

文章编号: 1000-0615(2016)10-1624-10

DOI: 10.11964/jfc.20150709966

筏式虾夷扇贝养成期不同密度生长与经济效益分析

于佐安, 谭克非*, 张明, 李大成, 李华琳, 王笑月

(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,
辽宁省水产分子生物学重点实验室 辽宁大连 116023)

摘要: 为分析养殖过程中各项成本(扇贝成本、劳动力成本、养殖设备成本等), 讨论筏式虾夷扇贝不同养殖密度条件下的经济效益。2013年5月9日—2014年4月9日, 在一龄虾夷扇贝养成至二龄贝期间, 设置10枚/层、15枚/层、20枚/层、25枚/层和30枚/层5个密度组, 测量统计扇贝壳高和累积死亡率等指标评价其生长情况和经济效益。不同养殖密度生长测量结果表明: 低密度养殖组别(10枚/层、15枚/层)平均壳高大于高密度养殖组别(20枚/层、25枚/层和30枚/层)($P < 0.05$), 低密度养殖组别累积死亡率低于高密度养殖组别(10枚/层 $<$ 15枚/层、20枚/层 $<$ 25枚/层 $<$ 30枚/层)($P < 0.05$), 一龄至二龄养成期间, 低密度养殖在壳高性状和降低死亡率方面具有明显优势; 不同养殖密度生长指标结合经济成本分析结果表明: 在一龄虾夷扇贝总量一定和养殖浮筏数量一定两种经济模型下, 10枚/层密度组的经济效益最高; 综合分析表明: 筏式虾夷扇贝低密度养殖在生长性状和经济效益两个方面都有显著优势, 可以有效转变当地养殖企业及个体户“多养多收益”观念, 引导低密度生态养殖模式的建立。

关键词: 虾夷扇贝; 筏养; 不同密度; 生长性状; 经济效益

中图分类号: S 968.3

文献标志码: A

虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)是冷水性双壳贝类, 原产于日本北部及俄罗斯远东地区沿海海域^[1]。20世纪80年代, 辽宁省海洋水产科学研究院连续4次从日本引进亲贝^[2], 经过多年研究, 突破了人工育苗、中间育成和增养殖等关键技术, 使虾夷扇贝成为我国黄海北部重要的经济贝类, 长海县由于环境较为适宜成为我国最大虾夷扇贝增养殖基地。2000年以前, 长海县虾夷扇贝筏式养殖规模约1万亩以下, 由于经济效益良好, 养殖企业及个体户大幅度增加台筏数量、养殖笼数和每层扇贝数量, 2007年筏式养殖规模达到40万亩, 产量和产值在虾夷扇贝产业中所占比重很大。然而随后8年, 规模扩大非但没有带来产量的提高, 相反连续多年大规模死亡导致筏式虾夷扇贝养殖规模急剧萎缩, 截

至2014年, 长海县虾夷扇贝筏式养殖面积已经缩减至10万亩左右。针对产业现状, 国内许多专家从病害、遗传育种、生态环境、养殖模式等多个角度开展研究, 其中养殖密度过大是导致筏式养殖扇贝大规模死亡的原因之一, 这一观点得到科研工作者和养殖生产一线工作者的普遍认可。

已有的研究认为贝类高密度养殖加速海区营养循环、改变浮游和底栖生物群落结构以及沉积物组成等^[4-8]。因此当养殖密度超过一定限度时, 贝类因得不到其生长繁殖所需的正常营养物质而长期处于体弱状态, 遇到环境条件变化较大时, 特别是遇到病原侵袭时, 缺乏足够的能量及时进行体内调节以适应外部环境的变化和抵抗病原侵害而导致死亡。于瑞海等^[9]、张福绥^[10]等也认为不适宜的理化因子, 海水污染、

收稿日期: 2015-07-13 修回日期: 2016-05-12

资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项(nycytx-47); 国家科技支撑计划课题“北黄海生态养殖碳汇模式构建与示范”(2013BAD23B01)

通信作者: 谭克非, E-mail: kefei_tan@aliyun.com

赤潮、养殖环境老化、海区布局不合理以及养殖密度过高等因素会对扇贝的生理过程产生影响, 导致扇贝大量死亡。因此, 根据对养殖容量的经验估算结果, 扇贝养殖采取合理养殖密度和控制养殖量等措施, 可以减少病害和死亡^[1]。方建光等^[12-18]诸多学者都以能量为基础建立贝类容量模型探讨合理的养殖密度和养殖容量。但从实际生产角度看, 生产企业或者个体养殖户往往更关注经济因素, 因此本实验将经济效益、生长性状和死亡率三个因素相结合, 综合

分析虾夷扇贝养成期合理的养殖密度, 为健康养殖技术的应用和生态养殖理念的深入人心提供支持。

1 材料与方 法

1.1 实验地点、时间

2013年5月9日—2014年4月9日, 在长海县大长山岛镇小泡子村王文经养殖场所属海区开展本实验。站位坐标E122°36'45"、N39°15'18"(图1)。

