

养殖密度对九孔鲍生长的影响

张朝晖 丛娇日 朱明远

(国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)

摘要 就放养密度对九孔鲍 (*Haliotis diversicolor supertexta*) 的生长及存活率的影响进行了 4 个月的养殖实验。实验结果显示:九孔鲍的生长明显地受到放养密度的制约。在 5 个实验密度组中(分别为每养殖笼中放养 35,40,45,50 和 55 个鲍)以低密度组的生长率为最高,达 118.57 $\mu\text{m}/\text{d}$ 。随着放养密度的增大,其生长率逐渐下降。但各密度组的存活率之间差异不显著。研究同时发现:九孔鲍的壳长与湿体质量的关系为: $W=0.000\ 093\ 605 \times L^{3.0395}$;每月一次对鲍壳长的测量会对该鲍的生长有明显影响,在同等养殖密度和养殖条件下,不进行测量的对照组生长率比实验组的高出 15.4% (16.25 $\mu\text{m}/\text{d}$);另外,九孔鲍的生长与水温也有明显关系,其生长的临界温度为 14.8 $^{\circ}\text{C}$ 。

关键词 密度,九孔鲍(*Haliotis diversicolor supertexta*),生长

中图分类号 S96 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)10-0010-05

九孔鲍 (*Haliotis diversicolor supertexta*), 广泛分布于我国台湾省东南部和日本南部的温暖水域,成鲍的壳长通常小于 10 cm,一般 5 cm 左右即可上市出售。九孔鲍具有肉味鲜美、质感细腻、价格较低以及生长快速、病害少等特点,近年来受到越来越多的消费者和养殖业者的喜爱,在香港等地的市场上售价为 320HK\$ / kg 左右^[1,2]。我国广东等省在 90 年代引进了此鲍并开始了大规模的养殖,但有关九孔鲍的研究却很少。

尽管对鲍的生长进行了很多研究,例如:黑鲍 (*Haliotis cmchewdii*), 皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hannai*), 绿鲍 (*Haliotis fulgens*), 新西兰虹鲍 (*Haliotis iris*), 疣鲍 (*Haliotis tuberculata*), 光滑鲍 (*Haliotis laevigata*), 桔红鲍 (*Haliotis nuber*), 红鲍 (*Haliotis rufescens*), 中间鲍 (*Haliotis midae*), 堪察加鲍 (*Haliotis kamtschatkana*)^[3-15]。但密度因子作为造成生长差异的真正原因则较少得以研究。在为数不多的研究中,各研究结论也大相径庭。而 Greenier 和 Takekawa^[6]在对自然海域内的红鲍生长研究中发现高、中、低三个密度组之间的生长差异不显著。Duros 在对黑鲍的生长研究中发现:其生长率有被密度所影响的迹象,但在高密度组与低密度组之间的差异是不显著的^[4]。McShane 和 Naylor^[10]在对新西兰虹鲍研究中发现,高密度组与低密度组之间的生长没有任何差异,他们认为降低放养密度并不能提高虹鲍的生长率和存活率。而 Mgaya 和

Mercur^[11]等人在对疣鲍的研究中却发现,其生长率与养殖密度之间呈现出下降的指数关系。

为了明确九孔鲍的生长与放养密度之间的关系,探讨合适的九孔鲍放养密度,作者进行了本实验。

1 材料与方 法

1.1 材料来源与实验设计

实验所用的九孔鲍和饵料细基江蓠 (*Gmclania tenuispiritata*) 均由深圳市南澳海珍品发展有限公司提供。本实验共设有 5 个密度组,放养密度分别为每养殖笼放养 35,40,45,50 和 55 个鲍,以单位面积计算分别为:80,91,103,114 和 125 个 / m^2 ,各密度组均设 10 个重复组。每个实验密度组随机选用 22.1 ~ 42.5 mm 的幼鲍,放入黑色的 PVC 养殖笼 (39 cm \times 31 cm \times 14 cm) 内饲养。另外还设有对照组一个,放养密度为 45 个 / 笼,该组用以评估每月的测量工作对鲍生长所产生的干扰。

