

海湾扇贝晚苗池塘底播及在褐潮暴发海区 筏式养殖效果*

王东哲^{1,2} 毛玉泽^{1①} 方笑³ 杜美荣¹ 张福崇³ 方建光¹

(1. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 碳汇渔业实验室 青岛 266071;
2. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 3. 国家贝类产业技术体系秦皇岛综合实验站 秦皇岛 066200)

摘要 为有效避开河北地区褐潮暴发与海湾扇贝养殖时间的重叠,为海湾扇贝产业健康持续发展提供技术支持,对海湾扇贝进行晚苗培育(4月初种贝入室,以下称晚苗)及池塘底播和筏式养殖实验。结果显示,池塘底播海湾扇贝晚苗培育的稚贝(壳长5.0–6.1 mm),经过139 d的养殖,收获时平均壳长达59.7 mm,扇贝柱5.2 g。2012年筏式养殖海湾扇贝晚苗,收获时平均湿质量、鲜贝柱重和出贝柱率分别为28.7 g、3.8 g和13.8%。2013年,晚苗收获时平均壳高、湿质量、鲜贝柱重和出贝柱率分别为50.3 mm、24.4 g、3.1 g和12.7%。按1000 m³育苗水体计算,海湾扇贝晚苗培育可以节省燃煤45.5 t,节约成本6.75万元,养殖晚苗可以降低养殖成本11.6%。研究表明,海湾扇贝晚苗养殖技术可以有效规避褐潮暴发的不利影响,而且还可以节约养殖成本和节省能源。

关键词 海湾扇贝;晚苗培育;池塘底播;筏式养殖

中图分类号 S967 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2015)01-0079-06

海湾扇贝(*Argopecten irradians*)自1982年引种成功后(张福绥等,1986),产业发展迅速,成为河北、山东、辽宁和福建等地的重要养殖贝类,目前养殖产量为50万t左右(张福崇等,2011)。

2009年河北秦皇岛地区暴发大面积褐潮(26000 hm²),2010年褐潮暴发区域(超过3350 km²)直接经济损失高达2.05亿元(国家海洋局,2010),近年褐潮的面积和范围都有扩大的趋势。褐潮暴发主要发生在6月中下旬,持续30–40 d,对海湾扇贝产业产生重要影响(Zhang *et al.*, 2012; 张雅琪等,2013)。目前海湾扇贝多为早春育苗(2月初种贝入室),河北地区多在5月中上旬购买海湾扇贝稚贝苗种,褐潮发生时海湾扇贝壳长多在5.0–7.0 mm,褐潮期间养殖海湾扇贝滞长,甚至死亡,褐潮结束后海湾扇贝开始正常生长。褐潮暴发引起很多学者的关注(Bricelj *et al.*, 1997;

Probyn *et al.*, 2001; Gobler *et al.*, 2011; Talmage *et al.*, 2012),但目前尚缺少有效的防治手段。本研究针对河北地区褐潮的暴发与海湾扇贝养殖时间重叠较小的特点,开展了海湾扇贝晚苗培育及池塘、筏式养殖实验,探索了海湾扇贝池塘底播养殖的可行性;通过推迟海湾扇贝育苗和养殖时间,可以有效避开河北地区大规模褐潮暴发期,为海湾扇贝产业的健康可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 海湾扇贝晚苗培育实验

于2012年4月在山东乳山瑞洋海珍品育苗场进行海湾扇贝晚苗培育试验。海湾扇贝种贝于4月5日入池(苗种培育过程除育苗时间延迟外,其他培养方

* 国家海洋局海洋公益性行业科研专项经费项目(201205031)、国家贝类产业技术体系(cars-48)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(20603022011003)和国家科技支撑计划(2011BAD45B01)共同资助。王东哲, E-mail: dongzhehaha89@126.com

① 通讯作者: 毛玉泽, 研究员, E-mail: maoyz@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2014-02-12, 收修改稿日期: 2014-04-16

法与升温早苗相同)。外界水温达到 17℃时,采用提高水温(2~3℃)刺激产卵,卵产出后,经过 10 d 左右的培养,发育至壳顶后期幼虫,规格为(182.6±13.5) μm,投放附着基。5月12日出池,在池塘暂养 40 d 左右。晚苗培育期间,每天测量壳长(Shell length, SL)、壳高(Shell height, SH)。

