

膨腹海马人工繁殖与育苗关键技术

何丽斌¹, 祁剑飞¹, 林金波², 陈欣欣², 罗辉玉¹, 王庆³, 郑乐云^{1*}

(1.福建省水产研究所,福建 厦门 361013; 2.厦门小嶼水产科技有限公司,福建 厦门 361103;
3.华南农业大学海洋学院,广东 广州 510642)

摘要:为了提高膨腹海马(*Hippocampus abdominalis*)养殖效率,了解温度、配对方式与数量、养殖密度等对膨腹海马生长、存活及生殖的影响,本研究测定了不同温度、不同雌雄数量比对膨腹海马亲本产苗量的影响和不同培育密度对膨腹海马苗种生长、存活的影响。研究表明:膨腹海马亲鱼适宜的繁殖水温范围为16.0~19.0℃;膨腹海马雌雄鱼比例控制在1:1、2:3的范围内繁殖效果最佳,产苗量相对较高;膨腹海马苗种生产的早期阶段(30日龄前),最适培育密度为0.50~1.00尾/L,中期阶段(30~60日龄),最适培育密度为0.25~0.50尾/L。本研究为膨腹海马人工繁殖与育苗技术提供了科学数据。

关键词:海洋生物学;膨腹海马;人工繁殖;苗种培育;温度;配对比例;苗种密度

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.2022.04.016

中图分类号:P735

文献标识码:B

文章编号:2095-4972(2022)04-0701-07

海马作为一种重要的中药材,在我国有“南方人参”的称号。近年来海洋生态环境的变化、近海污染的加剧和人类的过度捕捞对海马的摄食、栖息环境及海马种群的繁衍均造成了严重的破坏^[1],目前海马的野生种群已经濒危^[2]。世界生物保护组织已把所有已知的海马种类都列入濒危野生动植物种国际贸易公约附录II^[3],人工增养殖已成为满足市场需求,保护海马资源的唯一选择^[4]。膨腹海马(*Hippocampus abdominalis*),又称大腹海马,是所有已知海马种类中最大的一种,主要分布于西南太平洋区的澳大利亚及新西兰海域,栖息在礁石区,随着海草游动,属肉食性,以小型甲壳类为食。随着科学技术的发展,越来越多的检测方法被应用到科学研究中,海马的一些药用功效得到了证实^[5-8]。2016年,福建省水产研究所海马研发项目组联合厦门小嶼水产科技有限公司引进澳大利亚膨腹海马,当年苗种繁育成功。几年来,项目组开展了膨腹海马生殖生理学、养殖生态学及基因组学等多方面的研究,2020年,突破了膨腹海马规模化人工育苗及病害防控关键技术,培育全长4.0~6.0 cm 膨腹海马苗种18.5万尾;2021年1—6月,项目组培育平均全长

8.9 cm的膨腹海马苗种133万尾,该品种现已在福建省及山东省日照、烟台等地推广养殖,并取得良好的效果,促进了海马人工养殖在我国的产业化发展进程。

目前国外海马养殖规模较小,价格较高,主要用于观赏用途^[9]。国内人工繁养海马的研究主要集中在海马的生活习性及其生长形态学等方面^[10-11],研究对象主要有美国线纹海马(即直立海马,*Hippocampus erectus*)、三斑海马(*Hippocampus trimaculatus*)、大海马(*Hippocampus kuda*)等,有关膨腹海马人工繁殖及苗种培育技术方面的研究尚未见报道。本研究以膨腹海马为研究对象,探讨温度、亲鱼配对方式及苗种培育密度对其亲本生殖及苗种生长存活的影响,为膨腹海马的苗种繁育和生物学研究提供基础理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

温度对膨腹海马亲鱼生长、存活及生殖影响实验中,实验海马为项目组培育的170日龄的亲鱼,雌鱼体长10.48~12.42 cm、体质量3.06~5.99 g,雄鱼

收稿日期:2021-08-17

基金项目:厦门市海洋与渔业发展专项资金资助项目(18CZY008HJ03);福建省海洋与渔业结构调整专项资助项目(2019HYJG08)

作者简介:何丽斌(1971—),女,副研究员;E-mail: 670170442@qq.com

* 通讯作者:郑乐云(1969—),男,教授级高工;E-mail: 981668817@qq.com

体长 10.18~11.20 cm、体质量 3.38~5.17 g,雌雄鱼均已性成熟;亲鱼放养于容量 0.5 t 的塑料水槽。

配对方式及亲鱼数量对膨腹海马生殖影响的实验中,实验海马为项目组培育的 250 日龄且已繁殖 2 个多月的成熟亲鱼,亲鱼体长 12.10~15.82 cm,平均体长 13.90 cm,体质量 4.53~7.46 g,平均体质量 5.95 g;亲鱼放养于容积为 300 L 的塑料水槽。

