

不同饵料对黑鲍幼鲍生长及存活的影响

张汉华¹, 李敏^{1,2}, 朱长波¹, 吴进锋¹, 陈利雄¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300; 2. 上海水产大学, 上海 200090)

摘要: 本实验研究了裂片石莼 (*Ulva fasciata*)、龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*)、海带 (*Laminaria japonica*)、细基江蓠繁枝变种 (*Gracilaria tenuistipitata*)、舌状蜈蚣藻 (*Grateloupia livida*) 和人工配合饲料 6 种饵料对黑鲍 [*Haliotis discus hannai* Ino] (♀) × [*Haliotis discus discus* Ino] (♂) 幼鲍存活和生长的影响。将 6 种饵料随机分成 6 组, 每组 3 个重复, 每个重复饲养黑鲍 20 只。实验幼鲍的初始体长、体质量分别为 (12.29 ± 0.03) mm、 (0.223 ± 0.002) g, 实验为期 35 d。实验结果如下: (1) 不同饵料对幼鲍的存活率有显著影响 ($P < 0.05$), 且由大到小依次为海带组、人工配合饲料组、龙须菜组、蜈蚣藻组、江蓠组和石莼组。其中海带组、人工配合饲料组的存活率显著大于其他海藻组 ($P < 0.05$); (2) 不同饵料对幼鲍的生长有显著影响 ($P < 0.05$), 6 种饵料组的幼鲍的特定生长率 (SGR) 由大到小依次为人工配合饲料组、海带组、江蓠组、石莼组、龙须菜组和蜈蚣藻组。其中人工配合饲料组、海带组的 SGR 显著大于其他饵料组 ($P < 0.05$)。壳长增长率、湿重增长率、干重增长率亦呈现相似趋势。实验结束时, 蜈蚣藻组的体质量呈现负增长; (3) 幼鲍对不同饵料的转化效率存在显著差异 ($P < 0.05$), 幼鲍对人工配合饲料的转化效率是最大。实验结果表明人工配合饲料和海带是黑鲍养殖生产上最佳的选择。[中国水产科学, 2007, 14 (6): 903–910]

关键词: 饵料; 黑鲍幼鲍; 生长; 存活率

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1005–8737–(2007)06–0903–08

近几年来, 随着中国南方九孔鲍 (*Haliotis diversicolor*) 工厂化养殖规模及密度的不断扩大, 病害问题已经成为制约鲍养殖业发展的重要因素之一。滥用药物不但造成鲍的抗病力及品质的下降, 而且在其体内形成药物残留。因此, 尝试用抗病力较强的品种来替代目前的主要养殖品种是摆脱当前养殖困境的出路之一。黑鲍, 即皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hannai* Ino) (♀) 和日本盘鲍 (*Haliotis discus discus* Ino) (♂) 的杂交后代, 壳型略似皱纹盘鲍, 但体螺层高低明显, 有 4~5 个与外界相通的壳孔, 是中国鲍中个体较大的种类之一^[1]。黑鲍作为新培育的养殖品种, 具有适温范围广、生长快、抗病能力强等优点, 已逐渐在南方沿海养殖业中发展起来, 有望成为九孔鲍的替代品种。

饵料是关系到鲍养殖成败的关键因素之一。鲍为植物食性动物, 喜欢舐食新鲜海藻, 主要有褐藻类、绿藻类和红藻类。由于分布的地理区域的不同, 鲍主食的海藻也不同。如皱纹盘鲍较喜食褐藻类的海带 (*Laminaria japonica*)^[2], 虹鲍 (*Haliotis iris*) 较喜食红藻类^[3]。随着鲍养殖业的发展, 海藻的产

量供不应求^[4], 难以满足市场的需要, 因此鲍用人工配合饲料应运而生。在鲍养殖过程中, 饵料起着至关重要的作用。目前国内外均已开展了有关人工配合饲料和海藻对鲍养殖效果的研究^[4–10], 但尚未见对黑鲍饵料研究的报道。为此, 本实验选择在南方海域中较常见的裂片石莼 (*Ulva fasciata*)、龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*)、海带 (*Laminaria japonica*)、细基江蓠繁枝变种 (*Gracilaria tenuistipitata*)、舌状蜈蚣藻 (*Grateloupia livida*) 5 种海藻与人工配合饲料 (台湾产东立牌鲍饲料) 对黑鲍幼鲍的生长及存活的影响, 旨在为黑鲍的养殖生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验用鲍及饵料的来源