1.2 海湾扇贝池塘底播养殖实验

2012年6月22日,海湾扇贝稚贝壳长达到 5.0~6.1 mm,运输到山东潍坊龙威集团所属虾池开展底播养殖试验,用两个条件相似的面积分别为 2 hm²的池塘进行实验,放养密度为 4.5 粒/m²。每天测定水温、盐度,每 7 d 换水两次,每 30 d 测定海湾扇贝生长情况,2012年11月7日收获。

1.3 晚苗筏式养殖实验

筏式养殖试验在河北省昌黎秀亭养殖场进行,除养殖时间延迟外,其他养殖方式与早苗相同。早苗养殖每年5月10~15日购买苗种,7月20日左右分苗养成,养殖笼 10~11 层,养殖密度为 40~45 粒/层。2012年7月16日,放养海湾扇贝晚苗培育的稚贝 10 万粒(壳长 6.0~8.0 mm),7月30日左右壳长达到 10.0 mm 左右时分苗养成,共养殖 120 笼,稚贝成活率约为 52.8%。2013年6月29日,放养海湾扇贝晚苗培育的稚贝 35 万粒(壳长 3.0~5.0 mm),7月28日分苗养成,共养殖 300 笼,稚贝成活率约为 37.7%。

1.4 数据分析

$$\text{壳高增长率 } G(\text{mm/d}) = (SH_t - SH_0) / t$$

式中, SH_t 和 SH_0 分别表示实验结束和实验开始时海湾扇贝的壳高(mm), t 表示生长时间(d)。

采用 SPSS 19.0 对海湾扇贝各项生长数据进行统计分析(T 检验), $P < 0.05$ 为差异显著水平, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 海湾扇贝晚苗培育生长情况

2012年4月5日~5月12日期间,幼体培育阶段幼虫生长情况见图1。海湾扇贝晚苗幼虫在 10 d 内,壳长可达(185.6±14.6) μm,壳高(167.9±16.0) μm。5月12日稚贝出池到室外池塘培养,稚贝成活率 90%以上。2013年采取和 2012 年相同的方法培育稚贝,5月22日出池,在池塘暂养 36 d,成活率 90%以上,于 6月27日运输 35 万粒到昌黎海区开展养殖试验。

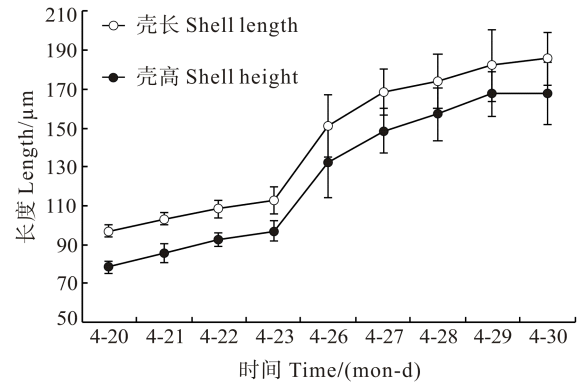


图1 海湾扇贝晚苗培育幼虫生长情况

Fig.1 The larva growth curve of late bay scallop seedling

2.2 海湾扇贝晚苗池塘底播生长情况

2012年6月22日,运输晚苗培育的稚贝 15 万粒进行池塘底播养殖实验。扇贝的生长情况见图2。收获时,海湾扇贝平均壳长达 59.7 mm,壳高 55.0 mm,湿质量 35.3 g,扇贝柱 5.2 g,较筏式养殖海湾扇贝柱(4.0 g)提高 30.5%。

