营养化影响[J]. 内陆水产, 2001, 26(3): 32-33.
- [10]谢伟. 养殖水体富营养“污染与防治”[J]. 内陆水产, 2001, 26(3): 32-33.
- [11]王德利. 贝藻混养技术在我国海水养殖中的应用与研究[J]. 黄渤海海洋, 2001, 19(1): 1-8.
- [12]国家技术监督局. 海洋监测规范[S]. 北京: 海洋出版社, 2007: 16-36.
- [13]WHEATEN F W. A quacultural engineering [M]. New York: Wiley-Interscience Publication, 1977: 148-197.
- [14]朱仲嘉,陈培明. 羊栖菜马尾藻光合作用与水温光强的关系[J]. 水产学报, 1997, 21(2): 165-170.
- [15]G E 福格. 藻类的新陈代谢[M]. 纪明侯译. 北京: 科学出版社, 1962: 19-20.
- [16]岳维忠,黄小平,黄良民,等. 大型藻类净化养殖水体的初步研究[J]. 海洋环境科学, 2004(1): 13-15.
- [17]毛玉泽,杨红生,周毅,等. 龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)的生长、光合作用及其对扇贝排泄氮磷的吸收[J]. 生态学报, 2006(10): 3226-3231.
- [18]李再亮,申玉春,谢恩义,等. 羊栖菜对氮、磷的吸收速率研究[J]. 河南农业科学, 2011(3): 73-77.
- [19]PEDERSEN M F, PALING E I, WALKER D I. Nitrogen uptake and allocation in the seagrass *Amphibolis antarctica* [J]. Aquatic Botany, 1997, 56(2): 105-117.
- [20]THOMAS T E, HARRISON P J. Effects of supply on N uptake, accumulation and assimilation on *Porphyra perforata* [J]. Marine Biology, 1985, 85(30): 269-278.

Influences of Metabolites of *Pinctada martensii* on the Growth of *Sargassum fusiforme*

LI Shuang-bo, WANG Mei-fang, SUN Cheng-bo, WANG Bing-bing, YU Xiang-yong
(College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

Abstract: During the polyculture of shellfish *Sargassum fusiforme* and algae *Pinctada martensii*, we compared the growth differences of algae in the experimental group with shellfish, the simulation group without shellfish and the control group by measuring the amount of nitrogen and phosphorus released by the shellfish and absorbed by the algae. Furthermore, the removal rate and the absorptivity of the algae for the metabolic products of the shellfish were also determined. Results showed that $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ is the main form of nitrogen which *P. martensii* released and *S. fusiforme* absorbed. Four metabolites are $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ and $\text{PO}_4^{3+} - \text{P}$, and their release ratio from the shellfish is 27:21:1:18 while the algae absorption ratio 17:12:1:2.6. Analysis of variance showed that algae in the experimental group played a significant role in promoting the absorption rate of nitrogen and phosphorus ($P < 0.05$) when compared to the simulation group. Meanwhile, Duncan's multiple comparisons between the groups showed that daily weight gain and daily growth gain of *S. fusiforme* were significantly different among all the groups ($P < 0.05$) and increased in the order of the experimental group > the control group C > the stimulation group > the control group A > the control group B, which indicates that the metabolites of *P. martensii* can promote the growth of *S. fusiforme*. This research provides a theoretical basis for optimizing the polyculture density of *P. martensii* and *S. fusiforme*.

Key words: *Pinctada martensii*; amount of nitrogen & phosphorus released; *Sargassum fusiforme*; absorption effect