

文章编号:1005-8737(2000)04-0027-05

## 烟台四十里湾栉孔扇贝、海带和刺参负荷力的模拟测定

杨红生,周毅,王健,张涛,王萍,何义朝,张福绥

(中国科学院海洋研究所,山东青岛266071)

**摘要:**利用模拟养殖系统,实测了四十里湾海区对栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)、海带(*Laminaria japonica*)和刺参(*Apostichopus japonicus*)的负荷力。结果表明,模拟养殖系统中,单养和贝藻混养系统对栉孔扇贝的负荷力分别为184.6和201.7 g/m<sup>2</sup>;混养系统对海带和刺参的负荷力分别为106.8和74.7 g/m<sup>2</sup>。该海区对单养和贝藻混养系统栉孔扇贝的负荷力分别为7 387.7和8 072.0 kg/hm<sup>2</sup>,对海带和刺参的负荷力分别为4 272.0和597.9 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词:**四十里湾;养殖系统;栉孔扇贝;海带;刺参;负荷力

**中图分类号:**Q178.53

**文献标识码:**A

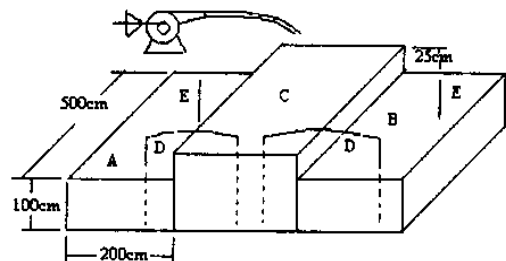
烟台市四十里湾是我国开展浅海筏式养殖较早的海湾之一。目前,筏式养殖主要对象有贻贝(*Mytilus edulis*)、栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)、海湾扇贝(*Argopecten irradians*)和海带(*Laminaria japonica*)。局部海区还开展了刺参(*Apostichopus japonicus*)人工增养殖。养殖面积分别为:扇贝830 hm<sup>2</sup>,贻贝460 hm<sup>2</sup>,海带250 hm<sup>2</sup>。

有关贝类负荷力的研究主要集中在牡蛎<sup>[1-3]</sup>、扇贝<sup>[4-6]</sup>、贻贝<sup>[7-9]</sup>和硬壳蛤<sup>[10]</sup>等,多采用模型评估。1997年5月至1998年5月,作者等较为系统地研究和调查了该海区筏式养殖系统营养动力学、初级生产力和供饵料、贝、藻、参养殖现状等,为评估海区贝、藻、参负荷力提供了大量的参考数据。为了证实评估的可靠性,设计了不同类型的养殖系统进行对比实验,其目的是采用现场模拟养殖系统研究方法,直接测定贝、藻、参的负荷力,为该海区海水增养殖研究提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 蓄水池、实验池和流水系统

如图1所示,蓄水池面积为10 m<sup>2</sup>,水深1.5 m,位于2个实验池之间,用于提供稳定的水源和流水,共3个。实验池面积为10 m<sup>2</sup>,水深1 m,共7个。用水泵从金沟湾海区定时取水,海水首先进入蓄水池,再通过虹吸管进入实验池一端底部,出水由实验池另一端上部排出。每日换水量100%。实验从1998年4月5日开始,6月23日结束,此间水温9~19℃,盐度为31~32。



A, B: 实验池 Experimental tanks; C: 蓄水池 Sluice tank; D: 虹吸管 Siphon; E: 排水管 Drainpipe

图1 实验系统示意图

Fig.1 Diagram of the experimental system

收稿日期:1999-9-11

基金项目:国家重点基础研究规划资助项目(G1999012012);国家重点科技攻关资助项目(96-922-02-04);中国科学院重大项目(KZ951-A1-102-02)

作者简介:杨红生(1964-),男,中国科学院海洋研究所研究员,博士生导师,从事养殖学与养殖生态学研究。

## 1.2 养殖生物与放养情况

栉孔扇贝、海带和刺参均由烟台市水产研究所提供。第1系列为单养栉孔扇贝,共3个实验池(S1、S2、S3),1龄栉孔扇贝放养密度梯度为10、20、40  $\text{m}^{-2}$ 。第2系列为贝、藻、参混养模拟实验,共3个实验池(SK1、SK2、SK3),放养密度分别为:1龄栉孔扇贝10、20、40  $\text{m}^{-2}$ ,海带1、1.5、2  $\text{m}^{-2}$ ,刺参苗1、2、3  $\text{m}^{-2}$ 。详细放养情况见表1、2。