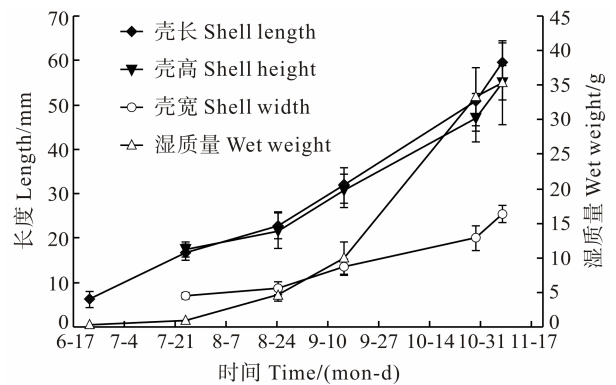


图2 池塘底播海湾扇贝生长情况

Fig.2 The growth characteristics of bay scallop in bottom sowing culture

2.3 海湾扇贝早苗、晚苗养殖过程比较

海湾扇贝早苗、晚苗养殖过程和生长参数见表1。晚苗与早苗相比,育苗时间推迟 40 d 左右,海区放苗时间延后了 60 d 左右。采取与升温早苗相同的养殖方式,2012年和2013年收获时,晚苗平均壳高分别为 50.1 mm 和 50.3 mm,平均湿质量分别为 28.7 g 和 24.4 g,同期早苗平均壳高分别为 50.8 mm 和 51.9 mm,平均湿质量分别为 27.9 g 和 25.8 g。

2.4 海湾扇贝早苗、晚苗生长速度比较

表2表明晚苗与早苗相比生长速度更快。2012年晚苗的壳高增长率为 0.36 mm/d,明显高于早苗

(0.26 mm/d, $P<0.05$), 在 9-10 月、10-11 月尤其明显。2013 年, 晚苗的壳高增长率为 0.31 mm/d, 显著高于早苗的 0.26($P<0.05$); 两年的试验结果比较, 2013 年早苗壳高的生长速度与 2012 年相比变化不大, 但晚苗的生长速度明显低于 2012 年。

2.5 海湾扇贝早苗、晚苗出成率及养殖成本比较

早苗、晚苗筏式养殖(晚苗除放养时间比早苗晚, 养殖方式相同)收获时出成率见表 3。2012 年收获时(11 月 14 日), 早苗和晚苗的平均湿质量、鲜贝柱重、出贝柱率分别为 27.9 g、28.7 g、3.3 g 和 3.8 g、11.8%

表 1 海湾扇贝早苗与晚苗养殖过程
Tab.1 The process of longline aquaculture of bay scallop from the early and late seedlings

年份 Year	苗种类型 Seedling type	褐潮发生时间 Brown tide duration (M-D)	苗种数量 Seedling number (10 ⁴ ind)	产量 Production (cage)	养殖密度 Stocking density (Ind./layer)	稚贝出池 Seeds outdoor			
						日期 Date (M-D)	壳高 SH (mm)	湿质量 WW (g)	
2012	早苗 Early seedling	05-07-07-13	10	120	40-45	04-10	0.7		
	晚苗 Late seedling					05-12	0.6		
2013	早苗 Early seedling	05-28-07-15	35	300	40-45	04-15	0.7		
	晚苗 Late seedling					05-22	0.6		
池塘暂养 Rearing in pond		放苗 Seedling cultivation		分苗 Separating seedling		收获 Harvest			
暂养海区 Rearing area	日期 Date (M-D)	壳高 SH (mm)	日期 Date (M-D)	壳高 SH (mm)	日期 Date (M-D)	壳高 SH (mm)	日期 Date (M-D)	壳高 SH (mm)	湿质量 WW (g)
莱州 Laizhou	5.5	3.0	5.10	3-5	7.20	10	11.14	50.8	27.9
乳山 Rushan	7.15	3.0	7.16	6-8	7.30	8	11.14	50.1	28.7
莱州 Laizhou	5.10	3.0	5.15	3-5	7.18	10	11.20	51.9	25.8
乳山 Rushan	6.27	3.0	6.29	3-5	7.28	9	11.20	50.3	24.4

表 2 海湾扇贝早苗、晚苗壳高日生长率的比较
Tab.2 The daily growth rate of shell height of bay scallop of the early and late seedlings

年份 Year	苗种类型 Seedling type	养殖天数 Cultivation days (d)	壳高 SH (mm)				壳高日增长率 Daily growth rate of SH (mm/d)		
			苗种 Seedling	09-18/ 09-21	10-16/ 10-24	成贝 Adult	9-10 月	10-11 月	养殖期间 During cultivation
2012	早苗 Early seedling	184	3	42.0 ^a	44.2 ^a	50.8 ^a	0.07 ^a	0.22 ^a	0.26 ^a
	晚苗 Late seedling	122	6	36.5 ^b	40.6 ^b	50.1 ^a	0.14 ^b	0.32 ^b	0.36 ^b
2013	早苗 Early seedling	190	3	44.0 ^a	48.3 ^a	51.9 ^a	0.14 ^a	0.12 ^a	0.26 ^a
	晚苗 Late seedling	145	5	38.5 ^b	47.7 ^a	50.3 ^a	0.27 ^b	0.09 ^b	0.31 ^b