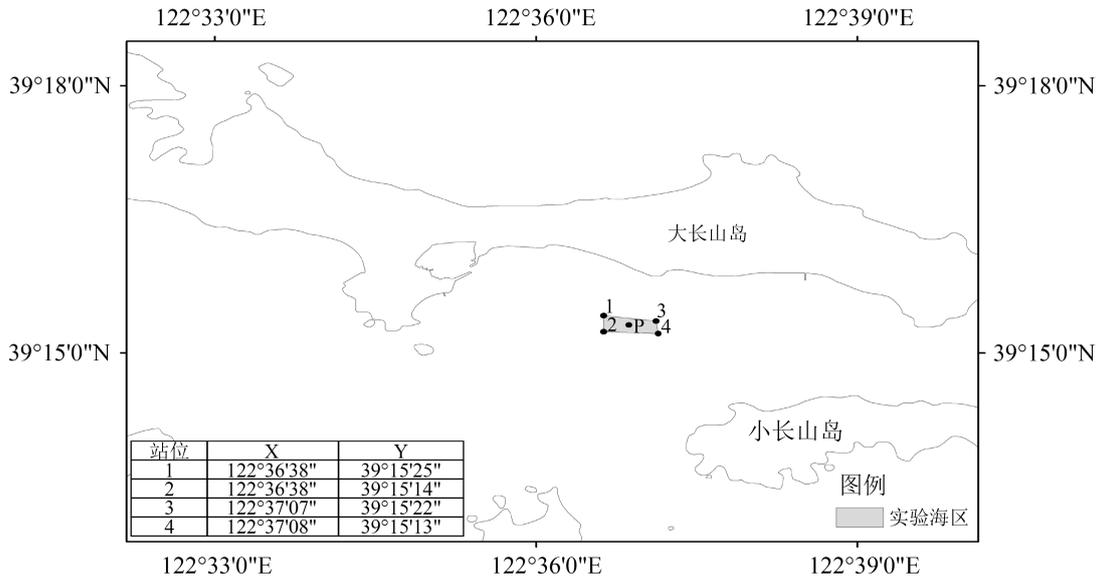


图 1 实验站位图

Fig. 1 The experiment station in the sea area of Da Changshan Island

1.2 实验方法

养殖密度组别设置 在一龄虾夷扇贝养成至二龄虾夷扇贝周期内, 结合实际生产扇贝笼每层养殖数量和壳高大小, 设置5个养殖梯度实验组别: 10枚/层、15枚/层、20枚/层、25枚/层和30枚/层, 涵盖这一养成期内所有可能的适宜养殖密度, 实验用养殖笼共15层。

(1)扇贝总量固定经济模型。虾夷扇贝总量4500枚, 根据养殖梯度实验组别设置平行组分别为30笼、20笼、15笼、12笼和10笼;

(2)养殖浮筏数量固定经济模型。养殖浮筏数量总计5台, 每台养殖筏放置100个养殖笼。每个实验组设置平行组100笼(1台), 各实验组扇贝总量分别15 000枚、22 500枚、30 000枚、37 500枚和45 000枚。

数据测量与统计 (1)本底数据测量与统计。2013年5月, 选择一龄虾夷扇贝按照不同养殖密度进笼养成, 随机抽取60枚虾夷扇贝测量其初始壳高, 统计养殖笼数及进笼时劳动力成本(进笼时间、劳动力单位时间价格)。

(2)秋季数据测量与统计。2013年10月, 统计度夏后虾夷扇贝各实验组扇贝壳高和累计死亡率。为准确计算虾夷扇贝不同养殖密度梯度的经济效益, 两种经济模型下扇贝死亡后不重新进行补充, 按照设定密度组装笼, 减少平行组。统计调查各实验组倒笼时劳动力人数、倒笼时间、养殖笼数。

(3)收获数据测量与统计。2014年4月, 统计度夏后虾夷扇贝各实验组扇贝壳高和累计死亡率, 分析不同壳高所占比例及不同规格商品贝价格。

2 结果

2.1 养成期不同密度虾夷扇贝累计死亡率分析

2013年5月—2014年4月养成期内, 分别在2013年10月份和2014年4月份统计不同实验组的累计死亡率, 利用SPSS软件进行四格表卡方检验(表1)。

表1 不同实验组累计死亡率分析

Tab. 1 The analysis of cumulative mortality on different groups

实验组 group	2013年10月累计死亡率/% cumulative mortality	2014年4月累计死亡率/% cumulative mortality
10枚/层 10/layer	43.3 ^a	70 ^a
15枚/层 15/layer	34.2 ^b	79.1 ^b
20枚/层 20/layer	45 ^a	79.33 ^b
25枚/层 25/layer	42.4 ^a	81.33 ^c
30枚/层 30/layer	52.2 ^c	93.33 ^d

