

刺参与红鳍东方鲀的生态混养效果

滕炜鸣¹, 王庆志^{1*}, 周遵春¹, 迟进坤², 张明¹,
刘项峰¹, 刘思昱¹, 张刚³

(1. 辽宁省海洋水产科学研究院辽宁省应用海洋生物技术开放实验室, 辽宁 大连 116023;

2. 锦州医科大学畜牧兽医学院, 辽宁 锦州 121007;

3. 辽宁省东港市水产技术推广站, 辽宁 丹东 118300)

摘要: 为了丰富海参池塘养殖的混养种类, 实验对刺参与红鳍东方鲀的生态混养效果进行了研究。结果显示, 经过100 d的混养实验, 红鳍东方鲀平均日增重率为1.07 g/d, 特定生长率为4.06 %/d, 混养组与单养组红鳍东方鲀没有显著差异; 但混养条件下刺参的生长状况显著优于单养条件下刺参的生长状况。与红鳍东方鲀混养组刺参平均日增重率为(0.11±0.04) g/d, 特定生长率为(0.67±0.20) %/d。单养组刺参平均日增重率为(0.04±0.02) g/d, 特定生长率为(0.35±0.19) %/d。研究表明, 刺参池塘混养红鳍东方鲀模式下, 红鳍东方鲀在正常快速生长的同时, 可以有效促进刺参的生长, 研究结果可以为刺参池塘的生态复合养殖提供参考依据。

关键词: 刺参; 红鳍东方鲀; 生长; 生态混养

中图分类号: S 962.9

文献标志码: A

生态混养是指运用生态学原理, 根据不同养殖生物间的生态位互补原理, 利用自然界物质循环系统, 在一定的养殖区域内, 将食性不同的生物在同一环境中共同生长, 实现保持生态平衡、提高养殖效益的一种养殖方式。生态混养理论早期在畜牧业中提出, 后来慢慢地引入到水产行业, 20世纪80年代初, 胡保同^[1]就开始研究池塘混养多品种鱼的生态效应, 近年来, 随着人们对环境重视程度的增加, 生态混养模式研究更是备受关注。有研究表明, 将不同营养级的养殖种类混养在一起不但会改良水质、提高产量, 而且对于主要种类的疾病控制也有一定的作用, 是一种健康、可持续发展的养殖模式^[2]。还有研究认为, 生态混养能更充分地利用水中的营养物质, 减小养殖区的营养负荷, 阻断物质循环, 抑制水体的富营养化^[3-5]。

刺参(*Apostichopus japonicus*)作为我国主要海

水养殖种类之一, 其营养价值和药用价值已经逐渐被人们所认可, 刺参养殖产业也不断扩大。其中, 池塘养殖已成为刺参人工养殖最主要的方式。近几年, 部分地区由于盲目扩大养殖规模, 养殖密度不合理, 已出现环境污染、藻华频发、养殖效益下降等问题, 开展刺参池塘的多品种复合养殖, 不但可以充分利用养殖空间、调控水质, 还可以有效提高单位养殖水体的经济效益。目前刺参池塘生态混养研究主要集中在刺参与贝类, 如栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)^[2]、皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)^[6]、西施舌(*Maclra antiquata*)^[7]等; 刺参与对虾, 如中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)^[2]、日本对虾(*Penaeus japonicus*)和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[8]等; 棘皮动物之间混养, 如刺参和马粪海胆(*Hemicentrotus pulcherrimus*)^[9]; 刺参与大型海藻, 如海带(*Laminaria japonica*)^[10]、龙须菜(*Gracilaria*

收稿日期: 2015-11-10 修回日期: 2016-11-05

资助项目: 辽宁省科学技术计划(2014203006, 2015103044); 辽宁省农业领域青年科技创新人才培养计划(2014013); 辽宁省海洋与渔业科学技术计划(201209; 201301)