注: 同一列中参数上方不同字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different superscripts in the same row mean significant differences($P<0.05$)

表 3 不同苗种养殖的海湾扇贝成贝生物学参数
Tab.3 The biological parameters of adult bay scallop of the early and late seedlings

苗种类型 Seedling type	收获日期 Harvest date (Y-M-D)	壳高 SH (mm)	壳长 SL (mm)	壳宽 SW (mm)	湿质量 WW (g)	鲜贝柱重 Adductor muscle (g)	出贝肉率 Scallop muscle rate (%)	成活率 Survival rate (%)
早苗 Early seedling	2012-11-14	50.8±4.0 ^a	53.2±3.0 ^a	24.9±5.8 ^a	27.9±4.1 ^a	3.3±0.8 ^a	11.8±0.02 ^a	48.6 ^a
晚苗 Late seedling		50.1±4.3 ^a	54.1±3.6 ^b	24.8±2.2 ^a	28.7±5.3 ^b	3.8±1.1 ^b	13.2±0.02 ^b	52.8 ^a
早苗 Early seedling	2013-11-20	51.9±3.9 ^a	54.6±3.7 ^a	23.2±2.3 ^a	25.8±4.6 ^a	3.2±0.6 ^a	12.4±0.02 ^a	51.4 ^a
晚苗 Late seedling		50.3±3.7 ^b	53.9±3.2 ^b	23.5±1.4 ^a	24.4±3.6 ^b	3.1±0.6 ^a	12.7±0.02 ^a	37.7 ^b

注: 同一列中参数上方不同字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different superscripts in the same row mean significant differences($P<0.05$)

和 13.8%，3 项指标均存在显著差异($P<0.05$)，早苗和晚苗的成活率分别为 48.6%和 52.8%，无显著差异($P>0.05$)。2013 年收获时(11 月 20 日)，早苗和晚苗的平均湿质量、鲜贝柱重、出贝柱率和成活率分别为 25.8 g、24.4 g、3.1 g 和 3.2 g、12.7%和 12.4%、51.4%和 37.7%，平均湿质量和成活率差异显著($P<0.05$)，平均鲜贝柱重和出贝柱率无显著差异($P>0.05$)。

2.6 海湾扇贝早苗、晚苗培育及养殖成本比较

晚苗育苗期间，海湾扇贝幼虫培育期间自然海水平均温度为 17℃，幼虫培育平均水温为 24℃，幼虫培养时间为 22 d。按照 1000 m³ 育苗水体每天全量换水估算，幼虫培育期间，半常温育苗比升温育苗节省燃煤 53.1 t (折合标准煤 45.5 t，表 4)，减排二氧化碳 119.2 t、二氧化硫 386.8 kg、氮氧化物 333.7 kg。标准煤的价值约为 1500 元/t，节省燃煤可以降低成本 6.75 万元。

秦皇岛地区以家庭为单位的养殖户平均每年养殖海湾扇贝约 2 万笼，每年 5 月初购买升温苗，养殖周期一般为 9 个月，以此估算，2010 每户海湾扇贝的养殖成本约为 56.8 万元(张福崇等, 2011)，如果进行海湾扇贝晚苗筏式养殖(放苗时间推迟 60 d 左右，养殖周期为 7 个月)，养殖成本约为 50.2 万元(表 5)，降低 6.6 万元，降幅达 11.6%。尽管晚苗的放苗时间延后，但到收获时鲜贝柱差别不大，效益没有明显降低。

3 讨论

3.1 海湾扇贝池塘底播养殖潜力

海湾扇贝与对虾、美国红鱼、刺参的综合养殖已经取得了成功，综合养殖不仅可以减轻养殖过程中病

害的发生、净化池塘水质，而且增加了养殖产量，取得了显著的社会与经济效益(王吉桥等, 1999; 林建民等, 2000; 徐永东等, 2012)。本研究中两个池塘底播海湾扇贝的平均贝柱重量达 5.2 g，较同期筏式养殖海湾扇贝柱(4.0 g)提高 30.5%，产生更大的经济效益。海水池塘养殖作为我国海水养殖业三大主要养殖方式之一(王岩, 2004)，适合开展海湾扇贝池塘底播养殖的空间较大，作为筏式养殖的一个很好的补充，具有非常大的发展潜力。

