

盐度对海湾扇贝不同发育阶段的影响*

何义朝 张福绥

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

摘要 本实验于 1985—1986 年进行。控制水温在最适条件下, 实验结果表明, 海湾扇贝 *Argopecten irradians* Lamarck 各发育阶段对盐度的耐受力不同。从受精卵正常发育至 D 形幼虫的适宜盐度范围为 25—32S, 其中从担轮幼虫期正常发育至 D 形幼虫的适宜盐度范围扩大为 23—37S。在 72h 的实验效应内, D 形幼虫存活的适宜盐度范围为 21—36S, 生长的适宜盐度范围为 22—33S。其中 23S 是 D 形幼虫的存活和生长的最佳盐度。幼虫正常变态成苗的盐度范围相当狭窄, 大于 60% 的变态率仅发生在 23.8—26.8S 范围内。平均壳高为 1063.2 μ m 的幼苗在 21.5—44.7S 中能百分之百存活 94h 以上, 其适宜生长盐度范围为 21—37S。个体稍大的幼贝 (27—30mm) 能在 21—41S 中存活 144h 以上。幼贝经过中间适应后, 存活的盐度范围可扩大至 13.2—46.4S。

每一种生物及其生命不同阶段对盐度都有一定的适应范围。盐度是影响海湾扇贝孵化、存活和生长的重要因素。有关盐度同某些双壳类的关系已有不少报道^[10,16,17], 但由于实验盐度间距较大 (5S), 未能确切弄清各生命阶段对盐度的临界值^[17]。有关 *A. irradians* Lamarck 幼苗和幼贝的耐盐能力尚未见到报道。

60 年代初, 很多学者认为, 只有在多因素复合条件下才能更准确地反映出生物的生存和生长发育的环境条件。然而, Calabrese 在单一地和复合地研究了温度和盐度对 *Mulinia lateralis* 的胚胎和幼虫的影响后指出, 只有在温度和盐度或其中一个接近极限范围时, 温-盐的复合影响才显示出明显的关联, 当两者之一处在安全范围内, 则不存在明显的互相关系^[8]。Castagna 等认为, 在多数情况下, 温度主要影响生物对实验盐度的反应速率, 并不能改变对盐度的耐受限度。为简化实验, 本研究在探讨盐度单因素对海湾扇贝生命各阶段的影响时, 把温度控制在 23 \pm 0.5 $^{\circ}$ C 的最适条件下, 此温度条件已经几年生产实践证明为最适温度。

一、材料与方 法

供采卵用的亲贝于 1985—1986 年取自胶州湾西部红石崖镇海水养殖场的 1.5 龄的老贝, 用于耐盐能力实验的幼贝也取自同一海区, 该海区当时盐度为 30S 左右, 水温在 21—23 $^{\circ}$ C。

高盐度海水是用经过烧煮浓缩的海水与普通海水 (30S 左右) 调配而成。低盐度海水是用井水或经过充分暴晒逸散余氯后的自来水与普通海水调配而成。用精密比重计测

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1569 号。

收稿日期: 1988 年 10 月 27 日。

定比重,按 $1.3at + (0.003at + 0.28) \times (T - 17.5)$ 式^[1]计算盐度值,并用日本 ATAGO 公司生产的手持盐度折射仪校对。

孵化实验的盐度是实验用海水加卵后实测盐度,实验容器加盖,以防蒸发后盐度改变。其他实验用容器不加盖,每次投饵后调整盐度,仍有微小波动。实验盐度值以实验结束时实测数据计。整个实验过程用 7151-DM 型控温仪通过水浴控温在 $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。光照强度在 500lx 以下。实验结束时测定一次溶解氧,各容器均在 4.0×10^{-6} 的安全值以上,未测定氨氮含量。

对照实验用的海水,取自青岛太平角海区,盐度为 29.6—30.9S,接近亲体生境的盐度。

按正常 D 形幼虫数与投入的卵数之比计算孵化比率,正常 D 形幼虫的死壳也计入 D 形幼虫数中。暂把变态后壳高 2mm 以下的个体称作幼苗,把壳高在 2—30mm 的称作幼贝。