通信作者: 王庆志, E-mail: wqzlm@126.com

verrucosa)^[11]、大叶藻(*Zostera marina*)^[12]等,均取得了较好的生态混养效果。刺参与鱼类生态混养研究目前也已有一些相关报道,如Yu^[13]等报道的与鱼类混养的海参,能更有效地摄取来自混养鱼类产生的有机碎屑等营养物质。Yu^[14]等认为,来自混养鱼类和贝类的有机颗粒是海参很好的食物来源。Hisashi等^[15]认为,混养在鱼塘中的海参相对于单养海参能获得碳源与氮源。

红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)隶属于鲀形目(Tetraodontiformes)、鲀科(Tetraodontidae)、鲀属(*Takifugu*),是河豚鱼中可进行养殖的优良品种之一,因其肉味鲜美、营养丰富,素有“百鱼之首”的美称^[16]。是我国最主要的出口创汇鱼类^[17]。近年来,红鳍东方鲀的养殖规模正在迅速扩大,目前主要集中在辽宁、河北、山东等地。本实验首次研究了刺参与红鳍东方鲀的生态混养效果,以期今后的研究和生产提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 实验场地及设施

实验池塘位于兴城市滨海乡海参养殖工业园内,养殖池塘面积近46.7 hm²,水深1.5~3.5 m。实验采用浮式网箱进行红鳍东方鲀养殖(图1-a),网箱为5目聚乙烯网,规格为5 m×5 m×3 m,底层封闭。实验后期根据鱼的生长情况更换大网孔网。采用陆基围隔方式进行单养模式下海参养殖(图1-b),规格为5 m×5 m×3 m。网隔内设有海参附着基。

1.2 实验材料

红鳍东方鲀苗种购自丹东市某育苗场,初始平均体长(41.39±7.17) mm,平均湿重(1.94±

0.61) g。刺参购自兴城市某育苗场,初始平均湿重(12.01±6.92) g。

1.3 实验设计与管理

红鳍东方鲀与刺参混养组在浮式网箱内进行,设3个平行,每组投放2500尾红鳍东方鲀鱼苗及100头刺参。为了便于刺参取样观察,随机取8头刺参放于取样筐中(图1-c),以取样筐中刺参代表投放刺参;刺参单养组在陆基围格内进行,设3个平行组,仅投放100头刺参,同样地,以取样筐内海参测量数据代表围格内海参,测量方法及投放规格同混养组海参。红鳍东方鲀单养组在浮式网箱内进行,设2个平行,仅投放2500尾红鳍东方鲀鱼苗。

红鳍东方鲀混养组与单养组每天投饵3次,饵料为鲷鲈类0~3号人工配合饲料,投饵量以不出现相互残食为准。刺参单养组采用常规刺参池塘养殖刺参方法,不投饵。

红鳍东方鲀于2014年5月22日投苗,待其适应一段时间且网隔网底附着硅藻后,2014年6月11日投放刺参苗。红鳍东方鲀取样采取饵料诱捕法。

1.4 数据测量及处理

红鳍东方鲀每15天左右取样一次,混养组与单养组均随机取样30头进行测量,测量其体长和湿重。刺参混养组与单养组均每25天随机取样30头进行测量,测量其湿重,并根据以下公式计算:

$$\text{平均日增重率(AGR, g/d)} = (W_f - W_i) / t$$

$$\text{特定生长率(SGR, \% / d)} = 100 \times (\ln W_f - \ln W_i) / t$$

式中, W_i 为初始河豚平均体质量(g), W_f 为实验结束河豚平均体质量(g), t 为实验持续时间(d)。

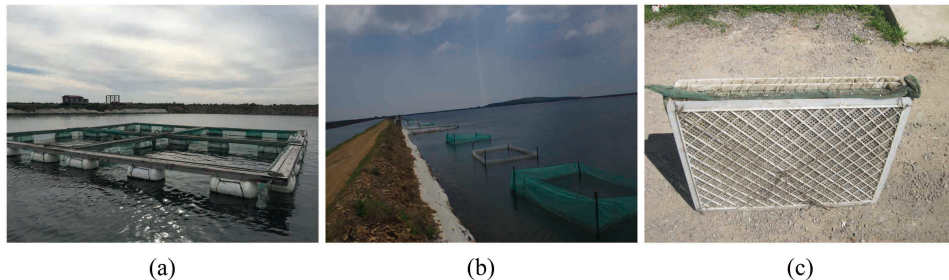


图1 实验设置

(a)实验网箱; (b)实验网隔; (c)取样筐

Fig. 1 The general situation of experiment

(a) the experimental cages; (b) the experimental enclosures; (c) the sampling frame