1.2 标记与测量

实验所用的鲍先用干纸巾拭干贝壳上的水之

第一作者:张朝晖,出生于 1970 年,助理研究员。E-mail: zhangzh@public.qd.sd.cn

收稿日期:2002-05-15;修回日期:2003-08-05

后,滴一小滴“AA”超能胶并立即贴上带有数字的防水标记纸签,轻压标记签的边缘即可。壳长的测量是以“SWISS”卡尺测量从壳前缘的呼吸孔到壳后缘的最长距离,精确到0.1 mm。体质量的测量是用干毛巾轻轻拭去鲍体表海水后,并轻轻挤压鲍直到呼吸孔无水排出,用天平称量并精确到0.1 g。各密度组每月测量一次壳长,并检查死亡情况,对死亡的个体每月定期进行补充,以减少密度变化对实验的影响。对照组则在实验开始与结束时各测量一次壳长。

1.3 养殖条件及日常管理

各密度组均放入同一个6.8 m×2.3 m×1.8 m的养殖池中,同池放养的还有其它非实验用鲍。每密度组之间均以密度为每笼45个的非实验用养殖组间隔,以免各密度组之间互相有所影响。海水经两次砂滤,以每分钟60~80 L的流速流水饲养。每4天投喂足量冲洗干净的新鲜江蓐,同时完全换水、清污。

实验从1996年10月到1997年2月共进行了4个月。实验期间用“Hiroba, U10”水质自动分析仪监测水质。水温为26.8~15.5℃,pH值为7.75~8.41,盐度33.4~34.8。在养殖池上方有遮光帘遮光,以免阳光直射,自然光周期。

1.4 数据处理与统计分析

本实验以壳长作为生长参数,各密度组中补替死亡的新个体的生长数据不被使用。其生长率 R_G ($\mu\text{m}/\text{d}$)、特定生长率 R_{SG} 、死亡率 R_M 的计算公式分别为:

$$R_G = 1000(L_2 - L_1) / T, R_{SG} = (\ln L_2 - \ln L_1) / T, R_M = T_M / N \times 100\%$$

其中 L_2 为实验结束时的壳长, L_1 为实验开始时的壳长, T 为实验天数, T_M 为总死亡个数, N 为总放养数。

先对各密度组鲍的生长率与初体长作相关分析,没有发现二者之间具有明显的关系($P > 0.05$),所以生长率数据仅经ANOVA方差分析。对照组与D45密度组之间生长的差异用 t 检验进行检查。

2 结果

2.1 壳长与体质量的关系

在实验过程中,通过对不同大小的九孔鲍取样测量,分别记录其壳长与湿体质量。数据经 $\ln X$ 转换之后做线性回归,得到的九孔鲍的壳长与湿体质量关系方程: $W = 0.000093605 \times L^{3.0395}$, $n = 261$, $r^2 = 0.988$,其中 W 为鲍的湿体质量(g), L 为鲍的壳长(mm)。

从上面的分析可以看出:九孔鲍的壳长与湿体质量

量之间有着明显的相关性,其线性回归见图1。

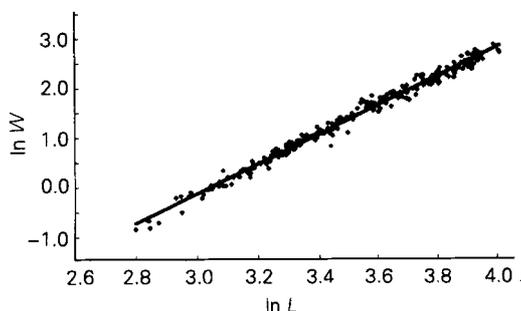


图1 九孔鲍的湿体质量与壳长的关系

Fig.1 The relationship of wet body weight and shell length of *H. diversicolor supertexta*. W means the wet body weight (g) and L means the shell length (mm) of abalone.