本文确定孵化、存活的适宜盐度范围的个体相对数量界限为 70%,盐度范围的个体相对数量为 30%,按幼虫壳高日增长率为 4.0% 的视作适宜生长盐度。

二、结 果

1. 盐度对孵化率的影响

为比较胚胎发育的不同阶段对盐度的耐受力,分别将 2-, 4-细胞期和在 30S 左右的海水中发育 14h 的担轮幼虫直接移至各实验盐度中,前者孵化密度为 0.6ind/ml,后者为 3.0ind/ml。各梯度的平均孵化率如图 1 所示。从图 1 中两条曲线可知,2-, 4-细胞的早期阶段的胚胎,发育至正常 D 形幼虫的盐度范围为 23—35S,适宜范围为 25—32S。发育至担轮幼虫后,胚胎对盐度的适应范围扩大至 21—41S,适宜盐度范围为 23—37S。

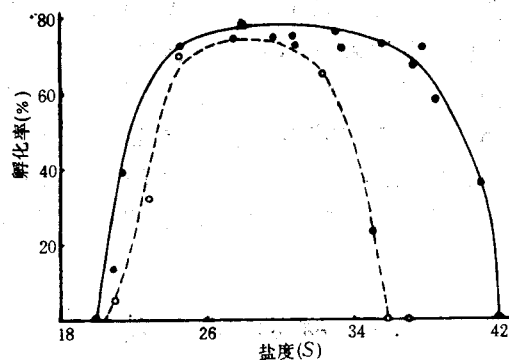


图 1 盐度对海湾扇贝孵化率影响

Fig. 1 Effect of salinities on the hatching rate of *Argopecten irradians*

○-----○ 从受精卵至 D 形幼虫; ●——● 从担轮幼虫至 D 形幼虫。

2. 盐度对幼虫存活率的影响

把在 30.9S 中孵化并培养至平均壳长为 $120\mu\text{m}$ 的 D 形幼虫,按 0.75ind/ml 的培养密度直接移到各实验盐度中。实验样品分成两组,第一组和第二组分别在 72h 和 164h 后结束实验。幼虫在各实验盐度中的存活率见图 2。按 72h 的实验结果,D 形幼虫的存活

盐度范围为 19—39S, 适宜范围为 21—36S; 当实验延长到 164h 时, 存活的盐度范围则缩小为 21—36S, 适宜范围缩小为 23—34S。但两组的最佳生存盐度均在 23S 左右。低于 23S 时, 不良反应明显。幼虫在低于 20S 或高于 36S 的盐度中, 即使尚存活, 但胃空, 呈半透明状, 显得瘦弱。

由于实验设计时估计不足, 本实验未能确定幼虫的耐盐上限。两组分别在 39.2S 和 37.5S 的条件下都有 30% 以上的存活率。

3. 盐度对幼虫生长的影响

实验分三组, 所用幼虫平均壳长分别为 $120\mu\text{m}$, $135\mu\text{m}$ 和 $120\mu\text{m}$, 持续时间分别为 72h, 140h 和 164h, 每日向各实验缸投喂等量的金藻 *Isochrysis galbana*, 并以实验结束时日增长量绘图 3。从实验结果, 可以认为幼虫生长的盐度范围为 22—36S (日增长量在 $3\mu\text{m}$ 以上), 适宜的盐度范围为 23—33S (日增长量 $4\mu\text{m}$ 以上), 最佳生长盐度为 23S, 与幼虫的最佳存活盐度相同。尽管因 9 月 14—17 日的实验用的卵的质量好, 且投饵量也稍多, 引起幼虫的生长速度较快, 但三次实验结果的最佳生长盐度是一致的。值得注意的是, 当盐度在 23S 以下, 生长明显下降。