培育密度对膨腹海马苗种生长、存活影响的实验中,实验海马幼苗为项目组繁育的 1 日龄膨腹海马幼鱼,鱼苗全长(2.10±0.34) cm,体质量(0.010±0.002)g;苗种放养于容积 100 L 白色塑料水槽。

1.2 实验方法与养殖管理

1.2.1 温度对膨腹海马亲鱼生长、存活及生殖的影响 ① 实验组设置。实验设 13.0、16.0、19.0、22.0 °C 共 4 个不同温度实验组,水温波动范围±0.5 °C,每组设 3 个平行组,每个平行组随机抽取 20 尾雌鱼及 20 尾雄鱼(20 对)放养于 0.5 t 的塑料水槽中;自然水温低于实验所需水温时用电热棒加温,自然水温高于实验水温时用制冷机降温。② 日常管理。亲鱼饵料以冰冻糠虾为主,配合少量的活体桡足类。每天上、下午各投喂一次糠虾,以略微过量为度,投饵 1 h 左右通过吸底清理残饵;每天下午糠虾投喂好后每个水槽均补充适量活体桡足类。亲鱼流水培育,实验用海水是经两次沙滤的自然海水,盐度 30~33,pH 8.0~8.1,日换水量约 100%;实验周期 120 d。③ 数据统计。每日分别捞取并统计每个实验水槽海马亲鱼产苗数量,由于实验开始前,部分雄鱼可能已受孕,为排除实验前受孕对实验的影响,本实验产苗量从开始实验一个月后正式统计;每日记录每个实验组亲鱼死亡数量,雌、雄鱼分别记录;每 30 d 分别测量每组亲鱼雌、雄鱼的体长、体质量;产苗量的多少以每尾雄鱼日均产苗量作为比较依据。

1.2.2 配对方式及亲鱼数量对膨腹海马生殖的影响 ① 实验组设置。实验设雌雄数量比为 1:1、3:2、2:1、2:3、1:2 等 5 种配对方式,每种配对方式亲鱼的数量多少不一,其中 1:1 配对方式设 1♀+1♂、2♀+2♂、4♀+4♂、6♀+6♂、8♀+8♂、10♀+10♂ 等 6 个实验组;3:2 配对方式设 3♀+2♂、6♀+4♂、9♀+6♂、12♀+8♂、15♀+10♂ 等 5 个实验组;2:1 配对方式设 2♀+1♂、4♀+2♂、8♀+4♂、12♀+6♂、16♀+8♂、20♀+10♂ 等 6 个实验组;2:3 配对方式设 2♀+3♂、4♀+6♂、6♀+9♂、8♀+12♂、10♀+15♂ 等 5 个实验组;1:2 配对方式设 1♀+2♂、2♀+4♂、4♀+8♂、6♀+12♂、8♀+16♂、10♀+20♂ 等 6 个实验组,每个实验组均设 3 个平行。

实验鱼按实验设计的比例及数量随机分养于实验水槽。② 日常管理。亲鱼砂滤自然海水流水培育,实验期间自然水温 13.0~20.2 °C,盐度 30~32,日换水量约 100%。亲鱼饵料以冰冻糠虾为主,配合少量的活体桡足类。每天上、下午各投喂一次糠虾,以略微过量为度,投饵 1 h 左右通过吸底清理残饵;每天下午糠虾投喂好后每个水槽均补充适量活体桡足类;实验周期 120 d。③ 数据统计。每日分别捞取每个实验水槽初生的海马苗,并统计数量,由于实验开始时,部分雄鱼可能已受孕,为排除实验前受孕对实验的影响,本实验产苗量从开始实验一个月后正式统计;产苗量的多少以每尾雄鱼日均产苗量作为比较依据。

1.2.3 培育密度对膨腹海马苗种生长、存活的影响 ① 实验分组。实验设 0.25、0.50、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 尾/L 共 7 个不同密度组,每组设 3 个平行,1 日龄的实验膨腹海马幼苗按数量随机放养于各实验水槽。② 日常管理。苗种砂滤自然海水微流水培育,实验期间自然水温 17.2±7.2 °C,日换水量 50%~100%;每日吸污并检查和登记死亡数量;实验周期 60 d。③ 生长指标和统计学分析。第 30 天和第 60 天每个平行随机抽取 20 尾海马,测量全长和体质量指标,并清点鱼苗数量,计算成活率。