2.2 密度与生长

经过4个月的实验之后,5个密度组的鲍壳长分别比实验开始时净增加了15.18 mm(35个/笼),13.32 mm(40个/笼),12.96 mm(45个/笼),11.64 mm(50个/笼)和12.00 mm(55个/笼),鲍壳长的净增加量(即累计生长)见图2。从上述结果和图2中可以看出:随着放养密度的增高,九孔鲍壳长的净增加量也变得越小。放养密度和鲍壳长的净增加量之间呈现出一种很明显的负相关趋势。

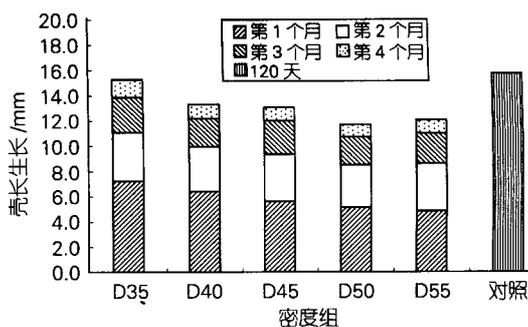


图2 4个月期间各密度组与对照组的壳长增长

Fig.2 The growth of *H. diversicolor supertexta* of various densities in shell length (mm) in four months

在这5个实验密度组中,平均的壳长生长率以每笼35个鲍的实验组为最高,达118.57 $\mu\text{m}/\text{d}$,其次为40个/笼(105.66 $\mu\text{m}/\text{d}$),45个/笼(105.37 $\mu\text{m}/\text{d}$),55个/笼(99.19 $\mu\text{m}/\text{d}$),最低的是每笼50个鲍的密度

组,仅为 94.57 $\mu\text{m}/\text{d}$ 。该生长率的趋势与壳长净增加量的走势相同,也呈现出随着放养密度的增加,平均的壳长生长率逐渐下降的趋势。

为了探求放养密度与生长之间的关系,作者对九孔鲍壳长的生长与放养密度之间做了线性分析,得到的相关方程如下:

$$Y = -0.1608X + 20.256, R^2 = 0.8391,$$

X 为放养密度, Y 为壳长的平均净生长(mm)。

分析结果表明:在鲍壳长生长与放养密度之间呈现出一种下降的线性关系,生长率随着放养密度的增加而呈直线型下降。

2.3 测量对鲍生长的影响

从图 2 中,我们可以发现: D45 组与对照组之间,尽管它们的放养密度相同,但无论它们的壳长净增加量还是生长率之间的差距都很明显。对照组的生长率要比 D45 组的生长率高出 15.4%(16.25 $\mu\text{m}/\text{d}$)。为了估算测量工作给鲍生长所带来的影响,作者对 D45 组与对照组之间的生长率进行了 t 检验,检验结果表明,对照组与 D45 密度组间的生长率差异是显著的($t = 2.621, P < 0.05$),也就是说,每月一次的测量鲍壳长的工作对该鲍的生长所产生的影响都很显著。

2.4 生长与水温的关系

从 1996 年 10 月到 1997 年 2 月的 4 个月实验过程中,海水温度是逐渐下降的,由最高的 26.8 $^{\circ}\text{C}$ 到最低的 15.5 $^{\circ}\text{C}$,4 个月的平均水温分别为 25.0、20.3、18.3 和 17.6 $^{\circ}\text{C}$ 。在 4 个月的过程中,各个密度组的月平均壳长净增长也呈现出明显的下降趋势,各组每月壳长的净增长和养殖水温参见图 3。

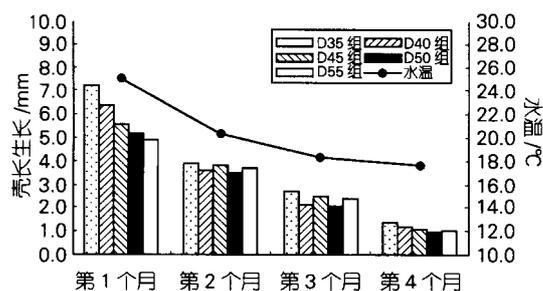


图 3 每月水温与各密度组的生长

Fig. 3 The water temperature and growth of *H. diversicolor superata* in shell length during four months period