实验用幼鲍选自广东省惠来县金佳水产养殖有限公司。实验所用的 6 种饵料分别为裂片石莼 (下称石莼) [含水量 $(80.00 \pm 5.26)\%$ 、蛋白含量 $(3.86 \pm 0.68)\%$]、龙须菜 [含水量 $(83.70 \pm 4.78)\%$ 、蛋白含量 $(3.12 \pm 0.74)\%$]、海带 [含水量 $(93.25 \pm$

收稿日期: 2007–01–30; 修订日期: 2007–05–08.

基金项目: 广东省科技计划项目 (2004B20301015), 中国水产科学研究院水产种质资源与养殖技术重点开放实验室基金项目 (2005A010), 广东省科技计划项目 (2006B20301030).

作者简介: 张汉华 (1963–), 男, 研究员, 主要从事水产养殖技术研究. E-mail: zhh502@163.com

6.87%)%、蛋白含量(1.09±0.36)%]、细基江蓠繁枝变种(下称江蓠)[含水量(87.35±5.02)%、蛋白含量(2.74±0.89)%]、舌状蜈蚣藻(下称蜈蚣藻)[含水量(83.30±4.38)%、蛋白含量(2.34±0.95)%]和人工配合饲料[含水量(5.00±0.52)%、蛋白含量(26.13±1.06)%]。其中人工配合饲料为台湾产东立牌(TungLi Feed)鲍配合饲料,江蓠采自广东省湛江,其余4种海藻均采自广东省汕头市南澳岛。

1.2 实验养殖设施及条件

实验在广东省惠来县金佳水产养殖有限公司实验室内完成。幼鲍饲养在水族箱(50.0 cm×37.5 cm×29.5 cm,水体35 L),在水族箱底部放置1块四角方砖(25 cm×25 cm)供鲍栖息。实验采用静水连续充气系统;人工配合饲料处理组每天全换水1次,其他海藻处理组每2天全换水1次;实验水温15.4℃~20.0℃;海水盐度32~34;所用海水用过滤布过滤;水族箱内溶解氧保持在6.5 mg/L以上;光照采用室内自然光。

1.3 实验设计

在养殖实验开始前,先随机挑选健康、活力好的幼鲍并分放入水族箱内进行为期7 d的驯化,使其适应新的养殖环境。驯化设6个组(即每个处理组投喂一种饵料),每组3个重复,共用18个水族箱。水族箱的排列采用完全随机区组设计。驯化时每个水族箱放幼鲍35只。每个实验组分别投喂单一饵料——石莼、龙须菜、海带、江蓠、人工配合饲料和蜈蚣藻。饵料投喂量以黑鲍湿体质量的5%为基准^[11]。饵料均在17:00左右投喂,在次日上午7:00左右收集水族箱内的残饵并全换水。与新鲜海藻相比,人工配合饲料在水中浸泡时间过长会因大量溶失而降低水质,故海藻每2天投喂1次,人工配合饲料为每天投喂1次。

驯化结束后,停食24 h,然后将每组黑鲍称重。称重时先用吸水纸擦干鲍体表水分,然后用电子天平称量,精确至0.001 g。每组选取壳长和体质量相近的幼鲍65只,共390只,初始壳长和体质量分别为(12.29±0.03) mm和(0.223±0.002) g。其中,从每组随机挑选5只为样品幼鲍,在65℃下烘干至恒重,用于计算实验开始时幼鲍的水分含量;每组剩下的60只幼鲍为实验鲍,平均分配到该组的3个水族箱(20只/箱)中饲养。饲养方法与驯化阶段相同。实验持续35 d。实验期间发现死鲍及时清理并做好记录。实验结束时,分别称量每个实验组黑鲍

的壳长和体质量。

1.4 样品的收集和测定

实验用的每种饵料随机取样,用于分析饵料的水分含量。实验期间还对人工配合饲料进行溶失实验,用于校正收集的残饵量。实验结束后,幼鲍先停食24 h,然后用烘箱在65℃烘干至恒重。饵料和幼鲍的水分含量以烘干前后重量的减少量为准,所有样品的粗蛋白含量均用凯氏定氮法测定。