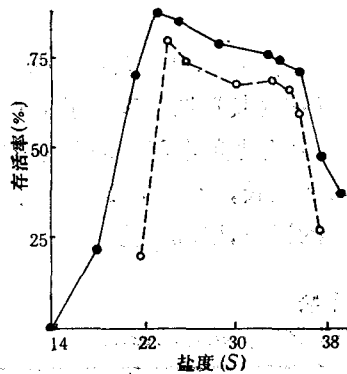


图 2 盐度对幼虫存活率的影响

Fig. 2 Effect of salinities on survival of *Argopecten irradians*

●——●72h 实验效应; ○-----○164h 实验效应。

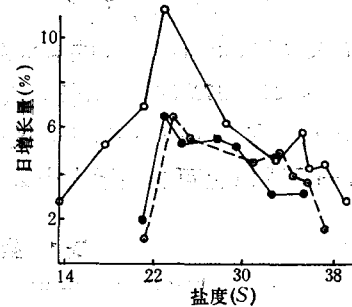


图 3 盐度对幼虫生长的影响

Fig. 3 Effect of salinities on growth of larvae *Argopecten irradians*

○——○实验开始时, 幼虫平均壳长 $120\mu\text{m}$, 72h 实验效应; ●——●实验开始时, 幼虫平均壳长 $135\mu\text{m}$, 144h 实验效应; ○-----○实验开始时, 幼虫平均壳长 $120\mu\text{m}$, 164h 实验效应。

我们发现在 13.47S 的低盐度中, 虽然幼虫经 22h 后全部死亡, 但在 22h 中, 平均增长 $7.66\mu\text{m}$; 在 17.7S 的盐度, 虽然 72h 内幼虫 79% 死亡, 但仍有 $15.8\mu\text{m}$ 的增长值 (日增长值为 $5.27\mu\text{m}$)。可见海湾扇贝幼虫在危及其生存的极限盐度中, 暂时还能继续生长。

4. 盐度对幼虫变态率的影响

将原在 30.0—30.9S 的盐度中培养至平均壳长 $120\mu\text{m}$ 的幼虫, 移到各实验盐度中, 培养至变态, 变态率如图 4 所示。很明显, 适于幼虫变态的盐度范围相当狭窄, 60% 的变态率仅仅出现在 23.8—26.8S 这个狭小的范围内。30% 的变态率的盐度范围约为 22—

31S, 在 19.8 和 33.2S 盐度中, 仅有 10% 的变态率。幼虫在不同盐度中的变态率曲线近于正态。

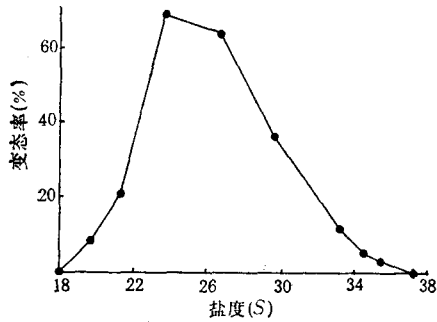


图 4 盐度对幼虫变态率的影响

Fig. 4 Effect of salinities on metamorphosis rate of the larvae *Argopecten irradians*

随着时间的推延, 幼苗相继死亡。

6. 盐度对幼苗生长的影响

将平均壳高为 1063.2 μm 的幼苗置于各实验盐度中培养 120h, 其生长情况列于表 1。实验结果表明, 幼苗可生长的盐度范围为 16—42S (按壳长日增长率大于 1.5 计), 适宜盐度范围为 21—37S (按日增长率大于 4.0 计), 最佳生长盐度为 25—34S (按日增长率大于 6.0 计)。在 15.81S 和 42.95S 的盐度中, 幼苗虽能生长, 但其增长率十分低。在 15.55S 和 44.72S 以上可能由于大个体死亡较多或测量的误差, 出现负值。

表 1 盐度对幼苗生长的影响

Tab. 1 Effect of salinities on growth of spats *Argopecten irradians*

盐度 (S)	9.45	12.24	15.55	15.81	21.46	23.84	25.39	30.90
平均壳高 (μm)	①	②	1061.6	1148.3	1326.6	1355.0	1431.1	1436.5
日增长量 (μm)			-0.32	17.02	52.86	58.36	73.58	74.56
日增长率 (%)			-0.03	1.55	4.53	4.97	6.12	6.20
盐度 (S)	33.40	34.42	35.77	37.38	42.03	42.95	44.72	46.75
平均壳高 (μm)	1404.4	1440.0	1355.0	1294.4	1182.7	1075.5	1056.1	1050.0③
日增长量 (μm)	68.24	75.36	58.36	46.24	23.90	2.46	-1.42	-2.64
日增长率 (%)	5.72	6.26	4.97	4.01	2.15	0.23	-1.3	-0.2