在 4 个月的实验中,除了水温的变化以外,其它的养殖条件基本上保持不变。而且没有发现九孔鲍的

初壳长(22.1 ~ 42.5 mm)与生长具有明显的相关性,可以认为初壳长不是影响鲍每月生长率下降的主要因素。所以,作者利用统计分析对鲍的生长率和环境水温进行了分析,结果表明在二者之间存在着极显著的相关:

$$Y = 0.5936X - 8.7951, R^2 = 0.9506,$$

Y 为九孔鲍壳长的净增长($\text{mm}/\text{月}$), X 为饲养期间的水温。

从该关系式可以看出:水温与生长之间具有明显的关系;而且可以计算得出,当生长率为零时的水温为 14.8 $^{\circ}\text{C}$ 。该水温即九孔鲍生长的临界温度,只有当环境中的水温高于该值时,九孔鲍才开始生长。当水温低于 14.8 $^{\circ}\text{C}$ 时,该鲍的生长则趋于停止。但由于本实验中的最低水温为 15.5 $^{\circ}\text{C}$,故而作者没有观察到水温低于 14.8 $^{\circ}\text{C}$ 时九孔鲍的真实生长状况。

2.5 密度与死亡率

在为期 4 个月的实验过程中,作者对各个密度组的死亡率也进行了统计。各个实验组的平均死亡率都较正常情况下高,分别为:10%、20.25%、12.44%、21.56%和 11.36%。由于各密度组内的死亡率差异较大,所以统计分析没有发现在各密度组之间存在明显的差异(ANOVA: $F = 0.7293, P = 0.577$)。各密度组内差异较大的原因,主要是在测量过程中受伤的鲍很容易因感染细菌而死亡。这样就具有了很大的随机性,因而组内方差较大,统计分析不能检测出各组间的差异。

2.6 放养密度与生产效率

根据实验中九孔鲍的壳长生长率及壳长与体质量的关系,作者计算了各密度组的日增加生物量,估算各个密度组的实际生产效率,见表 1。每日增加的生物量(P)公式如下:

$$P = G \times N / T,$$

其中 G 为九孔鲍体质量增加数(g), N 为养殖密度, T 为实验天数。

参阅表 1 中的有关实验数据,可以看出每日生物

表 1 各密度组的日增加生物量

Tab. 1 The daily increment of abalone biomass of each density group

各密度组	生长率 ($\mu\text{m}/\text{d}$)	N (个/笼)	G (g)	T (d)	P (g/d)
D35 组	118.57	35	7.26	128	1.99
D40 组	105.66	40	4.95	126	1.57
D45 组	105.37	45	5.36	123	1.96
D50 组	94.57	50	4.25	123	1.73
D55 组	99.19	55	4.47	121	2.03
对照组	121.62	45	7.46	129	2.60

量的增加以 55 个/笼的密度组为最高,即在各密度组死亡率没有差别的情况下,以每笼养殖 55 个鲍的日增加生物量为最高。

3 讨论

在大规模集约化的养殖条件下,密度因子是影响鲍生长的一个非常重要的因子。密度因子对鲍生长的影响主要通过两种途径而产生作用:一是在个体之间直接对空间和食物的竞争;二是通过对周围水环境的影响(如水中的氨氮、溶解氧等)反作用于自身的生长。在养殖条件下,当养殖笼中的放养密度过高时,使得笼内的鲍难以移动到有食物的地方,从而降低了摄食率,尽管投喂过量的饵料,仍使得食物的可得性成为鲍生长中的限制性因子。另外,鲍对周围水环境的影响也是影响生长的一个很重要方面。