1.5 计算方法

实验期间黑鲍幼鲍的壳长增长率(Length growth rate, LGR)、增重率(Weight growth rate, WGR)、特定生长率(Specific growth rate, SGR)、摄食量(Food intake, FI)和饵料转化效率(Food conversion efficiency, FCE)的计算公式如下:

$$\text{LGR}(\%) = 100 \times (L_t - L_0) / L_0$$

$$\text{WGR}(\%) = 100 \times (W_t - W_0) / W_0$$

$$\text{SGR}(\%/\text{day}) = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / T$$

$$\text{FI} = (\text{FI}_2 - \text{FI}_1) / K; K = C_2 / C_1^{[12-13]}$$

$$\text{FCE}(\%) = 100 \times (W_t - W_0) / C^{[14]}$$

式中: L_t 和 L_0 分别表示幼鲍终末和起始壳长(cm), W_t 和 W_0 分别表示幼鲍终末和起始体质量(g), T 为实验持续时间(d), FI_2 为饵料的投喂量(g), FI_1 为饵料的剩余量(g), K 表示饵料自重变化系数, C_1 、 C_2 分别表示对照组中该饵料在实验开始和实验结束时的质量(g)。在本实验中,饵料自重的变化系数只应用于黑鲍对人工配合饲料的摄食量,而实验所用的其他饵料均为新鲜海藻,其溶失变化忽略不计,故 K 值取1。 C 表示实验期间黑鲍的总摄食量(g)。

以湿质量、干质量表示的WGR、SGR、FI分别以 WGR_w 、 SGR_w 、 FI_w 和 WGR_d 、 SGR_d 、 FI_d 表示;以干重、蛋白质表示的FCE分别以 FCE_d 、 FCE_p 表示。

1.6 统计分析

数据以平均值±标准误($\bar{X} \pm \text{SE}$)表示,实验结果用SPSS 12.0进行处理,在ANOVA单因子方差分析的基础上,采用Duncan's多重比较检验组间差异,当 $P < 0.05$ 时认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 幼鲍的存活率

幼鲍在生长实验期间的存活率如图1所示。不同饵料处理下黑鲍的存活率由大到小依次为海带组、人工配合饲料组、龙须菜组、蜈蚣藻组、江蓠组、石莼

组。海带组、人工配合饲料组的幼鲍的存活率显著高于其他饵料组 ($P < 0.05$); 石莼组的存活率最低, 但

是与江蓠组的差异不显著 ($P > 0.05$); 龙须菜组、蜈蚣藻组和江蓠组之间的差异不显著 ($P > 0.05$)。

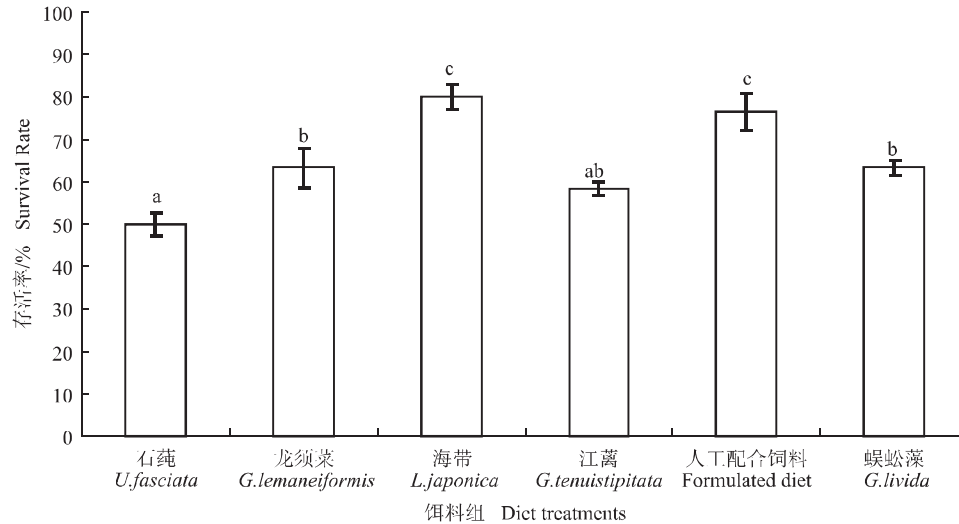


图 1 不同饵料处理下的黑鲍的存活率 ($n = 3$)

注: 标注不同字母的两项间差异显著 ($P < 0.05$)。

Fig. 1 Survival rate of black abalone under different diet treatments during the experiment

Note: Columns with different letters are significantly different ($P < 0.05$), and bars indicate standard errors ($n = 3$).