注: 表格中同列肩标相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Notes: In the same row, values with same small letter superscripts mean no significant differences ($P>0.05$); different small letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$)

结果表明, 2013年10月份统计累计死亡率最低实验组为15枚/层($P<0.05$), 10枚/层、20枚/层和25枚/层没有显著性差异($P>0.05$), 30枚/层的累计死亡率最高($P<0.05$); 2014年4月份各实验组累计死亡率从低到高依次为10枚/层<15枚/层、20枚/层<25枚/层<30枚/层($P<0.05$)。两次统计结果中最高累积死亡率均为30枚/层实验组。分析虾夷扇贝死亡原因比较复杂, 种质、水质变化尤其是病害都与虾夷扇贝死亡相关, 从而影响本实验结果。但30枚/层实验组在两次统计中均表现出累计死亡率最高, 表明高密度养殖和扇

贝大规模死亡有一定相关性。

2.2 养成期不同密度虾夷扇贝壳高分析

2013年5月, 根据所设定的两种经济模型进行装笼, 随机选取60枚扇贝测量平均壳高为(4.48±0.38) cm; 10月份和2014年4月份不同实验组随机取100枚虾夷扇贝测量壳高并进行单因素方差分析(表1)。

10枚/层和15枚/层实验组平均壳高差异不显著, 20枚/层和25枚/层实验组平均壳高差异不显著; 但10枚/层和15枚/层实验组平均壳高与20枚/层和25枚/层实验组平均壳高相比差异显著; 30枚/层实验组和其他4个密度组相比平均壳高差异显著, 实验组平均壳高从大到小依次排列为: 10枚/层、15枚/层>20枚/层、25枚/层>30枚/层。因此低密度养殖在壳高性状上具有优势。

为更有效和准确评估不同密度组的经济效益, 每个实验组随机抽取60枚扇贝, 统计收获时不同密度组中不同壳高(8 cm以上、6 cm~8 cm)所占比例, 同时调查不同规格商品贝的市场价格。结果显示: 10枚/层实验组壳高8 cm以上扇贝所占比例最高为64.40%, 剩余四个密度组依次大小为15枚/层实验组63.80%、20枚/层实验组53.23%、25枚/层实验组42.86%和30枚/层实验组16.27%。壳高8 cm以上扇贝市场价格20元/kg, 壳高6 cm~8 cm之间扇贝市场价格12元/kg, 因此, 低密度养殖, 市场价值更高的大规格扇贝占比例更多(图2)。

2.3 养成期内不同密度实验组经济效益分析

扇贝总养殖数量固定经济模型的效益分析
在此种经济模型下, 养殖企业养殖浮筏数量较多, 所有浮筏不全用于养殖虾夷扇贝, 剩余浮筏养殖其他品种, 因此购进虾夷扇贝数量固

表2 不同时间点各实验组平均壳高

Tab. 2 The analysis of average shell height of *P. yessoensis* in different groups at different time (n=100)

	不同实验组 different group				
	10枚/层 10/layer	15枚/层 15/layer	20枚/层 20/layer	25枚/层 25/layer	30枚/层 30/layer
2013.10.12平均壳高/cm average shell height	6.87±0.49 ^a	6.92±0.44 ^a	6.52±0.48 ^b	6.32±0.52 ^b	5.72±0.59 ^c
2014.04.09平均壳高/cm average shell height	8.12±0.77 ^a	8.2±0.698 ^a	7.9±0.542 ^b	7.7±0.534 ^b	7.2±0.769 ^c

注: 表格中同行肩标相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: In the same row, values with same small letter superscripts mean no significant differences ($P>0.05$); different small letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$)

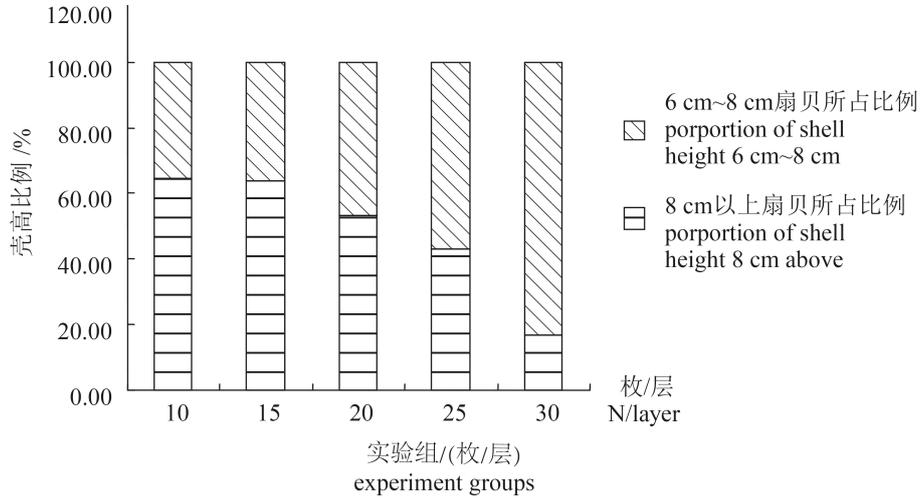


图 2 不同实验组壳高比例分布图

Fig. 2 The profile of shell height of *P. yessoensis* in different experiment groups