1.3 数据计算与分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 统计学软件对数据进行统计分析。对海马体长、体质量、成活率、雄鱼日均产苗量等用单因素方差分析(One-Way ANOVA),Duncan 氏法进行多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著。

成活率、日体长增长率、日体质量增长率、日均产苗量的计算方法:

$$S = (N_T/N_0) \times 100 \quad (1)$$

$$L_{GR} = [(L_T - L_0)/L_0]/t \times 100 \quad (2)$$

$$W_{GR} = [(W_T - W_0)/W_0]/t \times 100 \quad (3)$$

$$N_{AVG} = (N_{SEED}/N_{MALE})/t \quad (4)$$

式(1)至(4)中: S 为成活率(%); N_T 为终末鱼数量(尾); N_0 为初始鱼数量(尾); L_{GR} 为日体长平均增长率(%); L_T 为终末平均体长(mm); L_0 为初始平均体长(mm); W_{GR} 为日体质量平均增长率(%); W_T 为终末平均体质量(g); W_0 为初始平均体质量(g); N_{AVG} 为日均产苗量(尾/d); N_{SEED} 为总产苗量(尾); N_{MALE} 为雄鱼数量(尾); t 为养殖实验时间(d)。

2 结果与讨论

2.1 温度对膨腹海马亲鱼生长、存活及生殖的影响

不同温度对膨腹海马存活、生长及繁殖力的影响见表1。从表1可知,在120 d的实验期间,13.0、16.0、19.0℃组雌鱼平均成活率分别为95.0%、100.0%及95.0%,无显著差异($P>0.05$),但22.0℃组雌鱼的平均成活率仅为50.0%,低于其他3个实验组,差异显著($P<0.05$)。雄鱼成活率情况与雌鱼类似,13.0、16.0、19.0℃组成活率为93.3%~100.0%,3组间无显著差异,22.0℃组雄成活率为32.5%,明显低于其他3组,差异显著。亲鱼体长日增长率大小依次为16.0、19.0、13.0、22.0℃组,16.0℃组日增长率高于其他3组,且差异显著;19.0、13.0℃组高于22.0℃组,且差异显著,但二者间无显著差异;22℃组低于其他3组且差异显著。亲鱼日增重率大小顺序依次为16.0、19.0、13.0、22.0℃组,4组间的差异情况与体长增长率相似。4个实验组雄鱼日均产苗量大小依次为16.0、19.0、13.0、22.0℃组。16.0℃组日均产苗量最大,为1.75尾/d,与19.0℃组的1.52尾/d无显著差异,但与13.0℃组及22.0℃组差异显著;13.0℃组与19.0℃组差异不显著;22.0℃组日均产苗量为最低,为0.07

尾/d,低于其他组且差异显著。实验结果显示,膨腹海马亲鱼生长速度、成活率及产苗量在16.0、19.0℃两组相对较高,这是由于16.0~19.0℃是其适宜的生长温度,此时亲鱼的新陈代谢、生长发育速度加快,有利于亲鱼的生长和成活。当温度上升到22.0℃时,膨腹海马亲鱼生长速度、成活率及产苗量均大幅下降,这是由于22.0℃超出了亲鱼的适宜生长温度从而导致其生长速度下降,发育迟缓,死亡率增加等现象。鱼类生长与温度的关系可以波形曲线表示:曲线的顶点即为鱼类的最适生长温度,温度升高或降低都会影响其生长速率和成活率^[12],鱼类在适宜的温度范围内,外界对其胁迫小,鱼体消耗小部分能量抵御外界不良环境,剩下较多能量用于生长,同时对营养物质吸收率较高,反之,用于生长能量比重降低,鱼体生长相对缓慢^[13]。大海马^[14]、线纹海马^[15]在26.0℃时生长率最高、产苗量最大,而膨腹海马温度升高至22.0℃时其生长速度、成活率及产苗量均大幅下降,但当温度降低至13.0℃时,膨腹海马亲鱼生长速度和产苗量虽大幅下降,成活率却高达95.8%,这与膨腹海马是冷水性鱼类,对高温的耐受性较差有关,与冷水性鱼类大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[16]最适生长温度14~18.0℃相似。

表1 温度对膨腹海马亲鱼生长、存活及产苗量的影响

Tab. 1 Effects of temperatures on growth, survival and seedling yield of *Hippocampus abdominalis*