## 1.3 实验管理和数据测定

**1.3.1 管理** 每日向蓄水池注水4次,时间分别为涨潮和落潮中期。每日在5:00和17:00检查养殖生物生长和死亡情况并测定各池水温、DO、pH、盐

度等各1次。池底沉积物每日清除1次。

表1 单养与贝藻参混养系统中栉孔扇贝放养情况

Table 1 Stocking of *C. farreri* in monoculture and polyculture systems

| 实验池<br>Pond | 放养密度/ $\text{m}^{-2}$<br>Stocking density | 放养量/( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )<br>Stocking weight | 放养规格/( $\text{g} \cdot \text{ind}^{-1}$ )<br>Stocking size in wet weight |
|-------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| S1          | 10                                        | 48.0                                                      | 4.80 ± 1.52                                                              |
| S2          | 20                                        | 88.0                                                      | 4.40 ± 1.02                                                              |
| S3          | 40                                        | 160.7                                                     | 4.02 ± 0.98                                                              |
| SK1         | 10                                        | 39.0                                                      | 3.90 ± 0.94                                                              |
| SK2         | 20                                        | 66.0                                                      | 3.35 ± 0.85                                                              |
| SK3         | 40                                        | 156.0                                                     | 3.90 ± 0.92                                                              |

表2 贝藻参混养系统中海带和刺参放养情况

Table 2 Stocking of *L. japonica* and *A. japonicus* in polyculture systems

| 实验池<br>Pond | 放养密度/ $\text{m}^{-2}$<br>Stocking density |                    | 放养重量/( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )<br>Stocking weight |                    | 放养规格/( $\text{g} \cdot \text{ind}^{-1}$ )<br>Stocking size in wet weight |                    |
|-------------|-------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|             | 海带<br>Kelp                                | 刺参<br>Sea cucumber | 海带<br>Kelp                                                 | 刺参<br>Sea cucumber | 海带<br>Kelp                                                               | 刺参<br>Sea cucumber |
| SK1         | 1.0                                       | 1.0                | 52.0                                                       | 16.05              | 60.2 ± 6.1                                                               | 16.05 ± 4.98       |
| SK2         | 1.5                                       | 2.0                | 95.8                                                       | 34.50              | 63.9 ± 6.6                                                               | 17.25 ± 5.03       |
| SK3         | 2.0                                       | 3.0                | 90.2                                                       | 50.00              | 45.1 ± 5.4                                                               | 16.67 ± 5.24       |

**1.3.2 测定方法** 观测上述项目的同时,每15 d测定1次栉孔扇贝、海带和刺参的生长,获得各自的瞬时增长率及其日产量和现存量等数据。

瞬时增长率计算公式:

$R_{IG} = [(\ln s_2 - \ln s_1) / t] \times 100$ ; 其中:  $R_{IG}$  - 瞬时增长率,  $s_1$  和  $s_2$  - 先后2次测定平均体重,  $t$  - 2次测定期间间隔的天数。

## 1.4 负荷力的判断

在养殖环境条件下,以养殖生物瞬时增长率接近零时的最大生物现存量为试验池的负荷力<sup>[11~12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 养殖生物的生长

不同养殖模式中栉孔扇贝在不同时间里的平均体重见图2。同一模式中,放养密度对栉孔扇贝的生长影响很大,不同养殖模式间有一定的差异。瞬时增长率的计算结果表明(表3),在实验后期,放养密度较高的S3和SK3系统中栉孔扇贝的生长接近

于零。海带的平均体重和瞬时增长率见图3及表4,在贝、藻、参混养系统中的海带生长较快。养殖后期,部分养殖系统海带出现负生长。刺参的平均体重和瞬时增长率测定结果见图4和表5,刺参在实验前期生长很快,5月9日以后,生长速度明显减慢,主要原因是饵料不足;5月24日以后平均体重急剧下降,这与部分刺参繁殖及夏眠(停止摄食)有关。