刺参的平均日增重率和特定生长率计算方法同红鳍东方鲀。

1.5 数据分析

数据采用SPSS 16.0统计软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 描述性统计值使用平均值±标准差表示, $P<0.05$ 为具有显著性差异。

2 结果

2.1 养殖水质状况

实验从5月下旬开始至9月上旬结束, 开始时刺参池塘水温为14 °C, 实验结束时水温为18 °C, 实验期间最高水温为25.91 °C, 盐度为29.45~33.03 (图2), pH值变化范围为8.34~8.66, 溶解氧含量变化范围为5.93~13.09 mg/L(图3)。

2.2 红鳍东方鲀生长状况

经过99 d养殖后, 混养组和单养组红鳍东方鲀体长和湿重上并没有显著差异(表1), 混养组截止到9月1日, 其平均日增重率为1.07 g/d, 特定生长率为4.06%/d。在养殖期间, 8月之前, 每次测量的红鳍东方鲀湿重均较上次测量的湿重有显著增长($P<0.05$)。8月份之后生长趋于平缓, 整个实验期间, 成活率均在90%以上。

2.3 刺参生长状况

经过80 d养殖后, 混养组刺参生长状况要显著好于单养组海参生长状况($P<0.05$)(图4), 其特定生长率7月下旬后也显著高于单养组(图5)。实

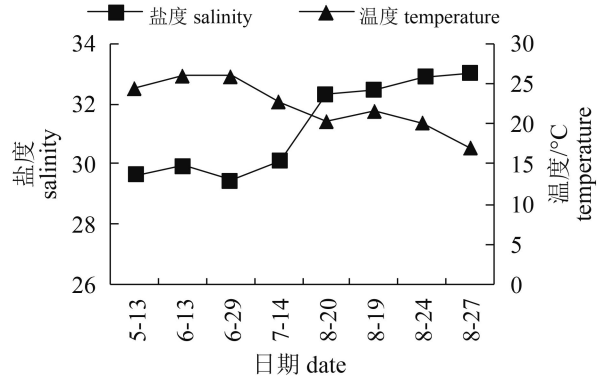


图2 盐度和温度变化

Fig. 2 The variations of salinity and temperature

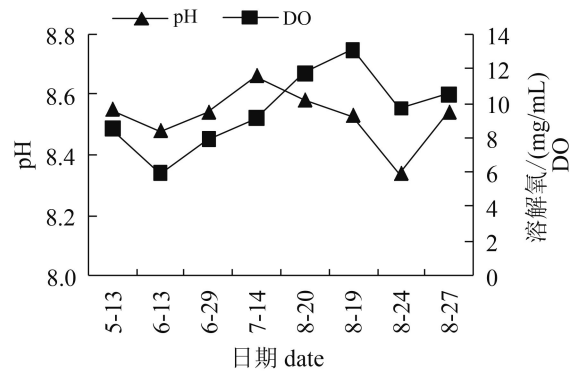


图3 pH和溶解氧含量变化

Fig. 3 The variations of pH and dissolved oxygen

验期间水温较高, 刺参测量次数为每25天一次。

经过3个月左右的养殖, 红鳍东方鲀和刺参生态混养效果良好, 红鳍东方鲀生长迅速的同时, 池塘混养组刺参也比单养组刺参有着明显

表1 红鳍东方鲀生长状况

Tab. 1 The growth of *T. rubripes*

日期 date	混养组 experimental group		单养组 control group	
	体长/mm length	湿重/g weight	体长/mm length	湿重/g weight
5-25	41.39±7.17	1.94±0.61	-	-
6-09	51.78±5.93	5.36±1.61 ^a	57.75±4.89	5.59±1.36 ^a
6-24	78.79±5.85	17.98±4.13 ^b	80.59±5.57	19.31±4.39 ^b
7-07	97.1±7.30	33.41±8.39 ^c	96.23±7.29	32.38±8.69 ^c
7-24	127.04±10.97	63.43±16.55 ^d	126.67±10.61	63.32±10.51 ^d
8-06	140.5±9.77	101.17±33.43 ^e	143.1±10.21	111.86±34.74 ^f