2.2 黑鲍幼鲍的生长

各组幼鲍的壳长、湿质量和干质量在实验开始时基本一致,但在实验结束时,各组的壳长、湿质量和干质量均出现显著差异 ($P < 0.05$) (见表 1)。各组幼鲍的壳长增长率 (LGR)、湿质量增长率 (WGR_w) 和干质量增长率 (WGR_d) 也表现出显著差异 ($P < 0.05$)。从图 2 可见,人工配合饲料组、海带组的 LGR 均显著高

于其他饵料组 ($P < 0.05$); 蜈蚣藻组的 LGR 最小,且与其他饵料组有显著差异 ($P < 0.05$); 江蓠组、石莼组和龙须菜组的 LGR 介于人工配合饲料组、海带组和蜈蚣藻组之间,而这 3 组之间差异不显著 ($P > 0.05$); 各实验组的 WGR_w 、 WGR_d 亦呈相似的趋势。实验结束时,蜈蚣藻组的 WGR_w 和 WGR_d 均为负值,即幼鲍的体质量呈现负增长。

表 1 用不同饵料处理下的黑鲍的壳长、湿质量和干质量的变化

Tab.1 Change of shell length, wet weight and dry weight of black abalone under different diet treatments during the experiment

$n = 3; \bar{X} \pm SD$

饵料 Diet treatments	实验初始 Initial			实验结束 Final		
	L/mm	WW/g	DW/g	L/mm	WW/g	DW/g
石莼 <i>U. fasciata</i>	12.31 ± 0.04	0.225 ± 0.002	0.097 ± 0.001	13.69 ± 0.07 ^{bc}	0.278 ± 0.006 ^b	0.127 ± 0.003 ^b
龙须菜 <i>G. lemaneiformis</i>	12.20 ± 0.03	0.216 ± 0.004	0.093 ± 0.002	13.24 ± 0.32 ^{ab}	0.254 ± 0.015 ^b	0.115 ± 0.007 ^b
海带 <i>L. japonica</i>	12.19 ± 0.01	0.217 ± 0.003	0.093 ± 0.001	14.52 ± 0.20 ^c	0.340 ± 0.005 ^c	0.152 ± 0.005 ^c
江蓠 <i>G. tenuistipitata</i>	12.28 ± 0.07	0.225 ± 0.005	0.096 ± 0.002	13.76 ± 0.07 ^{bc}	0.280 ± 0.003 ^b	0.127 ± 0.002 ^b
人工配合饲料 formulated diet	12.35 ± 0.03	0.231 ± 0.004	0.099 ± 0.002	15.07 ± 0.10 ^d	0.398 ± 0.010 ^d	0.177 ± 0.005 ^d
蜈蚣藻 <i>G. livida</i>	12.38 ± 0.01	0.225 ± 0.002	0.097 ± 0.001	12.68 ± 0.11 ^a	0.203 ± 0.002 ^a	0.094 ± 0.002 ^a

注: 同一列中不具相同字母标记的数值间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Values without same letter in the same column are significantly different from each other ($P < 0.05$).