定。不同养殖密度造成的成本差异由养殖笼数量和劳动力成本构成，密度低则所需养殖笼多，倒笼进笼时劳动力成本也产生差异。本实验选取4500枚扇贝代表总扇贝数量，统计由于不同密度组养殖造成的成本差异和利润差异。

(1) 养殖笼成本。市场上单个新养殖笼成本20元，一般使用5年后就需要修补或废弃，按使用期5年计算折旧后每个养殖笼每年养殖成本为4元。不同密度组的养殖笼成本计算。结果表明，在扇贝总数量固定经济模型下，养殖密度越低，所需养殖笼数越多，相应成本也越高。本实验中10枚/层实验组的养殖笼成本是30枚/层实验组的三倍(表3)。

(2) 劳动力成本。市场上每个劳动力以一天10个小时工时总计300元计算，则每人每分钟的成本为0.5元；实验周期内，共雇佣4个劳动力对不同密度实验组进行倒笼，2013年10月份和2014年4月份共进行2次倒笼，计算由此产生的劳动力

成本(表4、5)。

统计两次倒笼4个劳动力总成本(表6)。

通过劳动力成本分析可知，在扇贝总数量固定的经济模型下，养殖密度低，则所需养殖笼数多。在实际生产操作中，在低密度组和高密度组的实验条件下，养殖工人换一个养殖笼所需时间相同。因此，密度低，养殖笼多，工人倒笼时间多，所需成本也高。本实验通过现场测算一个工人分一个养殖笼的时间及整个过程总体时间，结合市场劳动力价格，经计算得到的结果证明10枚/层实验组劳动力成本最高，30枚/层实验组最低。

(3) 经济利润分析。根据不同密度实验组中累计死亡率、不同壳高所占比例及市场价格，计算各实验组经济利润(表7)。

将计算所得经济利润减掉养殖笼成本和劳动力成本即为不同养殖密度组获得的实际利润(表8)。

表 3 不同密度组养殖笼成本

Tab. 3 The cost of cultivation cage in different groups

实验组别 group	扇贝总数/枚 total of scallops	养殖笼数/个 total of cultivation cage	单个养殖笼折旧价格/元 the cost of cultivation cage	养殖笼总成本/元 total cost of cultivation cages
10枚/层 10/layer	4500	30	4	120
15枚/层 15/layer	4500	20	4	80
20枚/层 20/layer	4500	15	4	60
25枚/层 25/layer	4500	12	4	48
30枚/层 30/layer	4500	10	4	40

表 4 2013年10月倒笼劳动力成本

Tab. 4 The cost of manpower in October 2013

实验组/(个/层) group	扇贝总数/枚 total of scallops	养殖笼数/笼 total of cultivation cage	1笼倒笼时间/min the time of changing cage on one cage	总倒笼时间/min total time of changing cage	人力成本/元 the cost of manpower
10	4500	30	3	90	45
15	4500	20	3	60	30
20	4500	15	3	45	22.5
25	4500	12	3	36	18
30	4500	10	3	30	15

表 5 2014年4月倒笼劳动力成本

Tab. 5 The cost of manpower in April 2014

实验组/个/层 group	扇贝总数/枚 total of scallops	养殖笼数/笼 total of cultivation cages	1笼倒笼时间/min the time of changing cage on one cage	总倒笼时间/min total time of changing cage	人力成本/元 the cost of manpower
10	2251	17	3	51	25.5
15	2961	13	3	39	19.5
20	2475	8	3	24	12
25	2592	7	3	21	10.5
30	2151	5	3	15	7.5

表 6 不同实验组倒笼总劳动力成本

Tab. 6 The total cost of manpower in different groups

实验组/(个/层) group	单个工人总人力成本/元 the cost per person	4个工人总人力成本/元 the cost of 4 persons
10	70.5	282
15	49.5	198
20	34.5	138
25	28.5	114
30	22.5	90

统计结果发现,在总扇贝数量固定的经济模型中,低密度实验组由于养殖笼较多,需要较高的物资和劳动力成本,但在累计死亡率和壳高性状上具有显著优势。结合市场劳动力价格和扇贝价格计算,低密度养殖在实际生产中能产生更高的利润。

养殖浮筏数量固定经济模型的效益分析

在此种经济模型下,养殖企业所用养殖浮筏数量较少,将所有浮筏用于养成虾夷扇贝,因此养殖浮筏的数量固定。台筏数量一定,则海区养殖笼数量也因此固定,倒笼时劳动力成本也相同,不同养殖密度实验组的成本差异主要由苗种成本构成。本实验每个实验组即一台养殖