8-25	154.46±7.57	101.58±19.83 ^e	154.46±7.56	101.58±10.83 ^e
9-01	147.30±8.18	108.20±28.14 ^f	145.30±7.24	106.84±19.49 ^{ef}

注: 相同字母的不同处理组间差异不显著($P>0.05$), - 未检测

Notes: means with the same superscript are not significantly different ($P>0.05$), - means no detection

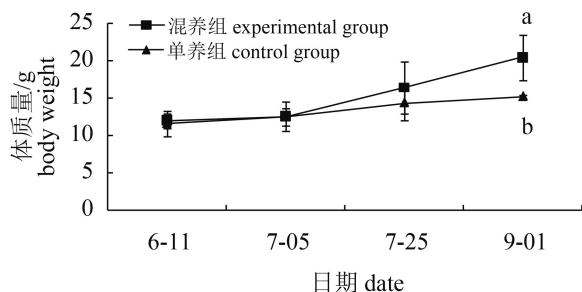


图4 混养、单养刺参生长情况

不同字母代表不同处理组间差异显著 ($P < 0.05$); 误差棒为标准差, 下同

Fig. 4 The growth of experimental group and control group in *A. japonicus*

Means with the different superscript are significantly different ($P < 0.05$); error bars represent SD, the same below

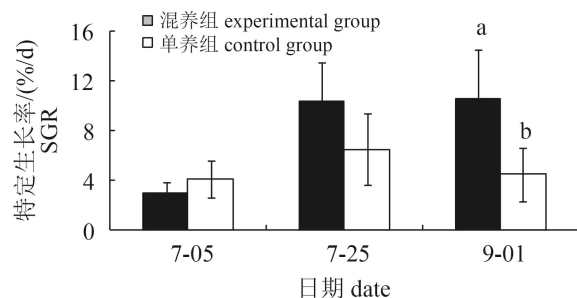


图5 混养、单养刺参特定生长率比较

Fig. 5 The SGR of experimental group and control group in *A. japonicus*

的生长优势。因投饵带来的水质问题也得到了有效改善, 实现了生态混养的目的。

3 讨论

3.1 刺参生长情况

实验期间, 单养组刺参与混养组刺参密度均是4个/ m^2 , 单养组刺参饵料主要以底栖硅藻和有机碎屑为主, 整个实验期间, 海参单养组网隔内刺参礁上底栖硅藻较充分。前期, 单养组刺参平均体质量与特定生长率要略高于混养组刺参平均体质量与特定生长率, 而7月中旬后单养组刺参平均体质量与特定生长率开始明显低于混养组刺参。这可能与刺参的适应程度不同有关。混养组刺参相对于单养组刺参需更长时间来适应混养鱼类所造成的扰动作用。这也是在投放规格上, 单养组刺参要略低于混养组刺参, 而第一次测量后, 单养组刺参平均规格反而略高于混养组刺参的主要原因。

众多研究表明, 混养模式下刺参能更有效的利用周围能源。金波昌等^[18]利用稳定碳同位素法分析了混养栉孔扇贝对刺参生长及食物来源的影响。表明混养刺参食物中有10.3%由与其混养的栉孔扇贝沉降物提供。刘峰等^[19]从氮磷收支方面研究, 提出利用刺参和其他养殖生物混养来提高氮磷利用率, 从而增加养殖刺参的经济效益。Hisashi^[15]对比了饵料中稳定碳元素与氮元素来源, 认为混养在鱼筐下的海参相对于单养海参能获得更多的碳源与氮源。秦培兵等^[20]认为在贝、藻、参混养系统中, 刺参对扇贝沉积物的摄食及生物扰动作用促进了水体中的营养盐循环, 使其更有效地得到利用。