3.2 海湾扇贝晚苗筏式养殖效果

两年的实验结果均表明，尽管晚苗放养时间晚，养殖时间短，但壳高增长率明显高于早苗，表现出了更大的生长优势。Gallager 等(1989)发现，在投喂褐潮藻的过程中，由于缺乏适口饵料满足自身生长需要，海湾扇贝幼虫的生长率降低，死亡率升高。Bricelj 等(1987)的研究也表明，褐潮暴发时，当褐潮藻的密度达到 1×10^6 cells/ml 时，海湾扇贝的滤水率停滞，出现滞长、死亡现象；当海区环境趋于稳定，可供扇贝摄食生长的饵料逐渐丰富，海湾扇贝又恢复快速的生长过程(Bricelj *et al*, 1989)。2013 年海湾扇贝晚苗的成活率仅为 37.7%，可能与放苗时仍处于褐潮暴发期有关，这与 Bricelj 等(1989)的研究结果相似，而 2012 年褐潮于 7 月 13 日基本结束，晚苗放苗时间为 7 月 16 日，稚贝成活率达 52.8%。2013 年收获时海湾扇贝的平均湿质量、鲜贝柱重、出贝肉率都低于 2012 年，原因之一可能是苗种投放时间没有避开褐潮暴发造成的；另外，2013 年河北地区海湾扇贝总体较 2012 年偏瘦，这可以从受褐潮影响较小的抚宁地区得到验证(表 6, $P<0.05$)，其原因还需要进一步研究，不过缺少适合的饵料生物可能是重要因素。

表 4 海湾扇贝早苗和晚苗培育时间与燃煤消耗

Tab.4 The coal consumption and breeding time of the early and late bay scallop seedlings

模式 Seedling type	种贝入库日期 Date of rearing parent scallop (M-D)	产卵日期 Date of spawn (M-D)	自然水温 Seawater temperature (°C)	升温水温 Temperature rise (°C)	培育时间 Days of breeding (d)	耗煤 Coal consumption (t/1000m ³)
早苗 Early seedling	02-10	03-10	8	24	25	86.4
晚苗 Late seedling	04-05	04-20	17	24	22	33.3

表 5 海湾扇贝早苗、晚苗养殖成本(2 万笼计算，单位：万元)

Tab.5 The aquaculture cost estimation of early and late bay scallop seedlings

苗种来源 Seedling type	养殖周期 Aquaculture time (month)	人工费 Labor cost	折旧费 Depreciation cost	苗种费 Seedling cost	燃油费 Fuel cost	其他支出 Others	合计 Total cost
早苗 Early seedling	9	29.8	9	9.8	6	2.2	56.8
晚苗 Late seedling	7	26.5	8	8.4	5.3	2.0	50.2

表 6 2012 和 2013 年抚宁地区海湾扇贝收获时生长比较

Tab.6 The biological parameters of bay scallop harvested in Funing area in 2012 and 2013

日期 Date(Y-M-D)	壳高 Shell height (mm)	壳长 Shell length (mm)	壳宽 Shell width (mm)	湿质量 Wet weight (g)	鲜贝柱重 Adductor muscle (g)
2012-11-14	53.0±4.1	55.4±4.2	25.2±1.6	29.6±5.4	3.8±1.0
2013-11-12	49.6±0.7	53.1±1.1	22.7±0.3	24.0±1.0	2.9±0.6