表3 单养与贝藻参混养系统中栉孔扇贝的瞬时增长率

Table 3 Instantaneous growth rate in weight of scallops cultured in monoculture and polyculture

| 实验池<br>Pond | 时间/(月·日) Sampling date |          |          |          |          |
|-------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|             | 4.5~4.21               | 4.21~5.9 | 5.9~5.24 | 5.24~6.8 | 6.8~6.23 |
| S1          | 1.27                   | 0.81     | 0.61     | 0.31     | 0.24     |
| S2          | 0.77                   | 0.85     | 0.81     | 0.83     | 0.38     |
| S3          | 0.91                   | 0.34     | 0.66     | 0.41     | 0.05     |
| SK1         | 2.19                   | 0.80     | 0.61     | 0.74     | 0.65     |
| SK2         | 1.97                   | 0.90     | 0.81     | 0.52     | 0.60     |
| SK3         | 0.68                   | 0.99     | 0.49     | 0.28     | 0.05     |

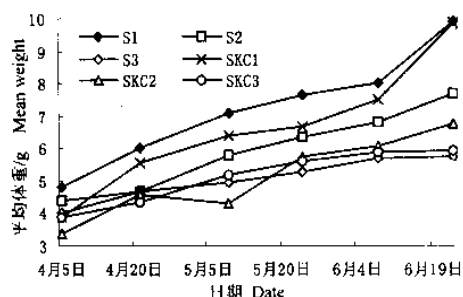


图2 单养和贝藻混养系统中栉孔扇贝的平均体重

Fig.2 Average weight of scallops in shellfish monoculture and polyculture systems

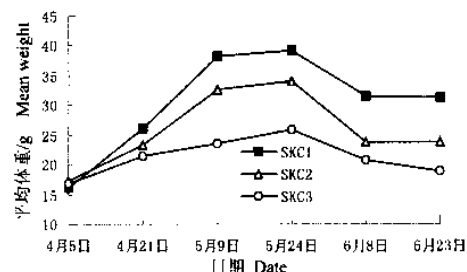


图4 贝藻混养系统中刺参的平均体重

Fig.4 Average weight of sea cucumbers in polyculture system

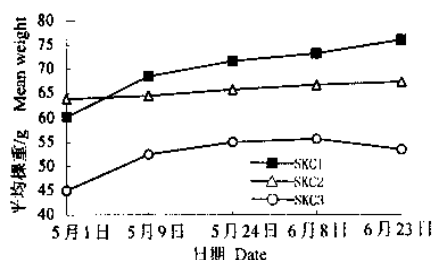


图3 贝藻混养系统中海带的平均体(重)

Fig.3 Average weight of kelps in polyculture system

表4 贝藻混养系统中海带的瞬时增长率

Table 4 Instantaneous growth rate in weight of kelps cultured in polyculture systems

| 实验池<br>Pond | 时间/(月.日) Sampling date |          |          |          |
|-------------|------------------------|----------|----------|----------|
|             | 5.1~5.9                | 5.9~5.24 | 5.24~6.8 | 6.8~6.23 |
| SKC1        | 1.60                   | 0.30     | 0.16     | 0.24     |
| SKC2        | 0.16                   | 0.12     | 0.10     | 0.04     |
| SKC3        | 1.85                   | 0.32     | 0.08     | -0.27    |

表5 贝藻混养系统中刺参的瞬时增长率

Table 5 Instantaneous growth rate in weight of sea cucumbers cultured in polyculture systems

| 实验池<br>Pond | 时间/(月.日) Sampling date |          |          |          |          |
|-------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
|             | 4.5~4.21               | 4.21~5.9 | 5.9~5.24 | 5.24~6.8 | 6.8~6.23 |
| SKC1        | 3.01                   | 2.16     | 0.15     | -1.45    | -0.04    |
| SKC2        | 1.87                   | 1.88     | 0.27     | -2.40    | 0.01     |
| SKC3        | 1.58                   | 0.49     | 0.63     | -1.43    | -0.61    |