在本次研究中, 经过初期的适应期后, 混养组刺参生长状况明显好于单养组刺参的生长状况。这与Hisashi^[15]的研究结果相同。这一方面由于混养模式下饵料更为充足, 养殖水域中的营养盐得到更为有效地利用。同时, 相对于混养其他种类(贝类、甲壳类等), 混养的鱼类主动摄食能力更强, 对池塘内的浮游动物以及小型水生动物有更强的摄食性, 其粪便营养更为全面。另一方面, 生长环境得到一定的改善, 混养刺参的生态效应及生物扰动作用能有效缓解养殖活动对养殖水域造成的生态压力, 而混养的鱼类能遮挡一部分阳光, 对刺参栖息环境也有一定改善。

3.2 红鳍东方鲀生长情况

本次研究表明, 经过3个月左右养殖, 大规格红鳍东方鲀体质量达到300g左右, 9月以后, 随着水温的降低, 可将红鳍东方鲀上市或转入室内继续养殖。研究期间, 混养组红鳍东方鲀与单养组红鳍东方鲀生长速度与成活率均没有太大差别, 说明混养刺参对红鳍东方鲀生长未造成影响。而不同养殖模式造成的环境方面的差异并未在红鳍东方鲀生长过程中有所体现, 这可能与养殖时间短、水交换量大有关。8月中旬以后, 随着温度的降低, 红鳍东方鲀生长速度逐渐呈现平缓趋势。至9月份, 体长有降低趋势, 这与红鳍东方鲀储蓄能量过冬有关。实验结束时, 红鳍东方鲀平均日增重率为1.07g/d, 特定生长率为4.06%/d, 略高于贾海波^[21]等的研究结果3.98%/d, 高于王鑫等^[22]的研究结果1.83%/d。这也表明混养模式并未对红鳍东方鲀生长造成

不利影响。

本次研究期间, 投饵量以不出现明显相互残食为标准, 故红鳍东方鲀平均日增重及特定生长率存在一定的增长空间, 理论上混养效果同样有提升空间。

3.3 刺参在混养生态系统中的作用

刺参在混养系统中的生态效应早有报道。秦传新^[2]利用EMERGY理论对刺参池塘的能值生产率、环境负载率和能值可持续发展指标做了研究, 评价了刺参养殖系统对生态环境的影响, 突出了刺参在养殖产业中的生态效应。邢坤^[23]研究了刺参对养殖环境的扰动作用, 表明刺参能有效地降低底质硫化物含量, 改善养殖环境。Kong等^[24]对刺参和皱纹盘鲍混养的研究表明, 刺参可有效地清除混养池中的残饵和粪便, 包括刺参自己的粪便, 达到净化水质, 促进生长的目的。Ahlgren^[25]报道, 红海参(*Parastichopus californicus*)能有效清除鲑(*Salvelinus fontinalis*)养殖网箱上的污损物, 以海参生物能的形式将污损物(包括残耳、鱼类粪便、浮游植物和其他颗粒有机物)转化为有价值的海产品。杨红生等^[10]模拟生态系建立了栉孔扇贝、海带和刺参的混养生态系统, 并计算了该系统中各种生物的负荷力, 证实了刺参的海底“清道夫”作用, 可以提高养殖海区的生态效益, 促进浅海综合养殖的良性、可持续发展。这些研究均表明, 刺参能有效地利用残耳与粪便等, 将一些能造成养殖用水自污的物质利用起来, 达到促进生长、改善养殖环境、实现可持续发展的目的。

本研究期间, 就生长状况来说, 混养刺参组的红鳍东方鲀与单养组红鳍东方鲀基本没有差别, 但网底沉积物状况差别较大, 单养网箱底部腐烂程度远高于混养网箱。这也体现了刺参在混养系统中的生态作用。之所以红鳍东方鲀生长状况未体现差异, 主要是由于暂养时间较短, 还未达到引起质变的程度。