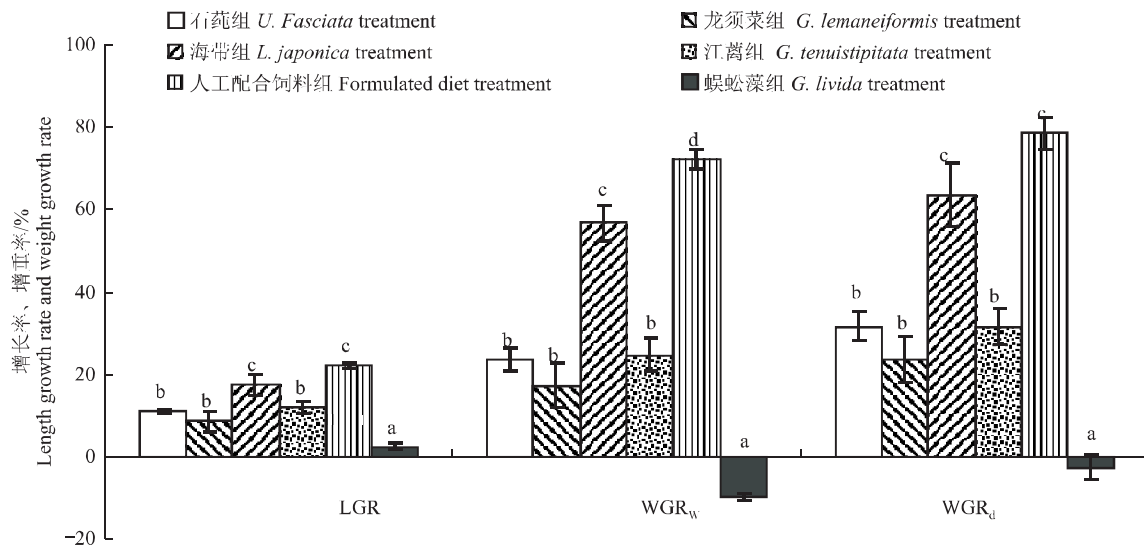


图2 不同饵料处理下黑鲍的壳长增长率、增重率 ($n=3$)

注:图中标有不同字母的表示差异显著 ($P<0.05$)。

Fig.2 Length growth rate (LGR) and weight growth rate (WGR) of black abalone under different diet treatments

Note: Different letters above denote significant differences ($P<0.05$) among columns in the same cluster, and bars indicate standard errors ($n=3$).

不同饵料对黑鲍幼鲍的特定生长率 (SGR) 的影响结果如图3所示。人工配合饲料组、海带组的 SGR_w 显著高于其他饵料组 ($P<0.05$)；蜈蚣藻组的 SGR_w 显著低于其他5种饵料组 ($P<0.05$)，且为负

值；江蓠组、石莼组和龙须菜组的 SGR_w 介于人工配合饲料组、海带组和蜈蚣藻组之间，且这3组之间不存在显著差异 ($P>0.05$)。以其他形式表示的特定生长率 (SGR_d) 亦呈相似趋势。

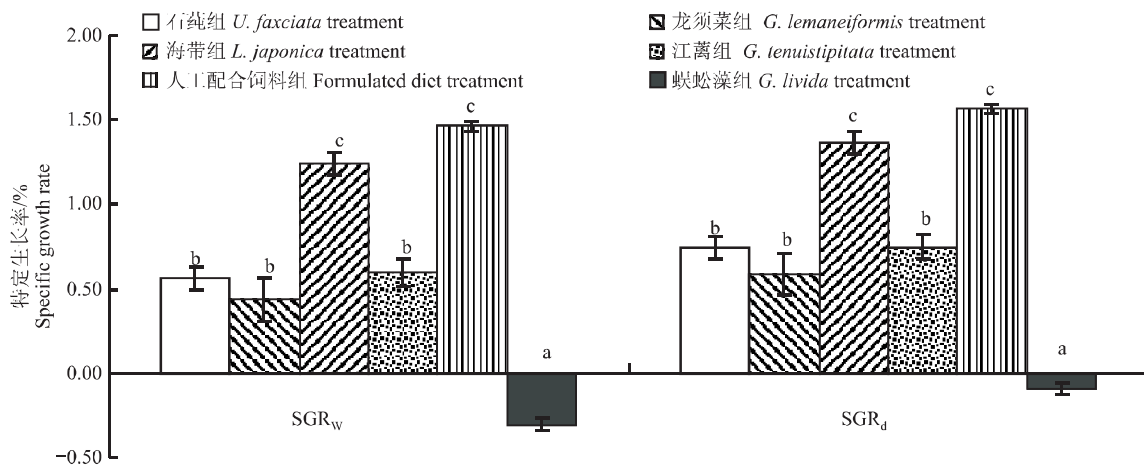


图3 不同饵料处理下黑鲍的特定生长率 ($n=3$)

注:不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Fig.3 Specific growth rate (SGR) of black abalone under different diet treatments

Note: Different letters above denote significant differences ($P<0.05$) among columns in the same cluster, and bars indicate standard errors ($n=3$).