Mgaya 和 Mercer^[1]在对疣鲍的研究中发现,鲍的生长与放养密度存在着一种下降的指数关系,而且在实验期间的整体死亡率与放养密度并无关系。在本实验中也发现,九孔鲍的生长与放养密度呈现出明显的线性负相关($R^2 = -0.8391$, $P = 0.029$)。

但 McShane 和 Naylor^[10]等认为密度因子对鲍的生长是没有明显影响的。他们对此的解释为:鲍表现出类似于滤食性动物的等待式摄食模式,因此鲍的生长和营养状态都类似于滤食性贝类(如大部分的双壳类)。一般说来,不易受密度因子的影响,而能表现出密度制约性生长的腹足类通常为牧食者或是食腐者。对于新西兰虹鲍(*Haliotis*)及其它种类的成鲍而言,由于主要摄食漂浮性藻类,因此其摄食的几率是由食物的可获得性来决定的^[4]。对他们的实验来说,这种获得食物的几率是较低的,因此在低密度组与高密度组之间的生长并没有表现出差异。但作者却认为:这种密度-生长实验具有不同结果的主要原因是由各个实验的设计与所用方法不同而造成的。可以在以下几个方面进行考虑和探讨:(1) 实验中的密度梯度设定是否合理;(2) 实验所用鲍的种类及大小是否合适;(3) 其它的实验条件是否会影响到实验的结果。

在本实验中密度梯度的设计是以深圳市海珍品发展有限公司现在的养殖密度(45 个/笼)为参考依据而设计的;而在 McShane 和 Naylor^[10]的实验中,其实验密度的设置是模拟自然水域中曾经遇到的最高密度,并依此而设定的高密度组(约 15 个/ m^2)与低密度组(约 0.3 个/ m^2),且实验是在自然海区中进行的,这与在养殖条件下的密度效应是不相同的。在养殖条

件下,由于其放养的密度要较自然海区高出许多倍,所以这种密度的作用效果将被加强。

实验用鲍的个体大小也会影响到实验结果^[2]。本实验中所用的鲍为较小的个体,其壳长范围为 22.1 ~ 42.5 mm;而在 McShane 和 Naylor^[10]的实验中所用的鲍是个体较大的成鲍,而且鲍个体之间的壳长差异也非常大(其壳长范围为 22 ~ 165 mm)。这样在实验中鲍的初体长就会对生长有所影响,而这种影响有可能会使密度对生长的作用结果减弱或者表现不出来。同时,成鲍的生长率要明显比幼鲍的生长率低,这也使得密度对生长的影响结果变得不显著。

另外,实验中的其它因素也会影响到实验的结果。例如:实验重复的设置;实验地点的选择;在实验过程中饵料的供应是否充足等等。据 Searcy Bernal^[16]有关统计权(Statistical Power)的论述,当实验结果的差异不显著时,还要运用统计权做进一步的分析,只有当 Power 值很高时(通常要求 $Power > 0.8$),即我们拒绝了一个正确结论的概率很小时,才能认为实验因子对结果是没有影响的。而对于重复样较小的实验,ANOVA 也不易检测出差异性。同样,在自然海区与养殖池内进行实验也是不一样的。在自然海区,由于海水的运动以及系统的开放性,密度因子对生长的间接作用几乎不存在,所以密度因子对生长的作用有可能被削弱。另外,当实验中饵料不充足时,鲍的生长就会首先受到饵料供应的制约,这时饵料则成为生长的限制性因子。密度因子的作用在较慢的生长率中就不易表现出来。所以对于密度-生长的实验研究,实验的设计安排是非常重要的。