合适的混养比例能够有效地增强混养效果。孙侦龙^[26]通过研究刺参和皱纹盘鲍混养下养殖系统生物量总产出、系统内主要营养盐水平变化以及刺参对养殖废物的利用率变化, 指出只有在合适的混养比例下, 养殖系统总生物量能显著增高, 刺参对鲍残饵、粪便以及刺参自身粪便等养殖废物的总利用效率最高, 能最大

化地将养殖废物转变为产品。本研究中, 随着红鳍东方鲀的生长, 需要定期进行密度疏散, 各个阶段不同混养比例对刺参和红鳍东方鲀的生长情况有着不同的影响作用, 但最适混养比例需要更进一步的实验研究。

从食性上来看, 红鳍东方鲀更偏向于脂肪含量较高的食物, 这对刺参的生长有一定的影响。实验过程中, 红鳍东方鲀主要投食人工饵料, 期间夹杂少量的野杂鱼虾, 投饵量也以不出现互残为标准, 同时设置饵料台, 这些措施基本保证底栖的刺参生活环境并没受到太大的改变。取样筐上底栖硅藻存在, 也说明混养鱼类对底栖硅藻的生长并未造成太大的影响。虾蟹鱼类粪便对刺参生长的影响一直以来就存在争议, 本次实验过程中, 并未发现红鳍东方鲀鱼粪便造成刺参化皮现象。从混养刺参与单养刺参生长对比来看, 混养红鳍东方鲀能丰富刺参饵料, 促进刺参生长。

参考文献:

- [1] 胡保同. 池塘施肥混养多品种鱼的生态学基础[J]. 生态学杂志, 1983(3): 31-33.
Hu B T. Ecological basis of mixed breeding various species of fish with the application of fertilizers in ponds[J]. Chinese Journal of Ecology, 1983(3): 31-33 (in Chinese).
- [2] 秦传新. 刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)的池塘养殖结构及其优化研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
Qin C X. Research on structure of culturing sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka and its optimization in pond[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009 (in Chinese).
- [3] Officer C B, Smayda T J, Mann R. Benthic filter feeding: A natural eutrophication control[J]. Marine Ecology Progress Series, 1982, 9: 203-210.
- [4] Kaspar H F, Gillespie P A, Boyer I C, et al. Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepuru Sound, Marlborough Sounds, New Zealand[J]. Marine Biology, 1985, 85(2): 127-136.
- [5] Rodhouse P G, Roden C M. Caron budget for a coastal inlet in relation to intensive cultivation of suspension-feeding bivalve mollusks[J]. Marine Ecology Progress Series, 1987, 36: 225-236.