实验组	雌鱼成活率/%	雄鱼成活率/%	亲鱼成活率/%	日均产苗量/(尾·d ⁻¹)	亲鱼日增长率/%	亲鱼日增重率/%
13.0℃	95.0±8.7 ^a	96.7±5.8 ^a	95.8±7.2 ^a	0.88±0.17 ^b	0.31±0.02 ^b	0.27±0.04 ^b
16.0℃	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	1.75±0.61 ^a	0.55±0.01 ^a	0.45±0.01 ^a
19.0℃	95.0±5.0 ^a	93.3±2.3 ^a	94.2±3.8 ^a	1.52±0.54 ^{ab}	0.37±0.01 ^b	0.31±0.01 ^b
22.0℃	50.0±35.4 ^b	32.5±22.5 ^b	41.5±26.5 ^b	0.07±0.07 ^c	0.16±0.04 ^c	0.13±0.01 ^c

注:同列数据肩标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 配对方式及亲鱼数量对膨腹海马生殖的影响

2.2.1 相同配对方式下亲鱼数量对膨腹海马产苗量的影响 相同配对方式,膨腹海马亲鱼群体数量不同对其产苗量的影响情况见表2。雌雄比为1:1时,雄鱼日均产苗量为1.96~2.83尾/d,1♀+1♂实验组产苗量最小,但与其他各组间无显著差异($P>0.05$)。雌雄比为3:2时,雄鱼日均产苗量为1.28~2.33尾/d,3♀+2♂实验组产苗量最小,但与其他各组间无显著差异。雌雄比为2:3时,雄鱼日均产苗量为1.81~3.05尾/d,2♀+3♂实验组产苗量最小,但与其他各组间无显著差异。雌雄比为2:1

时,雄鱼日均产苗量为0.47~2.33尾/d,2♀+1♂实验组产苗量最小,与其他各组间差异显著($P<0.05$),但其他各组间差异不显著。雌雄比为1:2时,雄鱼日均产苗量为0.95~2.43尾/d,其中2♀+4♂实验组产苗量最小,除了与6♀+12♂实验组无显著差异外,与其他各组间差异显著;6♀+12♂实验组日均产苗量为1.31尾,显著低于4♀+8♂组、8♀+16♂组及10♀+20♂组且与1♀+2♂组及2♀+4♂组无显著差异;10♀+20♂组产苗量最高,除与4♀+8♂组差异不显著外,均显著高于其他各组;4♀+8♂组与8♀+16♂组产苗量均较高,二者间无显著

差异,但均显著高于 1♀+2♂、2♀+4♂ 及 6♀+12♂ 组。5 种配对方式中,雌雄比为 1:1、3:2 及 2:3 的实验组,亲鱼数量较少的其雄鱼日均产苗量较少,亲鱼数量较多的雄鱼日均产卵量相对较多,差异不

显著;雌雄比为 2:1 及 1:2 的实验组,亲鱼数量少的实验组日均产苗量也相对较少,差异显著。实验结果表明雌雄比例的比值大于 1.5,将影响亲鱼种群的生殖行为,日均产苗量相对较少。

表 2 相同配对方式下不同亲鱼数量对膨腹海马产苗量的影响

Tab. 2 Effects of different parent fish numbers on seedling yield of *Hippocampus abdominalis* under the same pairing mode

配对方式 1:1	日均产苗量 /(尾·d ⁻¹)	配对方式 3:2	日均产苗量 /(尾·d ⁻¹)	配对方式 2:1	日均产苗量 /(尾·d ⁻¹)	配对方式 2:3	日均产苗量 /(尾·d ⁻¹)	配对方式 1:2	日均产苗量 /(尾·d ⁻¹)
1♀+1♂	1.96±1.10 ^a	3♀+2♂	1.28±0.52 ^a	2♀+1♂	0.47±0.52 ^b	2♀+3♂	1.81±0.51 ^a	1♀+2♂	1.41±0.25 ^c
2♀+2♂	2.83±1.74 ^a	6♀+4♂	2.19±0.95 ^a	4♀+2♂	1.98±0.55 ^a	4♀+6♂	2.11±1.02 ^a	2♀+4♂	0.95±0.08 ^d
4♀+4♂	2.46±0.59 ^a	9♀+6♂	2.33±0.36 ^a	8♀+4♂	2.33±1.06 ^a	6♀+9♂	2.76±0.19 ^a	4♀+8♂	2.24±0.14 ^{ab}
6♀+6♂	2.01±0.47 ^a	12♀+8♂	1.95±0.59 ^a	12♀+6♂	2.04±0.62 ^a	8♀+12♂	3.05±0.62 ^a	6♀+12♂	1.31±0.13 ^{cd}
8♀+8♂	2.14±0.87 ^a	15♀+10♂	1.78±0.38 ^a	16♀+8♂	2.04±0.06 ^a	10♀+15♂	2.33±0.44 ^a	8♀+16♂	1.97±0.28 ^b
10♀+10♂	2.65±0.48 ^a	-	-	20♀+10♂	1.97±0.16 ^a	-	-	10♀+20♂	2.43±0.10 ^a