参考文献

- 1 Oakes F R, Ponte R D. The abalone market: Opportunities for cultured abalone. *Aquaculture*, 1996, 140: 187-195
- 2 Peng S C, Shao K T, Chang K H. Age and growth of small abalone, *Haliotis diversicolor supertexta* (Lischke), in Hualien, Taiwan. *Bull Inst Zool, Academia Sinica*, 1984, 23(1): 29-38
- 3 Aviles J G G, Shepherd S A. Growth and survival of the blue abalone *Haliotis fulgens* in barrels at Cedros Island, Baja California, with a review of abalone barrel culture. *Aquaculture*, 1996, 140: 169-176
- 4 Day R W, Fleming A E. The determinants and measurement of abalone growth. In: Shepherd S A, Tegner M J, Guzmán del Prío S A (Editors). *Abalone of the World: The First International Symposium on Abalone Biology, Fisheries and Culture*. Oxford: Fishing News Books, 1992. 141-167

- 5 Fleming A E. Growth, intake, feed conversion efficiency and the sensory preference of the Australian abalone, *Haliotis rubra*. *Aquaculture*, 1995, 132(3-4): 297-311
- 6 Greenier J L, Takekawa J Y. Growth models and food conversion of cultured juvenile red abalone (*Haliotis rubescens*). In: Shepherd S A, Tegener MJ, Guzmán del Pró S A (Editors). *Abalone of the World: The First International Symposium on Abalone Biology, Fisheries and Culture*. Oxford: Fishing News Books, 1992. 527-537
- 7 Hahn K O. Nutrition and growth of abalone. In: Kirk O H. (Editor). *Handbook of Culture of Abalone and Other Marine Gastropods*. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc, 1989. 135-154
- 8 Knauer J, Britz P J, Hecht T. Comparative growth performance and digestive enzyme activity of juvenile South African abalone, *Haliotis midae*, fed on diatoms and a practical diet. *Aquaculture*, 1996, 140: 75-85
- 9 Leighton D, Boolootian R A. Diet and growth in the black abalone *Haliotis cmcheroalii*. *Ecology*, 1963, 44(2): 227-238
- 10 McShane P E, Naylor J R. Density independent growth of *Haliotis iris* Martyn (Mollusca: Gastropoda). *J Exp Mar Biol Ecol*, 1995, 190: 51-60
- 11 Mgaya Y D, Mercer J P. The effects of size grading and stocking density on growth performance of juvenile abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus. *Aquaculture*, 1995, 136: 297-312
- 12 Saito K. The appearance and growth of 0-year-old Ezo abalone. *Bulletin of the Japanese Scientific Fisheries*, 1981, 47(11): 1393-1400
- 13 Shepherd S A, Hearn W S. Studies on Southern Australian Abalone (Genus *Haliotis*). IV Growth of *Haliotis laevigata* and *Haliotis ruber*. *Aust J Mar Freshw Res*, 1983, 34: 461-475
- 14 Stuart M T, Brown M T. Growth and diet of cultivated black-footed abalone, *Haliotis iris* (Martyn). *Aquaculture*, 1994, 127: 329-337
- 15 Taylor B E. Effect of recombinant vertebrate growth hormones on growth of adult abalone, *Haliotis kamtschatica*. *Aquaculture*, 1996, 140: 153-158
- 16 Searcy-Bernal R. Statistical power and aquacultural research. *Aquaculture*, 1994, 127: 371-388

THE EFFECT OF CULTURE DENSITY ON THE GROWTH OF ABALONE, *Haliotis diversicolor supertexta*

ZHANG Zhao Hui CONG Jiao Ri ZHU Mng Yuan
(The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao, 266061)

Received: May, 15, 2002

Key Words: Density, Abalone, Growth

Abstract

A four month's growth experiment was conducted at Nan'ao Sea Products Development Co., Ltd., Shenzhen. In the five density treatments, 35, 40, 45, 50, 55 ind./ cage, the highest growth rate (118.57 μ m/ day) was present in 35 ind./ cage; and there was no difference among the survival rates. The relationship between wet body weight and shell length was also found: $W = 0.000\ 093\ 605 \times L^{3.0395}$. This study also found that the measurement of shell length would affect the growth of abalone, the growth rate of control group was 15.4% higher than that of D45 group; meanwhile, the critical growth temperature of *Haliotis diversicolor supertexta* was 14.8 $^{\circ}$ C.

(本文编辑:刘珊珊)