- [6] 王云. 刺参密度对鲍参混养效果的影响[J]. 福建农业学报, 2014, 29(7): 633-636.
Wang Y. Effect of abalone density in mixed culture of abalone and sea cucumber[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2014, 29(7): 633-636 (in Chinese).
- [7] 李文波, 高如承, 潘辉, 等. 西施舌稚贝与仿刺参幼参混养的研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2012, 28(4): 82-87.
Li W B, Gao R C, Pan H, *et al.* Studies on the polyculture of juvenile *Coelomactra antiquate* with *Apostichopus japonicus*[J]. Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition), 2012, 28(4): 82-87 (in Chinese).
- [8] 谢双如. 仿刺参与对虾、花蛤池塘生态混养技术[J]. 中国水产, 2011(3): 44-46.
Xie S R. Ecological poly-cultivation technology of *Apostichopus japonicus*, prawn and *Ruditapes philippinarum*[J]. China Fisheries, 2011(3): 44-46 (in Chinese).
- [9] 王吉桥, 程鑫, 杨义, 等. 不同密度的虾夷马粪海胆与仿刺参混养的研究[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(2): 102-108.
Wang J Q, Cheng X, Yang Y, *et al.* Polyculture of juvenile sea urchin (*Strongylocentrotus intermedius*) with juvenile sea cucumber (*Apostichopus japonicus* Selenka) at various stocking densities[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2007, 22(2): 102-108 (in Chinese).
- [10] 杨红生, 周毅, 王健, 等. 烟台四十里湾栉孔扇贝、海带和刺参负荷力的模拟测定[J]. 中国水产科学, 2000, 7(4): 27-31.
Yang H S, Zhou Y, Wang J, *et al.* A modelling estimation of carrying capacities for *Chlamys farreri*, *Laminaria japonica* and *Apostichopus japonicus* in Sishiliwan Bay, Yantai, China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2000, 7(4): 27-31 (in Chinese).
- [11] 王肖军, 孙慧玲, 谭杰, 等. 龙须菜对刺参生长及环境因子的影响[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(5): 58-66.
Wang X J, Sun H L, Tan J, *et al.* Effect of *Gracilaria lemaneiformis* on the growth of sea cucumber *Apostichopus japonicus* and the environment[J]. Progress in Fishery Sciences, 2011, 32(5): 58-66 (in Chinese).
- [12] 邢坤, 李耕, 杨贵福, 等. 冬季大叶藻与幼参混养效果的模拟研究[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(3): 260-264.
Xing K, Li G, Yang F G, *et al.* The co-culture of eelgrass *Zostera marina* and juvenile sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, in winter[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2012, 27(3): 260-264 (in Chinese).
- [13] Yu Z H, Hu C Q, Zhou Y, *et al.* Survival and growth of the sea cucumber *Holothuria leucospilota* Brandt: A comparison between suspended and bottom cultures in a subtropical fish farm during summer[J]. Aquaculture Research, 2012, 44(1): 114-124.
- [14] Yu Z H, Zhou Y, Yang H S, *et al.* Survival, growth, food availability and assimilation efficiency of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* bottom-cultured under a fish farm in southern China[J]. Aquaculture, 2014, 426-427: 238-248.
- [15] Yokoyama H. Growth and food source of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* cultured below fish cages-Potential for integrated multi-trophic aquaculture[J]. Aquaculture, 2013, 372-375: 28-38.
- [16] 高露姣, 黄艳青, 夏连军, 等. 不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较[J]. 水产学报, 2011, 35(11): 1668-1676.
Gao L J, Huang Y Q, Xia L J, *et al.* Comparison of flesh quality of farmed fugu, *Takifugu rubripes* from different culture models[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11): 1668-1676 (in Chinese).
- [17] 麻丽丹, 王殿夫, 于晓婕, 等. 养殖河豚鱼弧菌病原菌的鉴定和生物学特性分析[J]. 中国动物检疫, 2011, 28(7): 40-42.
Ma L D, Wang D F, Yu X J, *et al.* Identification and biological characterization of vibrio pathogen associated with cultured swellfish[J]. China Journal of Animal Quarantine, 2011, 28(7): 40-42 (in Chinese).
- [18] 金波昌, 董双林, 田相利, 等. 人工饲料对刺参幼参生长贡献的碳稳定同位素法分析[J]. 水产学报, 2013, 37(2): 269-274.
Jin B C, Dong S L, Tian X L, *et al.* Using carbon stable isotope ratio to evaluate contribution of artificial feeds to growth of pond cultured juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka)[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(2): 269-274 (in Chinese).
- [19] 刘峰, 王芳, 董双林, 等. 不同类型附着基对刺参生长和氮磷收支的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),