注:同列数据肩标不同字母表示差异显著(P<0.05)。

2.2.2 不同配对方式对膨腹海马亲鱼产苗量的影响 1♀:1♂、3♀:2♂、2♀:1♂、2♀:3♂、1♀:2♂ 等 5 种配对方式雄鱼日均产苗量统计结果见表 3。雄鱼日均产苗量为 1.72~2.41 尾/d,由大到小顺序依次为 2♀:3♂ 组、1♀:1♂ 组、3♀:2

♂ 组、2♀:1♂ 组及 1♀:2♂,其中 2♀:3♂、1♀:1♂、3♀:2♂、2♀:1♂ 4 组间无显著差异(P>0.05),2♀:3♂、1♀:1♂ 二组产苗量显著高于 1♀:2♂ 组(P<0.05),3♀:2♂、2♀:1♂ 组与 1♀:2♂ 组间差异不显著。

表 3 不同配对方式膨腹海马产苗量的差别

Tab. 3 Difference in seedling yields of *Hippocampus abdominalis* in different pairing methods

配对方式	1♀:1♂	3♀:2♂	2♀:1♂	2♀:3♂	1♀:2♂
日均产苗量/(尾·d ⁻¹)	2.34±0.36 ^a	1.91±0.41 ^{ab}	1.81±0.67 ^{ab}	2.41±0.5 ^a	1.72±0.58 ^b

注:同行数据肩标不同字母表示差异显著(P<0.05)。

海马属中绝大多数种类的性角色关系为雄鱼竞争配偶权^[17-18],只有膨腹海马会表现出性角色逆转的现象^[19]。目前关于膨腹海马交配过程中的配对方式及亲鱼数量的报道还很少,今后有待进一步研究以提高产苗量。

2.3 培育密度对膨腹海马苗种生长及成活的影响

不同培育密度下,第 30 天膨腹海马苗种各生长指标及成活率见表 4。通过生长指标的分析发现,密度低的实验组其生长速度相对较快。第 30 天,0.25、0.50 尾/L 实验组海马苗种平均体质量高于其他实验组,差异显著(P<0.05),但二者间无显著差异(P>0.05);1.00 尾/L 实验组显著高于 2.00、3.00、4.00、5.00 尾/L 各组,差异极显著;2.00 尾/L 实验组显著高于 3.00、4.00、5.00 尾/L 各组,差异显著;3.00、4.00、5.00 尾/L 各组间无显著差

异;第 30 天各组间平均全长的差异情况与各组间平均体质量的差异情况类似。第 60 天,0.25、0.50、1.00 尾/L 实验组海马苗种平均体质量均高于 2.00~5.00 尾/L 其他各组,且差异显著;3 组间体质量 0.25 尾/L 组>0.50 尾/L 组>1.00 尾/L 组,且差异显著。2.00、3.00、4.00、5.00 尾/L 各组体质量均较小,但各组间无显著差异。第 60 天各组间平均全长的差异情况与各组间平均体质量的差异情况类似。

第 30 天,各密度组成活率在 92%~95%之间,无显著差异(P>0.05);至第 60 天,各密度组成活率在 73%~84%之间,无显著差异,各组间成活率高低与培育密度无规律性的关系。

养殖密度作为水产动物生长的重要环境胁迫因子^[20]对养殖动物的生长速度及成活率均有直接影

响^[21-22]，“合理的养殖密度”是提高养殖效率的重要条件之一。过低的养殖密度会使个体之间行为的相互作用减少^[23]，在一定程度上抑制鱼类的生长率、成活率^[24-25]从而影响其个体的生长发育；但过高养殖密度会导致鱼类对养殖水域空间、食物资源的竞争渐趋激烈，引起鱼类应激反应，增大疾病发生可能性，从而使养殖群体的生长率、成活率下降^[24,26-27]。本研究结果显示：第 60 天，0.25~5.00 尾/L 的培育密度，膨腹海马苗种成活率没有显著的差异，相对较低的密度，海马苗种依然能有较高的存活率，这与胡培培等(2014)^[28]研究表明低密度放养的鳃幼鱼有较高的死亡率且生长缓慢的结果不一致，这可能是低密度的鳃幼鱼由于聚集困难从而导致对外界刺激不敏感、摄食不积极最终造成较高死亡率，而膨腹海