筏,悬挂100笼作为平行,统计由于不同密度组养殖造成的成本差异和利润差异。

(1) 苗种成本。虾夷扇贝开始养成时规格在3 cm~4 cm左右,此时每枚虾夷扇贝价格在0.15元左右。每台养殖筏养殖100笼扇贝,每笼15层,计算不同实验组产生的成本差异(表9)。

根据统计分析结果,在扇贝浮筏数量固定经济模型下,养殖密度越低,购买苗种数量越少,所需苗种成本越低。本实验中10枚/层实验组的苗种成本仅为30枚/层实验组的1/3。

(2) 经济利润分析。根据不同密度组累计死亡率、不同壳高所占比例及市场价格,计算各实验组经济利润(表10)。

将计算所得经济利润减掉苗种成本即为不同养殖密度组获得的实际利润(表11)。

在养殖浮筏数量固定经济模型中,养殖密度越高,购买苗种所需成本越高,虽然扇贝总量多,但由于高密度养殖下的高死亡率,而且其壳高性状上的劣势导致市场价值也较低,因此总利润并不理想。本实验结果也验证了这一点,10枚/层实验组获得的实际利润最高,而30枚/层实验组得到的实际利润出现负值,可见高密度养殖并不一定能得到高收益。

表 7 不同实验组经济利润统计

Tab. 7 The statistics of profit in different groups

实验组 group	10枚/层 10/layer	15枚/层 15/layer	20枚/层 20/layer	25枚/层 25/layer	30枚/层 30/layer
总扇贝个数/枚 total of scallops	4500	4500	4500	4500	4500
累计死亡率/% cumulative mortality	70	79.1	79.33	81.33	93.33
剩余扇贝数/枚 the rest of scallops	1350	941	930	840	300
8 cm以上扇贝所占比例/% the proportion of scallop 8 cm above	64.4	63.8	53.23	42.86	16.67
8 cm以上扇贝所占个数/枚 the number of scallops 8 cm above	869	600	495	360	50
重量(8 cm以上10枚/kg)/kg weight	86.9	60	49.5	36	5
利润(20元/kg)/元 profit	1738	1200	990	720	100
6~8 cm扇贝所占比例/% the proportion of scallops between 6 cm and 8 cm	35.6	36.2	46.77	57.14	83.33
6~8 cm扇贝所占个数/枚 the number of scallops between 6 cm and 8 cm	481	341	435	480	250
重量(6~8 cm 14枚/kg)/kg weight	34.36	24.36	31.07	34.28	17.86
利润(12元/kg)/元 profit	412.32	292.32	372.84	411.36	214.32
总利润/元 total profit	2150.32	1492.32	1362.84	1131.36	314.32

表 8 不同实验组实际利润统计表

Tab. 8 The statistics of actual profit in different groups

实验组 group	养殖笼总成本/元 the total cost of cultivation cage	总人力成本/元 the total cost of manpower	总成本/元 total cost	经济利润/元 profit	实际利润/元 the actual profit
10枚/层 10/layer	120	282	402	2150.32	1748.32
15枚/层 15/layer	80	198	278	1492.32	1214.32
20枚/层 20/layer	60	138	198	1362.84	1164.84
25枚/层 25/layer	48	114	162	1131.36	969.36
30枚/层 30/layer	40	90	130	314.32	184.32

表 9 不同实验组苗种成本

Tab. 9 The cost of seeds in different groups

实验组 group	单枚扇贝价格/元 the cost per scallop	扇贝数量/枚 total of scallops	扇贝成本/元 he cost of total scallops
10枚/层 10/layer	0.15	15 000	2250
15枚/层 15/layer	0.15	22 500	3375
20枚/层 20/layer	0.15	30 000	4500
25枚/层 25/layer	0.15	37 500	5625
30枚/层 30/layer	0.15	45 000	6750

3 讨论

3.1 养殖密度对扇贝养殖的影响

世界上大多数国家的水产养殖业都有“发展-

滑坡-调整-持续发展”的经历。“可持续发展”是世界环境与发展委员会提出的人地系统优化的新思路^[19]。长海县筏式虾夷扇贝养殖产业同样经历这一历程, 2007年以后连续多年夏季大规模死亡让产业经历大幅滑坡而处于调整阶段。由于养殖密度过高超过海区养殖容量, 从而导致环境恶化、病害滋生, 进而引起虾夷扇贝死亡, 这是导致产业处于目前现状主要原因之一。降低养殖密度成为科研工作者的共识, 李文姬等^[20]认为海区虾夷扇贝养殖密度增加, 同时密集的养殖设施影响海水交换, 最终只能是生长缓慢, 规格偏小, 甚至引起大量死亡。王崇明等^[21]等在调查中同样发现, 养殖密度越大的海区, 死亡率越高, 同时死亡速度越快, 近岸浅水养殖的扇贝死亡率明显高于远岸深水养殖的扇贝。