## 2.2 养殖生物负荷力的判断

养殖生物负荷力有关数据见表6、7。栉孔扇贝的成活率与放养量成反比( $r^2 = 0.9440$ )。各养殖模式中栉孔扇贝的日产量均以放养密度  $20 \text{ m}^{-2}$  时较高。由于放养量较大和水深较浅等因素的影响,海带生长较慢;刺参在实验前期生长较快,产量较高。根据定义判断,单养和贝藻混养模式栉孔扇贝的负荷力分别为:184.6 和  $201.7 \text{ g/m}^2$ ;贝藻混养和贝藻参混养模式海带的负荷力分别为:101.8 和  $106.8 \text{ g/m}^2$ ;贝藻参混养模式刺参的负荷力为  $74.7 \text{ g/m}^2$ 。

表6 单养与贝藻参混养系统中栉孔扇贝的成活率、日产量和现存量

Table 6 Survival rate, daily production and standing stock of *C. farreri* cultured in different systems

| 实验池<br>Pond | 养殖天数/d<br>Cultured days | 成活率/%<br>Survival rate | 日产量/( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )<br>Daily production | 现存量/( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )<br>Standing stock | 软体部湿重现存量/( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )<br>Standing stock in wet weight of soft body |
|-------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |                         |                        |                                                                                |                                                          |                                                                                          |
| S1          | 80                      | 89.0                   | 0.31                                                                           | 72.7                                                     | 14.0                                                                                     |
| S2          | 80                      | 84.5                   | 0.56                                                                           | 132.9                                                    | 23.7                                                                                     |
| S3          | 80                      | 79.0                   | 0.30                                                                           | 184.6                                                    | 35.4                                                                                     |
| SKC1        | 80                      | 90.0                   | 0.48                                                                           | 77.7                                                     | 13.4                                                                                     |
| SKC2        | 80                      | 86.0                   | 0.73                                                                           | 124.0                                                    | 21.3                                                                                     |
| SKC3        | 80                      | 85.8                   | 0.57                                                                           | 201.7                                                    | 29.5                                                                                     |

表 7 贝藻参混养系统中海带和刺参的日产量和现存量

Table 7 Daily production and standing stock of *L. japonica* and *A. japonicus* cultured in polyculture systems

| 实验池<br>Pond | 养殖天数/d Cultured days |                 | 日产量/(g·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> ) Daily production |                 | 现存量/(g·m <sup>-2</sup> ) Standing stock |                 |
|-------------|----------------------|-----------------|------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|-----------------|
|             | 海带 Kelp              | 刺参 Sea cucumber | 海带 Kelp                                                    | 刺参 Sea cucumber | 海带 Kelp                                 | 刺参 Sea cucumber |
| SKC1        | 54                   | 48              | 0.29                                                       | 0.48            | 60.2                                    | 39.2            |
| SKC2        | 54                   | 48              | 0.03                                                       | 0.70            | 97.4                                    | 67.9            |
| SKC3        | 54                   | 48              | 0.31                                                       | 0.51            | 106.8                                   | 74.7            |

### 2.3 栉孔扇贝、海带和刺参负荷力的评估

该模拟养殖系统实验测得的数据是在该实验条件下不同养殖模式中养殖生物的负荷力。模拟养殖系统与养殖海区条件的主要差异在于水深、光照、水流、沉积和再悬浮作用等方面。为了较为准确地评估该海区养殖生物的负荷力,本研究特作如下假设:①假设栉孔扇贝可以利用整个海区不同水层的饵料;②假设海带可以充分利用整个海区的水体进行光合作用;③假设沉积到海底的沉积物有 10% 残留在海底,刺参又可以利用全部沉积到海底的沉积物。

四十里湾海区(以整个海区计算)中栉孔扇贝、海带和刺参负荷力的估计值见表 8。1997 年该海区滤食性贝类的产量为 96 757 t,海带产量为 57 736 t。很显然,两者的养殖产量均已超过本研究所评估的负荷力,因此滤食性贝类和海带养殖都需进行必要的调整。目前,该海区刺参的产量较低,尚有一定的发展前途。建议该海区有关养殖单位可加大刺参底播增殖的面积,从而提高经济效益,同时利用刺参的海底“清道夫”作用,提高养殖海区的生态效益,促进该海区多元化养殖的良性发展。