马在相对较低密度下，依然可以积极摄食从而保持较高存活率。培育密度对 60 日龄前膨腹海马苗种的生长速度具有显著性的影响，不同密度同期苗种体质量最大差异在 3 倍以上，早期阶段(1~30 日龄前)，培育密度 3.00~0.50 尾/L 范围内，密度越低生长速度越快，但当密度等于和低于 0.50 尾/L 时(即密度 0.50 尾/L 与 0.25 尾/L)，密度对生长速度没有显著影响；培育密度 3.00~5.00 尾/L 范围内，苗种生长速度均较慢，但没有显著差异。中期阶段(30~60 日龄)，培育密度 2.00~0.25 尾/L 范围内，密度越低生长速度越快，培育密度 2.00 尾/L~5.00 尾/L 范围内，苗种生长速度均较慢，但没有显著差异，这与一定范围内放养密度的增减对鱼类的生长没有影响相符^[29-30]。

表 4 不同养殖密度对 60 日龄以内膨腹海马海马幼鱼生长速度的影响

Tab. 4 Effects of different cultivation densities on growth rate of young *Hippocampus abdominalis* within 60 days

养殖密度 (尾·L ⁻¹)	第 30 天			第 60 天		
	成活率/%	全长/cm	体质量/g	成活率/%	全长/cm	体质量/g
0.25	94.7±4.6 ^a	8.11±0.80 ^a	0.68±0.21 ^a	73.3±11.5 ^a	10.54±1.13 ^a	1.59±0.63 ^a
0.50	93.2±3.1 ^a	8.23±0.43 ^a	0.64±0.10 ^a	70.7±12.1 ^a	10.07±1.06 ^b	1.29±0.49 ^b
1.00	94.6±2.3 ^a	7.26±0.69 ^b	0.40±0.12 ^b	83.8±4.8 ^a	9.38±0.94 ^c	0.89±0.29 ^c
2.00	92.4±4.8 ^a	6.50±0.55 ^c	0.28±0.07 ^c	78.0±7.7 ^a	8.35±1.10 ^d	0.64±0.23 ^d
3.00	95.2±2.0 ^a	6.09±0.64 ^d	0.23±0.07 ^d	78.2±11.0 ^a	8.38±0.75 ^d	0.56±0.17 ^d
4.00	92.8±3.1 ^a	6.01±0.58 ^d	0.22±0.07 ^d	78.1±5.9 ^a	8.25±0.57 ^d	0.47±0.10 ^d
5.00	93.9±4.1 ^a	6.02±0.46 ^d	0.22±0.06 ^d	80.3±3.9 ^a	8.25±0.38 ^d	0.47±0.08 ^d

注：同行数据肩标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

3 结论

本研究探讨了温度、配对方式与数量、养殖密度对膨腹海马生长、存活及生殖的影响，主要结论如下：

(1) 膨腹海马亲鱼适宜的繁殖水温范围为 16.0~19.0 ℃。

(2) 膨腹海马雌雄鱼比例控制在 1:1 至 2:3 的范围内繁殖效果最佳，产苗量相对较高。

(3) 综合考虑海马苗种生产场地、人力、水电等成本因素，膨腹海马苗种生产的早期阶段(30 日龄前)，最适培育密度为 0.50~1.00 尾/L，中期阶段(30~60 日龄)，最适培育密度为 0.25~0.50 尾/L。

参考文献：

- [1] 罗杰,李锋,刘皓,等.饵料对大海马幼鱼生长与存活影响[J].海洋湖沼通报,2018(4):140-147.
LUO J, LI F, LIU H, et al. Effects of bait on the growth and survival of juvenile *Hippocampus kelloggi* [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2018(4): 140-147.
- [2] DIAS T L, ROSA I L, BAUM J K. Threatened fishes of the world: *Hippocampus erectus* Perry, 1810 (Syngnathidae)[J]. Environmental Biology of Fishes, 2002, 65(3): 326.
- [3] Animals Committee of Johannesburg. Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora[J]. Journal of International Wildlife Law & Policy, 2005, 8(1):115-127.
- [4] LOURIE S A, VINCENT A C J, HALL H J. Seahorses: an identification guide to the world's species and their conservation[M]. London: Project