- 2013, 43(1): 41-46.
- Liu F, Wang F, Dong S L, *et al.* Study on the Effect of different types of shelter on sea cucumber growth and nitrogen and phosphorus budgets[J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science Edition), 2013, 43(1): 41-46 (in Chinese).
- [20] 秦培兵, 卢继武, 赵增霞, 等. 扇贝不同养殖模式室内模拟实验中POC、PN的变化比较[C]. 中国贝类学会第九次学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 1999: 92-98.
- Qin P B, Lu J W, Zhao Z X, *et al.* Change of POC and PN in different experiment ecosystems[C]. Transactions of the Chinese Society of Malacology (IX). Beijing: Ocean Press, 1999: 92-98. (in Chinese).
- [21] 贾海波, 孙耀, 唐启升. 温度对红鳍东方鲀能量收支和生态转化效率的影响[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(5): 39-46.
- Jia H B, Sun Y, Tang Q L. Effects of temperature on energy budget and ecological conversion efficiency of tiger puffer *Takifugu rubripes*[J]. Maring Fisheries Research, 2008, 29(5): 39-46 (in Chinese).
- [22] 王鑫, 李荣, 刘东超, 等. 氨氮对红鳍东方鲀生长及能量收支的影响[J]. 水产科学, 2014, 33(7): 433-437.
- Wang X, Li R, Liu D C, *et al.* Effects of Ammonia on growth and energy budgets of redfin puffer *Takifugu rubripes*[J]. Fisheries Science, 2014, 33(7): 433-437 (in Chinese).
- [23] 邢坤. 刺参生态增养殖原理与关键技术[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2009.
- Xing K. Principle and key technology on ecological enhancement of the sea cucumber, *Apostichopus japonicas* (Selenka) [D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Academia Sinica, 2009 (in Chinese).
- [24] Kang K H, Kwon J Y, Kim Y M. A beneficial coculture: charm abalone *Haliotis discus Hannai* and sea cucumber *Stichopus japonicus*[J]. Aquaculture, 2003, 216(1-4): 87-93.
- [25] Ahlgren M O. Consumption and assimilation of salmon net pen fouling debris by the red sea cucumber *Parastichopus californicus*: Implications for polyculture[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1998, 29(2): 133-139.
- [26] 孙侦龙. 刺参养殖主要营养要素代谢过程的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- Sun Z L. Study on the main nutrient metabolism of the farming sea cucumber[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012 (in Chinese).

Growth of sea cucumbers *Apostichopus japonicus* cultivated with tiger puffer *Takifugu rubripes* in an integrated multi-trophic aquaculture experiment

TENG Weiming¹, WANG Qingzhi^{1*}, ZHOU Zunchun¹, CHI Jinkun², ZHANG Ming¹,
LIU Xiangfeng¹, LIU Siyu¹, ZHANG Gang³

(1. Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Liaoning Open Lab of Applied Marine Biology, Dalian 116023, China;

2. College of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Jinzhou Medical University, Jinzhou 121007, China;

3. Donggang Fishery Technology Extension Station, Dandong 118300, China)

Abstract: In a 100 days field trial we examined the growth of sea cucumbers *Apostichopus japonicus* in bottom culture underneath net pens of tiger puffer *Takifugu rubripes* at an experimental integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) site. We tested the effects of multi-culture on growth in two experimental species. We also compared growth of experimental animals cultured directly with control single species. There was no significant difference in fish growth between polyculture and control group, the average weight of daily weight gain (Md-wg) of *T. rubripes* was 1.07 g/d and the specific growth rate (SGR) was 4.06%/d in polyculture group. The Md-wg of *A. japonicus* was (0.11±0.04) g/d and the SGR was (0.67±0.2)%/d in polyculture group. In control single group, the Md-wg of *A. japonicus* was (0.04±0.02) g/d and the SGR is (0.35±0.19)%/d. Sea cucumbers suspended directly below the tiger puffer net pens grew significantly faster than control individuals. This study demonstrated that *A. japonicus* is well suited to utilize the heavy fraction of waste from the tiger puffer while providing an additional valuable harvestable product.

Key words: *Apostichopus japonicus*; *Takifugu rubripes*; growth; integrated multi-trophic aquaculture

Corresponding author: WANG Qingzhi. E-mail: wqzlm@126.com

Funding projects: Science and technology projects in Liaoning Province (2014203006, 2015103044); Youth Innovative Talents Training Program on Science and Technology of Agriculture Field in Liaoning Province (2014013); Science and Technology Projects of Ocean and Fisheries in Liaoning Province (201209; 201301)