表 8 四十里湾海区栉孔扇贝、海带和刺参负荷力的评估

Table 8 Evaluation on the carrying capacities of scallop, kelp, and sea cucumber in Sishiliwan Bay

| 养殖模式<br>Culture model                                  | 养殖生物<br>Species | 负荷力模拟值/(g·m <sup>-2</sup> )<br>Carrying capacity of culture systems | 海区负荷力估计值/<br>Carrying capacity of sea areas |                        | 海区总负荷力/t<br>Total carrying capacity of sea areas |
|--------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------|
|                                                        |                 |                                                                     | (g·m <sup>-2</sup> )                        | (kg·hm <sup>-2</sup> ) |                                                  |
| 贝类单养<br>Scallop monoculture                            | 栉孔扇贝 Scallop    | 184.6                                                               | 738.4                                       | 7 387.7                | 96 040.1                                         |
| 贝藻参混养<br>Polyculture of scallop, kelp and sea cucumber | 栉孔扇贝 Scallop    | 201.7                                                               | 806.8                                       | 8 072.0                | 104 936.0                                        |
|                                                        | 海带 Kelp         | 106.8                                                               | 427.2                                       | 4 272.0                | 55 536.0                                         |
|                                                        | 刺参 Sea cucumber | 74.7                                                                | 59.8                                        | 597.9                  | 7 772.7                                          |

## 3 讨论

### 3.1 影响养殖生物生长和负荷力的主要因素

研究结果表明<sup>[13]</sup>,水温和养殖海区中天然饵料的现存量都对栉孔扇贝的生长具有一定的制约作用,两者的联合作用可能会更为严重地制约栉孔扇贝的生长。本研究期间,水温为 9~19℃,是在栉孔扇贝生长的适温范围(5~22℃)之内,因此限制其生长的主要原因是天然饵料的不足,或者是现存量接近或达到养殖水体对栉孔扇贝的负荷力。

影响海带生长的环境因素有水温、光照和生源要素的含量。温度是海带生长的重要限制因素之一,海带生长最适温度是 5~10℃,1~5℃ 是其生长的低适温范围,10~13℃ 则是高适温范围。但当藻体在 2.5 m 以下时,对高温的适应范围较强,在水温接近 20℃ 时仍可保持一定速度的生长。实验结果表

明,海带养殖在室内生长缓慢。本实验所用的海带规格较小,因而水温并不是主要的限制因素。放养量较大(为求负荷力)、池水较浅等都在一定程度上限制了海带的生长。本研究的目的是初步查明海带的负荷力,而生长的快慢对研究结果影响较小。

刺参适应能力很强,在 0~30℃ 的范围内都可以生存。实验中期刺参生长速度明显下降,饵料是其主要的限制因素。实验发现刺参对栉孔扇贝的粪便和假粪及天然沉积物都具有很强的清除能力,并可以多次利用。当水温达到 17℃ 以上时,个体较大的刺参开始繁殖,然后进入夏眠阶段,这是实验后期刺参出现负生长的主要原因。

影响负荷力的因素有养殖海区的供饵力、海区自净能力、养殖结构的布局、其它滤食性动物(海鞘、石灰虫等)的影响和日常管理等。养殖品种的搭配(如贝藻间养或轮养等),养殖区的合理布局及管理

技术的改进等,都将相应增大该海区的负荷力。

### 3.2 半现场模拟测定负荷力的效果

本研究首次采用半现场模拟养殖系统,现场测定栉孔扇贝、海带和刺参的负荷力,初步实验结果表明该模拟养殖系统具有以下优点:数据可靠;养殖生物的放养量及生长、环境生态学和营养动力学数据都可以较为准确获得;实验条件基本一致,增加了数据的可比性;不同模式间可以进行比较,从而更有效地反映养殖生物对多元化养殖生态系统的影响。