表 10 不同实验组经济利润统计

Tab. 10 The statistics of profit in different groups

实验组 group	10枚/层 10/layer	15枚/层 15/layer	20枚/层 20/layer	25枚/层 25/layer	30枚/层 30/layer
总扇贝个数/枚 total of scallops	15 000	22 500	30 000	37 500	45 000
累计死亡率/% cumulative mortality	70	79.1	79.33	81.33	93.33
剩余扇贝数/枚 the rest of scallops	4500	4702	6201	7001	3002
8 cm以上扇贝所占比例/% the proportion of scallop 8 cm above	64.4	63.8	53.23	42.86	16.67
8 cm以上扇贝所占个数/枚 the number of scallops 8 cm above	2898	3000	3300	3000	500
重量(8 cm以上10枚/kg)/kg weight	289.9	300	330	300	50
利润(20元/kg)/元 profit	5796	6000	6600	6000	1000
6~8 cm扇贝所占比例/% the proportion of scallops between 6 cm and 8 cm	35.6	36.2	46.77	57.14	83.33
6~8 cm扇贝所占个数/枚 the number of scallops between 6 cm and 8 cm	1602	1702	2901	4001	2502
重量(6~8 cm 14枚/kg)/kg weight	114.43	121.57	207.21	285.79	178.71
利润(12元/kg)/元 profit	1373.14	1458.86	2486.57	3429.43	2144.57
总利润/元 total profit	7169.14	7458.86	9086.57	9429.43	3144.57

表 11 不同实验组实际利润统计表

Tab. 11 The statistics of actual profit in different groups

实验组 group	苗种总成本/元 total cost of seeds	经济利润/元 profit	实际利润/元 the actual profit
10枚/层 10/layer	2250	7169.14	4919.14
15枚/层 15/layer	3375	7458.86	4083.86
20枚/层 20/layer	4500	9086.57	4586.57
25枚/层 25/layer	5625	9429.43	3804.43
30枚/层 30/layer	6750	3144.57	-3605.43

本实验结果中30枚/层实验组累计死亡率最高证实了以上观点。在壳高性状分析中, 30枚/层实验组的平均壳高低, 大规格所占比例小, 表明高密度养殖会导致扇贝生长缓慢, 规格偏小。

不同养殖密度对扇贝养殖的影响不同, 分析原因可能是在养殖容量已经饱和的前提下, 由于浮筏养殖水交换受到一定影响, 春季到夏季附着生物增多, 在涨落潮间期, 使养殖笼内暂时形成一个整体密闭环境, 养殖密度越高, 则饵料摄食不足, 影响扇贝生长和健康状态, 受到病原感染的机率增大, 死亡率高。如果养殖容量没有饱和, 海区总饵料供应充足, 养殖密度对壳高性状和死亡率的影响则不会那么明显。长海县浮筏虾夷扇贝产业从刚刚兴起的几万亩到规模逐渐扩大发展期间, 养殖密度越来

越大, 但累计死亡率不高, 壳高性状也没有显著差别。但2007年筏养规模达到40万亩后, 虾夷扇贝开始连续大规模死亡, 不同养殖密度对于壳高性状和死亡率的差异性开始显现。因此在虾夷扇贝筏式养殖已有规模和现状下, 降低养殖密度是势在必行。

3.2 养殖密度对生态环境的影响

高密度贝类养殖会对海洋生态系统产生明显的影响: 贝类能够从水体中过滤大量颗粒物, 可减少水体中的营养负荷, 导致海区初级生产力降低、网采浮游动植物密度下降、海水透明度提高等。虾夷扇贝自20世纪80年代从日本引进以来, 已经在长海县海域进行浮筏养殖30余年, 养殖密度和规模越来越大, 2007年, 李洪波等^[22]对长海县海域的富营养水平进行评价, 发现

海区属于贫营养水平。自2007年以后, 长海县海区的筏养虾夷扇贝开始连续大规模死亡, 这说明连续多年的高密度养殖可能已经对该海区生态环境造成了影响。本实验中不同养殖密度的实验组表现出的壳高性状和累计死亡率的差异, 从侧面也证明养殖密度对生态环境影响很大, 在苗种来源相同情况下, 在同一海区相同水温条件下生长, 海区饵料供应能力不同应该是造成壳高性状差异的主要原因, 也是导致扇贝健康状态不同, 从而对病害感染的免疫防护反应不同, 最终导致不同累计死亡率的主要原因, 而养殖密度和海区饵料供应能力密切相关。