注: ①在 3h 内百分之百死亡; ② 5d 后死亡率达 77%; ③ 5d 后死亡率达 82%。

7. 盐度对幼贝存活的影响

用壳高为 27—30mm 的幼贝作耐盐实验, 结果表明, 百分之百的幼贝可在 20.95—41.08S 的盐度范围内存活 144h; 超过此盐度范围, 存活率急剧下降, 幼贝在低于极限盐度中比在高于极限盐度的环境中死亡更快, 见表 2 A。

5. 盐度对幼苗存活的影响

用平均壳高 1063.2 μm 的幼苗, 直接移到 9.45—46.75S 16 种不同梯度盐度中, 经 94h 后检查并计算存活率。实验结果表明, 百分之百的幼苗能在 21.5—44.7S 中正常存活 94h 以上, 在 16S 中尚有 98% 的存活率, 但当盐度低于 15S 或高于 45S 时, 幼苗死亡较快, 且存活率急剧下降。

我们同时观察到幼苗对极限盐度或对盐度大幅度骤变反应强烈, 少数个体在短时间内或作跳跃式游泳, 或最大限度开启双壳, 偶尔快速伸缩软体部, 随后就闭住双壳, 仅微微伸出短小

幼贝经中间过渡和直接暴露于各盐度中的耐盐能力比较实验表明, 幼贝经在近极限盐度中过渡, 使之获得调整其生理机能的时间, 将会明显地扩大其耐盐范围, 见表 2 B。尽管本实验的中间过渡陡度较大, 但百分之百的幼贝可在 13.21—46.44S 的盐度范围内存活 144h 以上。从表 2 B 中还可看出, 把原生境盐度为 36.93S 和 21.51S 的幼贝分别移到 16.11S 和 44.18S 中, 在 24h 内全部死亡, 显然, 幼贝对相反极限盐度的适应力低。把原生境盐度为 37.90S 和 41.08S 幼贝分别移到 45.57S 和 46.44S 中, 前者 48h 内死亡, 而后者却存活 144h 以上; 尽管前者盐度较后者偏低些, 但前者提高的陡度却较后者的大。

表 2 盐度对幼贝存活的影响

Tab. 2 Effect of salinities on survival of juvenile *Argopecten irradians*

A				B			
原生境盐度 (S)	实验盐度 (S)	144h 存活率 (%)	存活持续时间 (h)	原生境盐度 (S)	实验盐度 (S)	144h 存活率 (%)	存活持续时间 (h)
29.66—30.90 ↑ ↓ 29.66—30.90	11.74	0	<14	36.93	16.11	0	<24
	14.92	↑	<40 ^①	18.21	13.85	0	<120
	16.62		<16	16.97	13.21	100	<144
	18.21	↓	<24	16.97	15.60	↑	↑
	19.84	0	<86	23.03	16.89	↑	↑
	20.95	100	>144	20.95	16.97	↑	↑
	21.51	↑	↑	25.40	16.97	↑	↑
	21.35	↑	↑	20.95	18.21	↓	↓
	22.70	↑	↑	22.70	18.35	↓	↓
	25.40	↑	↑	21.51	18.47	↓	↓
	29.66	↑	↑	38.64	44.18	↓	↓
	30.90	↑	↑	41.08	46.44	100	>144
	36.93	↓	↓	21.51	44.18	0	<24
	37.66	↓	↓	37.90	45.57	↑	<48
	37.99	↓	↓	37.90	47.28	↓	<48
	40.48	↓	↓	46.44	48.54	↓	<72
	41.08	100	>144	41.08	50.44	0	<48
42.40	80	<130					
43.85	0	<54					
44.23	0	<48					
48.95	0	<40					

① 充气、投饵。

三、讨 论

鉴于贝类胚胎发育对温度与盐度的适应能力与其亲体所在的生境有关^[4-6,11,14,15]。本文所取结果仅指取自生境盐度为 30—31S、控温在 23℃ 条件下, 海湾扇贝各发育阶段对盐度的耐受力。

实验结果表明, 处于不同发育阶段的海湾扇贝对盐度有不同的适应范围。卵裂期对盐度变化最敏感, 早期胚胎发育对盐度的适应范围要比幼虫和幼贝的存活和生长的盐度范围狭窄, 幼虫变态以后, 对盐度的耐受范围便进一步扩大, 但处于变态期的幼虫对盐度的耐受力却最低。这与贻贝胚胎发育对温度的耐受力规律一致^[3], 与 Tettelbach 等^[17],