由于条件所限,本系统未能较好地模拟养殖海区水流等特征,但在实验中,通过从海上定时多次取水,以求保持养殖系统中水交换率,从而部分弥补了本系统的不足。

### 参考文献:

- [1] Bacher C, Bioteau H, Chapelle A. Modelling the impact of a cultivated oyster population on the nitrogen dynamics; the Thau Lagoon case (France)[J]. *Ophelia*, 1995, 42: 29-54.
- [2] Herrai M. Evaluation of carrying capacity of the molluscan shellfish systems[A]. IFREMER. Shellfish Culture Development and Management[C]. *Aquaculture*, 1985, 297-318.
- [3] Railard O, Menesguen A. An system box model for estimating the carrying capacity of a macrotidal shellfish system[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1994, 115: 117-130.
- [4] 杨红生, 张福绥. 浅海筏式养殖贝类养殖容量研究进展[J]. *水产学报*, 1999, 24(1): 98-104.
- [5] 小林信三. 喷火湾のウニとその养殖许容量调查报告书[R]. 社团法人. 北海道水产资源技术开发协会. 1978. 53.
- [6] 方建光, 匡世煥, 孙慧玲, 等. 桑沟湾栉孔扇贝养殖容量的研究[J]. *海洋水产研究*, 1996, 17(2): 18-31.
- [7] Carver C E A, Mallet A L. Assessing the carrying capacity of a coastal inlet in terms of mussel culture[J]. *Aquaculture*, 1990, 88: 39-53.
- [8] Grant J, Thompson K R. A model of carrying capacity for suspended mussel culture in eastern Canada[J]. *J Shellfish Res*, 1988, 7(3): 568.
- [9] Ince L S, Lutz R A, True E. Modelling carrying capacities for bivalves molluscs in open, suspended - culture system[J]. *J World Maricul Soc*, 1981, 12(1): 143-155.
- [10] Holliday J E, Maguire G B, Nell J A. Optimum stocking density for nursery culture of Sydney rock oysters (*Saccostrea commerialis*)[J]. *Aquaculture*, 1991, 96: 7-16.
- [11] Frechette M M. Carrying capacity and density dependence (Workshop Report)[J]. *ICES Mar Sci Symp*, 1991, 192: 78.
- [12] Walker T. Carrying capacity answers for shellfish growing areas remain elusive[J]. *Australia Aquaculture*, 1997, 11(2): 50-51.
- [13] 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[J]. *水产学报*, 2000, 25(2): 138-143.

## A modelling estimation of carrying capacities for *Chlamys farreri*, *Laminaria japonica* and *Apostichopus japonicus* in Sishiliwan Bay, Yantai, China

YANG Hong-sheng, ZHOU Yi, WANG Jian, ZHANG Tao, WANG Ping, HE Yi-chao, ZHANG Fu-sui  
(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Sishiliwan Bay is located near Yantai, Shandong Province, with cultural areas of 830 hm<sup>2</sup> for *Chlamys farreri*, 460 hm<sup>2</sup> for *Laminaria japonica* and 250 hm<sup>2</sup> for *Apostichopus japonicus*. During April 5, 1998 to June 23, 1998, the model cultural systems were established using 7 ponds with volume (5 m × 2 m × 1 m) each. Three ponds were used for monoculturing *C. farreri* at different stocking densities, and the other 3 ponds for polyculturing *C. farreri*, *L. japonica* and *A. japonicus*. The results show that the carrying capacities of the scallop monoculture system and polyculture system are 184.6 g/m<sup>2</sup> and 201.7 g/m<sup>2</sup>, respectively, that for kelps in the polyculture system is 106.8 g/m<sup>2</sup>, and for sea cucumbers is 74.7 g/m<sup>2</sup>. Based on these results, the carrying capacities of Sishiliwan Bay for scallops were evaluated to be 7 387.7 kg/hm<sup>2</sup> in shellfish monoculture system and 8 072.0 kg/hm<sup>2</sup> in polyculture system, and 4 272.0 kg/hm<sup>2</sup> for kelps, 597.9 kg/hm<sup>2</sup> for sea cucumbers in polyculture system, respectively.

**Key words:** Sishiliwan Bay; culture system; *Chlamys farreri*; *Laminaria japonica*; *Apostichopus japonicus*; carrying capacity