- Seahorse, 1999.
- [5] 廖静. 海马养殖规模化成趋势药物研究开启“黄金时代”[J]. 海洋与渔业, 2017(10): 59-60.
LIAO J. Large-scale cultivation of seahorses leads to "Golden Age" of drug research[J]. Ocean and Fishery, 2017(10): 59-60.
- [6] 刘富艳, 袁媛, 金艳, 等. 多重 PCR 同时鉴别 5 种药用海马[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(23): 4 562-4 568.
LIU F Y, YUAN Y, JIN Y, et al. Simultaneous identification of 5 species of medicinal seahorse by Multiplex-PCR[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2018, 43(23): 4 562-4 568.
- [7] 宁燕, 司夏丹, 潘霞, 等. 人工养殖大海马药用品质的分级评定研究[J]. 中国海洋药物, 2019, 38(4): 39-47.
NING Y, SI X D, PAN X, et al. Study on the grading and evaluation of the medicinal quality of cultured *Hippocampus kelloggi*[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2019, 38(4): 39-47.
- [8] 严家彬, 马润娣, 于立坚. 海马的药用价值[J]. 中国海洋药物, 2002, 21(6): 48-52.
YAN J B, MA R D, YU L J. Medicinal value of seahorses[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2002, 21(6): 48-52.
- [9] 陈信忠, 曾韵颖. 海马种类及其鉴定技术分析[J]. 中国口岸科学技术, 2020(12): 48-54.
CHEN X Z, ZENG Y Y. Analysis of species and identification techniques of seahorses[J]. China Port Science and Technology, 2020(12): 48-54.
- [10] 林华英. 环境因子对三斑仔海马生长的影响[J]. 水产科技情报, 1982, 9(4): 21-23.
LIN H Y. Effects of environmental factors on the growth of juvenile *Hippocampus trimaculatus*[J]. Fisheries Science and Technology Information, 1982, 9(4): 21-23.
- [11] 林强, 吕军仪, 张彬, 等. 大海马消化系统胚后发育的形态学及组织学研究[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(6): 46-51.
LIN Q, LV J Y, ZHANG B, et al. Morphological and histological studies on postembryonic development of digestive system of *Hippocampus kelloggi*[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2007, 26(6): 46-51.
- [12] 高淳仁, 王印庚, 马爱军, 等. 温度对大菱鲆幼鱼生长、成活率和体内蛋白酶活性的影响[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(6): 33-36.
GAO C R, WANG Y G, MA A J, et al. Effects of temperature on growth, survival rate and protease activity of juvenile *Scophthalmus maximus* [J]. Marine Fisheries Research, 2006, 27(6): 33-36.
- [13] NDONG D, CHEN Y Y, LIN Y H, et al. The immune response of tilapia *Oreochromis mossambicus* and its susceptibility to *Streptococcus iniae* under stress in low and high temperatures[J]. Fish and Shellfish Immunology, 2007, 22(6): 686-694.
- [14] 牟金婷, 谢尚端, 雍朋政, 等. 温度对大海马摄食行为及生长速率的影响[J]. 中国水产科学, 2017, 24(2): 355-361.
MU J T, XIE S D, YONG P Z, et al. Effect of temperature on feeding behavior and growth rate of the Yellow Seahorse, *Hippocampus kuda* Bleeker[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(2): 355-361.
- [15] 王海涛, 梁海永, 郑春波, 等. 线纹海马人工繁育与养殖技术[J]. 科学养鱼, 2019(8): 58-60.
WANG H T, LIANG H Y, ZHENG C B, et al. Artificial breeding and breeding technology of *Hippocampus erectus*[J]. Scientific Fish Farming, 2019(8): 58-60.
- [16] 王雨霏. 大菱鲆工厂化养殖与室外网箱养殖接力试验[J]. 河北渔业, 2019(12): 29-30.
WANG Y F. Relay experiment of factory culture and outdoor cage culture of *Scophthalmus maximus*[J]. Hebei Fisheries, 2019(12): 29-30.
- [17] VINCENT A C J, SADLER L M. Faithful pair bonds in wild seahorses, *Hippocampus whitei*[J]. Animal Behaviour, 1995, 50(6): 1 557-1 569.
- [18] MATTLE B, WILSON A B. Body size preferences in the pot-bellied seahorse *Hippocampus abdominalis*: choosy males and indiscriminate females [J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2009, 63(10): 1 403-1 410.
- [19] BAHR A, WILSON A B. The impact of sex-role reversal on the diversity of the major histocompatibility complex: insights from the seahorse (*Hippocampus abdominalis*) [J]. BMC Evolutionary Biology, 2011, 11: 121.
- [20] ANDREWS J W, KNIGHT L H, PAGE J W, et al. Interaction of stocking density and water turnover on growth and food conversion of channel catfish reared in intensively stocked tanks[J]. North American Journal of Aquaculture, 1971, 33(4): 197-203.
- [21] ALLEN K O. Effects of stocking density and water exchange rate on growth and survival of channel catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) in circular tanks[J]. Aquaculture, 1974, 4: 29-39.
- [22] FAGERLUND U H M, MCBRIDE J R, STONE E T. Stress related effects of hatchery rearing density on coho salmon[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1981, 110(5): 644-649.
- [23] SURESH A V, LIN C K. Effect of stocking density on water quality and production of red tilapia in a recirculated water system[J]. Aquacultural Engineering, 1992, 11(1): 1-22.
- [24] 逯尚尉, 刘兆普, 余燕. 密度胁迫对点带石斑鱼幼鱼生长、代谢的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 322-328.
LU S W, LIU Z P, YU Y. Effects of density stress on growth and metabolism of juvenile *Epinephelus coioides*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 322-328.
- [25] 刘晓勇, 齐茜, 王国峰, 等. 养殖密度对饲料驯化期西伯利亚鲟生长的影响[J]. 淡水渔业, 2012, 42(5): 79-82.
LIU X Y, QI Q, WANG G F, et al. Effects of culture density on growth of *Acipenser baerii* during feed acclimation[J]. Freshwater Fisheries, 2012, 42(5): 79-82.
- [26] SALAS-LEITON E, ANGUI S, MARTIN-ANTONIO B, et al. Effects of stocking density and feed ration on growth and gene expression in the Senegalese sole (*Solea senegalensis*): potential effects on the immune response[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2010, 28(2): 296-302.
- [27] 程佳佳, 李吉方, 温海深, 等. 养殖密度对杂交鲟幼鱼生长、肌肉组分和血液生理生化指标的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(3): 433-441.
CHENG J J, LI J F, WEN H S, et al. Effects of culture density on growth, muscle composition and blood physiological and biochemical indices of juvenile hybrid sturgeon[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(3): 433-441.