Cain^[7], Loosanoff 等^[13] 分别对 *A. irradians concentricus* Say、楔形条蛤蜊 *Rangia cuneata*、硬壳蛤 *Mercenaria mercenaria* 的研究中所观察到的现象也相同。

我们观察到幼虫在适宜盐度中比在不利的盐度中能更早完成变态,同时,幼虫在适宜盐度中生长率更高,由此推测盐度当也会影响胚胎发育速度,影响幼虫的浮游期。此外,还注意到幼苗在近极限盐度中,心跳和鳃丝活动缓慢,对外界刺激迟顿。说明在不利盐度中,新陈代谢减低。Kinne^[12] 指出,超过盐度忍受范围会引起生物体渗透压的改变,渗透压的改变不仅会降低动物的代谢速率,同时也会影响代谢过程的效率。

实验结果证明,23S 是幼虫的生存和生长的最佳盐度条件,低于 23S 的盐度对幼虫的生存和生长的不良影响,比高于 23S 时更显著。生产性育苗中如能调整盐度到最适范围,将会大大提高出苗率并缩短育苗期,获得理想的经济效益。

我们发现幼虫在危及其生存的盐度中,仍然继续生长一段时间,致使幼虫的生长盐度范围比生存范围更广些。这是因为,供实验用的幼虫原先饲养在适宜的环境中,幼虫体内已积累了一定量的营养物质,移入不利环境中后,幼虫仍然可依靠储存的营养物质继续生长。但当体内的营养物质消耗殆尽后,生长则停止。临死亡之前,幼虫胃中无食物团,脂肪点变得小而少,身体呈半透明状。

Tettelbach 等认为,海湾扇贝胚胎发育的盐度上下限分别为 30S 和 20S,最佳盐度为 25S^[17]。这与我们的结果并不矛盾,因为他们把产卵前的亲贝先在 25S 中经过数星期的驯养,同时实验的盐度间距也较大(为 5 S)。

生物对环境因素的反应能力,取决于个体生理学的可塑性,如作用因素的量变幅度、作用因素影响的快慢和时间等。作用因素的量变平缓,则有助于生物逐渐适应变化的环境,扩大对作用因素的忍受范围,并在临界条件下存活。反之,作用因素量变幅度太大,生物的生长、发育受阻或停止,甚至死亡。扇贝对盐度大幅度骤变会引起强烈反应,或快速煽动双壳作跳跃式游泳,或极度张启双壳,继而闭住双壳,仅微微伸出外套触手,处于假死或休眠状态。长时间后,大部分个体死亡;小部分个体凭借高度可塑性忍受住新环境,从而存活的时间较长,经过这一关后,则呈现对已变盐度的高度忍受力,逐步恢复正常的生活状态,或许这就是作为驯化基础的个体生态生理学和生物学适应。

参 考 文 献

- [1] 张乃禹, 1982. 海水盐度简易计算法. 海洋科学 3: 57—59.
- [2] 张福绥、何义朝、刘祥生等, 1986. 海湾扇贝引种、育苗及试养. 海洋与湖沼 17(5): 367—374.
- [3] 何义朝、张福绥, 1983. 温度对贻贝胚胎发育的影响. 贝类学论文集第一辑. 科学出版社, 133—144 页.
- [4] 何义朝、张福绥, 1986. 贻贝胚胎发育的有效温度范围的变化. 贝类学论文集第二辑. 科学出版社, 89—93 页.
- [5] 林笔水、吴天明, 1984. 温度和盐度对缢蛏浮游幼虫发育的影响. 生态学报 4(4): 385—392.
- [6] Alden, P. S., 1964. Salinity, temperature and food requirements of soft-shell clam larvae in laboratory culture. *Ecology* 45(2): 283—292.
- [7] Cain, T. D., 1973. The combined effects of temperature and salinity on embryos and larvae of the clam *Rangia cuneata*. *Mar. Biol.* 21: 1—6.
- [8] Calabrese, A., 1969. Individual and combined effects of salinity and temperature on embryos and larvae of the coot clam, *Mulinia lateralis* (Say). *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. Woods Hole* 137: 417—428.
- [9] Castagna, M. and P. Chanley, 1973. Salinity tolerance of some marine bivalves from inshore and estuarine environments in Virginia waters on the western Mid-Atlantic coast. *Malacologia*, 12(1): 47—96.