3.3 养殖密度对经济效益的影响

在商品贝收购过程中, 生产者和批发商之间根据扇贝壳高确定价格, 并不是依据鲜重和闭壳肌的大小, 因此商品贝收获时的规格(主要是壳高)、存活率及市场价格是能否获得更大经济效益的主要因素。本实验在研究养殖密度和经济效益之间关系时, 也仅将壳高作为主要影响因子之一。根据研究成果, 低密度养殖在壳高性状上具有显著优势, 其中大规格扇贝所占比例也比高密度养殖实验组高。而低密度养殖实验组在存活率上同样要高于高密度养殖组。在扇贝总数量固定经济模型下和养殖台筏数量固定经济模型下, 扣除相应成本, 低密度养殖反而能获得较高经济效益。然而在虾夷扇贝浮筏养殖发展多年的历史里, 养殖业者依然不断增加养殖密度, 这与目前海区虾夷扇贝夏季高死亡率的产业现状密切相关。2007年以前, 虾夷扇贝筏式养殖在夏季的死亡率较低, 产业处于发展状态, 养殖业者获得较好经济效益, 所以就通过提高养殖密度和规模来增加产量, 从而获得更高经济效益。在产业发展初期, 海区养殖容量没有达到饱和, 饵料供应充足, 死亡率也很低, 因此高密度养殖和低密度养殖相比在产量上具有很大优势, 在规格上也没有差异, 自然能获得更高的经济效益; 然而当养殖规模达到甚至超过环境容纳量以后, 饵料供应不足, 不同密度养殖产生规格上的差异, 尤其是虾夷扇贝死亡率大幅提高, 养殖密度越高, 死亡率也越高, 规格也相对较小, 从而造成高密度养殖产生的经济效益更小。在本研究中, 养殖台筏数量固定经济模型中, 最高养殖密度实验组甚

至出现负经济效益, 就很好地说明这一问题。因此, 养殖密度和经济效益的关系在虾夷扇贝筏式养殖产业发展不同时期也有所不同, 在产业快速发展的黄金时期, 养殖密度越高, 产量越大, 经济效益越好。在产业遭遇瓶颈, 出于滑坡调整时期, 养殖密度越高, 由于高死亡率, 产量反而越底, 商品贝规格越小, 经济效益越差。

参考文献:

- [1] 张明明, 赵文. 我国虾夷扇贝死亡原因的探讨及控制对策[J]. 中国水产, 2008, 2: 65-66.
Zhang M M, Zhao W. The way of control and the discussion of reason on scallop (*Patinopecten yseooensis*) mortality[J]. China Fisheries, 2008, 2: 65-66(in Chinese).
- [2] 马延祥, 项福椿. 从日本引进虾夷扇贝育苗和增养殖试验成功[J]. 海洋开发, 1987, 1: 65.
Ma Y X, Xiang F C. The experiment of seeding and culture of scallop (*Patinopecten yseooensis*) from Japan obtain success[J]. Ocean Development, 1987, 1: 65(in Chinese).
- [3] 杨红生, 张福绥. 浅海筏式养殖系统贝类养殖容量研究进展[J]. 产学研报, 1999, 23(1): 84-90.
YANG H S, ZHANG F S. Advances of studies on carrying capacity of shallow sea for filter-feeding bivalve raft culture[J]. Journal of Fisheries of China, 1999, 23(1): 84-90(in Chinese).
- [4] Dahlbäck B, Gunnarsson L.Å.H. Sedimentation and sulfate reduction under a mussel culture[J]. Marine Biology, 1991, 63: 269-275
- [5] Kaspar HF, Gillespie PA, Boyer IC, 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: 127-136.
- [6] Harcher A, Grant J, Schofield B. Effects of suspended mussel culture(*Mytilus* spp.) on sedimentation, benthic respiration and sediment nutrient dynamics in a coastal bay[J]. Mar. Ecol. Prog. Ser, 1994, 115(2): 219-235.
- [7] Songsangjinda P, Matsuda O, Yamamoto T, et al. The role of suspended oyster culture on the nitrogen cycle in Hiroshima Bay[J]. J. Oceanogr, 2000, 56, 223-231.
- [8] Giles H, Pilditch CA. Effects of mussel (*Perna canaliculus*) biodeposit decomposition on benthic respiration and nutrient fluxes[J]. Mar Biol, 2006, 150:

- 261-271.
- [9] 于瑞海, 王如才, 田传远等. 栉孔扇贝大面积死亡原因分析及预防的探讨[J]. 海洋湖沼通报, 1998, 3: 69-72
Yu R H, Wang R C, Tian C Y, *et al.* Discussion on the high mortality and its prevention in Scallop, *Chlamys farreri*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1998, 3: 69-72(in Chinese).
- [10] 张福绥, 杨红生. 山东沿岸夏季栉孔扇贝大规模死亡原因分析[J]. 海洋科学, 1999(1): 44-47
Zhang F S, Yang H S. Analysis of the causes of mass mortality of farming *Chlamys farreri* in summer in coastal areas of Shandong, China[J]. Marine Sciences, 1999(1): 44-47(in Chinese).
- [11] 李庆彪. 养殖扇贝的大量死亡与环境容纳量[J]. 国外水产, 1990(2): 9-11
Li Q B. Mass mortality of cultured scallop and environmental capacity[J]. GUOWAI SHUICHAN, 1990(2): 9-11(in Chinese).
- [12] 方建光, 匡世焕, 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.
Fang J G, Kuang S H, Sun H L, *et al.* Study on the carrying capacity of Sanggou Bay for the culture of scallop *Chlamys farreri*[J]. Marine Fisheries Research, 1996, 17(2): 18-31(in Chinese).
- [13] Bacher C. Capacite trophique du bassin de Marennes-Oleron: couplage d'un modele de transport particulaire et dun modele de croissance de l'huitre *Crassostrea gigas*[J]. Aquat Living Resour, 1989, 2(3): 199-214
- [14] Dame R F. Energy flow in an intertidal oyster population[J]. Estuarine and Coastal Marine Science, 1976, 4: 243-253
- [15] Grant J. The relationship of bioenergetics an the environment to the field growth of cultured bivalves[J]. J Exp Mar Eco, 1996, 200: 239-256
- [16] Grenz C, Masse H, Morchid A K, *et al.* An estimate of the energy budget between cultivated biomass and the environment around a mussel-park in the northwest Mediterranean Sea[J]. ICES Mar Sci Symp, 1991, 192: 63-67
- [17] Navarro E, Iglesias I P, Camacho A P, *et al.* The physiological energetics of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk) from different cultivation rafts in Ria de Arosa (Galicia, N.W.Spain)[J]. Aquaculture, 1991, 94:197-212
- [18] Verhagen J H G. Tidal motion, and the seston supply to the benthic macrofauna in the Oosterchelde. DHL repore, 1986 R1310-14
- [19] 蔡云龙. 持续发展-人地系统优化的新思路[J]. 应用生态学报, 1995, 6(3): 329-333
Cai Y L. Sustainable development: a new approach to man-earth system optimization. Chinese Journal of applied ecology[J], July 1995(3): 329-333(in Chinese).
- [20] 李文姬, 薛真福. 持续发展虾夷扇贝的健康增殖[J]. 水产科学, 2005, 24(9): 49-51
Li W J, Xue Z F. Healthy sustainable proliferation & cultivation of scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. Fisheries Science, 2005, 24(9): 49-51(in Chinese).
- [21] 王崇明, 王秀华, 艾海新等. 栉孔扇贝大规模死亡致病病原的研究[J]. 水产学报, 2004, 28(5): 547-553
Wang C M Wang X H, Ai H X, *et al.* The viral pathogen of massive mortality in *Chlamys farrei*[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(5): 547-553(in Chinese).
- [22] 李洪波, 梁玉波, 袁秀堂等. 辽宁长海县海域营养状况季节分析与评价[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(5): 689-692
Li H B, Liang Y B, Yuan X T, *et al.* Seasonal variation and evaluation on nutrients in Changhai water, Liaoning[J]. Marine Environmental Science, 2010, 29(5): 689-692(in Chinese).

The analysis of growth and economic benefit at different density in the cultivation period of raft cultural scallop *Patinopecten yessoensis*

YU Zuo'an, TAN Kefei*, ZHANG Ming, LI Dacheng, LI Hualin, WANG Xiaoyue

(Liaoning Marine Fisheries Research Institute, Liaoning Open Lab of Applied Marine Biology, The Key Laboratory of Marine Fishery Molecular Biology of Liaoning Province, Dalian 116023, China)

Abstract: For analyzing the cost of cultivation and discussing the economic benefit of scallop at different cultivation density, a field experiment of five density groups (10N/layer, 15N/layer, 20N/layer, 25N/layer and 30N/layer) was carried out from May 2013 to April 2014 in the period when scallop grew from 1 year old to the 2 year old. The results of scallop height on different cultivation density showed that the average shell height of low density cultivation (10N/layer, 15N/layer) was greater than the average shell height of high density cultivation (20N/layer, 25N/layer, 30N/layer), and the cumulative mortality of low density cultivation was lower than the cumulative mortality of high density cultivation (10N/layer<15N/layer, 20N/layer<25N/layer<30N/layer). The low density cultivation groups had outstanding advantage on the shell height and reducing mortality of scallop that grew from one year old to two years old. The result of economic benefit showed that in the two economic patterns of fixed number of scallop and fixed number of cultural raft, the economic benefit of 10 N/layer density group was best; the result of experiment showed that low density cultivation of raft cultural scallop had obvious advantage on shell height character and economic benefit. The concept that the higher cultivation density can bring more economic benefits should be changed, then the mode of ecologic cultivation would be established.

Key words: *Patinopecten yessoensis*; raft cultivation; different density; growth character; economic benefit

Corresponding author: TAN Kefei. E-mail: kefei_tan@aliyun.com

Funding projects: China Agriculture Research System (nycyx-47); National Technology Support Program "The demonstration and construction of carbon sink model on eco-breeding in the north yellow sea"(2013BAD23B01)"