- [28] 胡培培, 樊启学, 刘汝鹏, 等. 初始放养密度对鳃幼鱼驯食及生长的影响[J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(4): 106-111.
HU P P, FAN Q X, LIU R P, et al. Effect of initial stocking density on the weaning and growth of juvenile yellowcheek carp[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2014, 33(4): 106-111.
- [29] PERSON-LE RUYET J, LABBÉ L, LE BAYON N, et al. Combined effects of water quality and stocking density on welfare and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquatic Living Resources, 2008, 21(2): 185-195.
- [30] HOSFELD C D, HAMMER J, HANDELAND S O, et al. Effects of fish density on growth and smoltification in intensive production of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. Aquaculture, 2009, 294(3): 236-241.

Artificial propagation and seedling technique of *Hippocampus abdominalis*

HE Libin¹, QI Jianfei¹, LIN Jinbo², CHEN Xinxin², LUO Huiyu¹, WANG Qing³, ZHENG Leyun^{1*}

(1. Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China;

2. Xiamen Xiaodeng Fisheries Science and Technology Co., Ltd., Xiamen 361103, China;

3. College of Marine Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to improve the breeding efficiency of seahorse, *Hippocampus abdominalis*, and understand the effects of temperature, pairing mode, stocking density and breeding density on the growth, survival and reproduction, we studied the effects of different temperatures and different sex ratios on the seedling yield, and the effects of different breeding densities on the growth and survival of the seedlings. The results showed that the suitable breeding water temperature for broodstock was 16–19 °C. The best ratio of male to female fish ranged from 1 : 1 to 2 : 3, resulting in relatively high seedling yield. In the early stage (within 30 days) the optimal density was 0.5–1.0 ind./L, whereas in the middle stage (between 30 and 60 days) it was 0.25–0.50 ind./L. Our study can be taken as scientific reference for artificial propagation and seedling in *H. abdominalis* rearing.

Key words: marine biology; *Hippocampus abdominalis*; artificial propagation; seedling cultivation; temperature; pairing ratio; seedling density

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.2022.04.016

(责任编辑:杜俊民)