- [10] Castagna, M., 1975. Culture of the bay scallop, *Argopecten irradians* Lamarck, in Virginia. *Mar. Fish. Rev.* 37: 19—24.
- [11] Davis, H. C., 1958. Survival and growth of clam and oyster larvae at different salinities. *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. Woods Hole.* 114: 296—307.
- [12] Kinne, O., 1964. The effects of temperature and salinity on marine and brackish water animals. 11. Salinity and temperature-salinity combinations. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 2: 281—339.
- [13] Loosanoff, V. L., W. S. Miller and P. B. Smith, 1951. Growth and setting of larvae of *Venus mercenaria* in relation to temperature. *J. Mar. Res.*, 10: 59—81.
- [14] Newkirk, G. F., D. L. Waugh, and L. E. Haley, 1977b. Genetics of larval tolerance to reduced salinity in two populations of Oysters, *Crassostrea virginica*. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 34: 384—378.
- [15] Newkirk, G. F., 1978. Interaction of genotype and salinity in larvae of the oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Biol.* 48: 227—234.
- [16] Sastry, A. N., 1966. Temperature effects in reproduction of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. Woods Hole.* 130: 118—134.
- [17] Tettelbach, S. T. and E. W. Rhodes, 1981. Combined effects of temperature and salinity on embryos and larvae of the Northern bay scallop, *Argopecten irradians irradians*. *Mar. Biol.* 63(3): 249—256.

THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL SALINITY ON VARIOUS DEVELOPMENT STAGES OF THE BAY SCALLOP *ARGOPECTEN IRRADIANS* LAMARCK*

He Yichao and Zhang Fusui

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)

ABSTRACT

The effects of salinity on various developmental stages of bay scallop *Argopecten irradians* Lamarck in the optimum temperature at laboratory in 1985—1986 is discussed in this paper.

The eggs, trochophore larvae, veligers, spats and juvenile scallops from Jiaozhou bay under an environmental salinity of about 30×10^{-3} , were subjected to experiments to determine the salinity range for development of straight-hinge larvae from eggs or trochophore larvae. In addition, the experiments were also aimed to determine the salinity ranges of survival and growth of larvae and spats, and the salinity tolerance limits of juvenile scallops.

The optimum salinity for the development of straight-hinge larvae from eggs of bay scallop is 25 to 32×10^{-3} . However, when the fertilized eggs develop into trochophore larvae at about 30×10^{-3} for 14 hours beforehand, the salinity range for development of trochophore larvae into shelled larvae will be extended. At the salinities of 21 to 41×10^{-3} over 30 per cent of eggs develop into normal shelled larvae, but the optimum salinity range is between 23 and 37×10^{-3} .

Observations on survival rate for 72 and 164 hours indicate that the survival salinity ranges of larvae are from 21 to 36×10^{-3} and 23 to 34×10^{-3} individually. Both experiments have shown the same facts that the best salinity for survival is 23×10^{-3} .

The salinity ranges for growth of shelled larvae are 22 to 36×10^{-3} . The optimum salinity ranges are 23 to 33×10^{-3} and the salinity of 23×10^{-3} is the best condition for growth.

*Contribution No. 1569 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

The metamorphosis take place only within the relatively narrow salinity range. The metamorphosis rate of 60% can be obtained at the salinities of 23.8 to 26.8×10^{-3} . The percentage of normal spats obtained with the salinities of 19.8 and 33.2×10^{-3} is only 10%.

The salinity range of tolerance for spats is wider than that for larvae. One hundred per cent of spats, whose average shell is $1063.2 \mu\text{m}$ high, may live normally for over 94 hours at salinities of 21.5 to 44.7×10^{-3} .

The salinity ranges for growth of spats are 16 to 42×10^{-3} and optimum salinity ranges are 21 to 37×10^{-3} . At this range the length increased per day is above $68 \mu\text{m}$.

One hundred per cent of juvenile, whose shell is 27 to 30 mm high, may live in salinities of 21 to 41×10^{-3} for over 144 hours. When juvenile are conditioned progressively at different salinities the salinity ranges for survival will be extended to 13.2 to 46.44×10^{-3} .

It is still undetermined whether the optimum salinity for development, growth, survival of larvae and spats is the same as the salinity at which the parent scallops develop gonads.