参 考 文 献

- 王岩. 海水池塘养殖模式优化: 概念、原理与方法. 水产学报, 2004, 28(5): 568-572
- 王吉桥, 李德尚, 董双林, 等. 中国对虾与海湾扇贝投饵混养的实验研究. 中国水产科学, 1999, 6(1): 97-102
- 林建民, 刘勇, 陈全国. 虾池混养美国红鱼与海湾扇贝试验. 齐鲁渔业, 2000, 17(1): 19
- 国家海洋局. 海洋灾害通报. 2010
- 张雅琪, 俞志明, 宋秀贤, 等. 改性黏土对褐潮生物种 *Aureococcus anophagefferens* 的去除研究. 海洋学报, 2013, 35(3): 197-203
- 张福绥, 何义朝, 刘祥生, 等. 海湾扇贝引种、育苗及试养. 海洋与湖沼, 1986, 17(5): 367-374
- 张福崇, 王六顺, 肖秋立, 等. 2010 年河北省海湾扇贝养殖业调查报告. 河北渔业, 2011(5): 30-32, 37
- 徐永东, 王芳, 王顺全, 等. 混养海湾扇贝对刺参池塘养殖环境的影响. 河北渔业, 2012(11): 11-14
- Bricelj VM, Epp J, Malouf RE. Intraspecific variation in reproductive and somatic growth cycles of bay scallops *Argopecten irradians*. Mar Ecol Prog Ser, 1987, 36(2): 123-137
- Bricelj VM, Kuenster SH. Effects of the "brown tide" on the feeding physiology and growth of bay scallops and mussels. Coastal and Estuarine Studies, 1989, 35: 491-509
- Bricelj VM, Lonsdale DJ. *Aureococcus anophagefferens*: causes and ecological consequences of brown tides in US mid-Atlantic coastal waters. Limnol Oceanogr, 1997, 42(5): 1023-1038
- Gallager SM, Stoecker DK, Bricelj VM. Effects of the brown tide alga on growth, feeding physiology and locomotory behavior of scallop larvae (*Argopecten irradians*). Novel Phytoplankton Blooms, 1989, 511-541
- Gobler C, Berry D, Dyhrman S, et al. Niche of harmful alga *Aureococcus anophagefferens* revealed through ecogenomics. Proc Natl Acad Sci, 2011, 108(11): 4352-4357
- Probyn T, Pitcher G, Pienaar R, et al. Brown tides and mariculture in Saldanha Bay, South Africa. Mar Pollut Bull, 2001, 42(5): 405-408
- Talmage SC, Gobler CJ. Effects of CO₂ and the harmful algae *Aureococcus anophagefferens* on growth and survival of oyster and scallop larvae. Mar Ecol Prog Ser, 2012, 464: 121-134
- Zhang QC, Qiu LM, Yu RC, et al. Emergence of brown tides caused by *Aureococcus anophagefferens* Hargraves et Sieburth in China. Harmful Algae, 2012(19): 117-124

(编辑 冯小花)

Studies on Bottom Sowing Culture in Pond and Longline Aquaculture of Late Seedling in Bay Scallop *Argopecten irradians*

WANG Dongzhe^{1,2}, MAO Yuze^{1①}, FANG Xiao³, DU Meirong¹, ZHANG Fuchong³, FANG Jianguang¹

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Carbon-Sink Fisheries Laboratory, Qingdao 266071;

2. College of Fisheries and Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

3. Hebei Ocean and Fisheries Science Research Institute, Qinhuangdao 066200)

Abstract The work of breeding bay scallop seedling has been studied in the past. The breakout of the brown tide in Hebei Area has brought significantly negative effects on the industry of bay scallop. To avoid the outbreak, the breeding of late seedling (parents bay scallop were put into seedling rearing room for breeding at the beginning of April) and a chain of experiments concerning to bottom sowing culture in pond and longline aquaculture were carried out during 2012–2013. The results showed that the average shell length was 59.7 mm for the late seedling (with shell length 5.0–6.1 mm) after bottom sow into pond in June 2012 for 139 days cultivation. In 2012, after a longline aquaculture, the average wet weight, scallop adductor weight and adductor output rate of the late seedling were 28.7 g, 3.8 g and 13.8%, respectively. In 2013, after a longline aquaculture, the average shell height, wet weight and scallop adductor weight were 50.3 mm, 24.4 g and 3.1 g, respectively. The data suggest that the aquaculture of late seedling may reduce the expenditure of 45.5 t coal and 67.5 thousand Yuan per 1000 m³. These results also suggest that the planned delay may help to efficiently avoid the adverse effects of brown tide and may serve as a reference to the development of the whole bay scallop cultivation industry.

Key words *Argopecten irradians*; Late bay scallop seedling; Bottom sowing culture in pond; Longline aquaculture

① Corresponding author: MAO Yuze, E-mail: maoyz@ysfri.ac.cn