2.3 黑鲍幼鲍对不同饵料的摄食量和饵料转化效率

黑鲍幼鲍在实验期间的摄食量 (FI) 见图4。从图4中可见:幼鲍对海带的 FI_w 显著大于其他4种海藻组 ($P<0.05$)；江蓠组的 FI_w 显著大于石莼组、蜈蚣藻

组 ($P<0.05$)，与龙须菜组无显著差异 ($P>0.05$)；蜈蚣藻组的 FI_w 显著小于其他4种海藻组 ($P<0.05$)。幼鲍对6种实验饵料的 FI_d 由大到小依次为海带组、人工配合饲料组、江蓠组、石莼组、龙须菜组和蜈蚣藻组；

海带组、人工配合饲料组的 FI_d 显著大于其他饵料组 ($P < 0.05$); 蜈蚣藻组的 FI_d 显著小于其他 5 种饵料组 ($P < 0.05$); 江蓠组、石莼组和龙须菜组的 FI_d 介于二者之间, 且不存在显著差异 ($P > 0.05$)。

实验所用的 6 种饵料的转化效率 (FCE) 见图 5。黑鲍对 6 种饵料的转化效率由大到小依次为人工配合饲料组、石莼组、江蓠组、海带组、龙须菜组和蜈蚣藻组。从图 5 可见, 人工配合饲料组的 FCE_d 明显大

于其他 5 种海藻组 ($P < 0.05$); 石莼组、江蓠组、海带组和龙须菜组的 FCE_d 的差异不显著 ($P > 0.05$); 蜈蚣藻的 FCE_d 为负值。实验结束后, 各组幼鲍的 FCE_p 由大到小依次为人工配合饲料组、海带组、石莼组、江蓠组、龙须菜组和蜈蚣藻组。人工配合饲料组、海带组的 FCE_p 与龙须菜组、蜈蚣藻组存在显著差异 ($P < 0.05$), 与石莼组和江蓠组不存在显著差异 ($P > 0.05$); 蜈蚣藻组的 FCE_p 为负值。

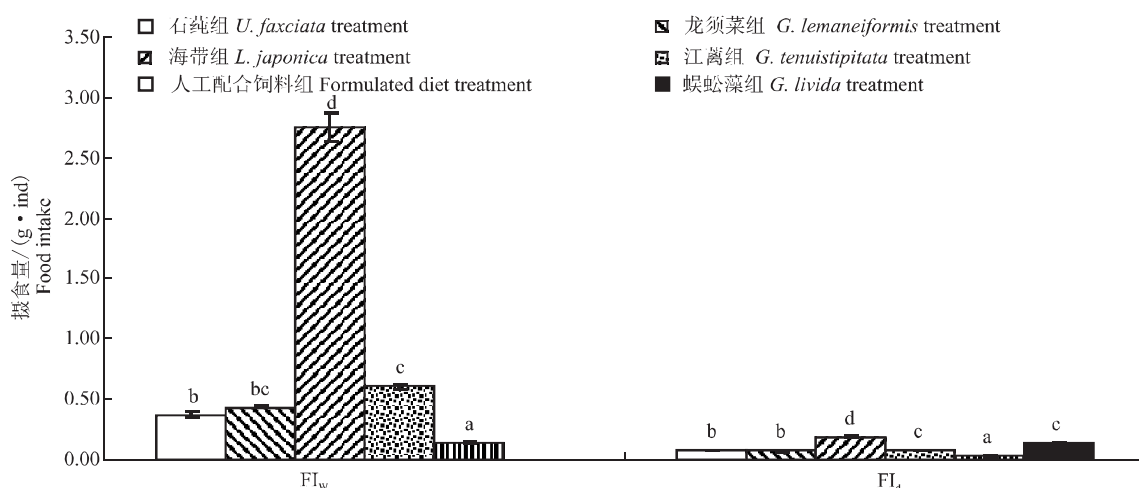


图 4 不同饵料处理下黑鲍的摄食量 ($n=3$)

注: 不同字母表示显著差异 ($P < 0.05$)。

Fig. 4 Food intake (FI) of black abalone under different diet treatments

Different letters above the bars denote significant differences ($P < 0.05$) among columns in the same cluster, and bars indicate standard errors of means ($n=3$).

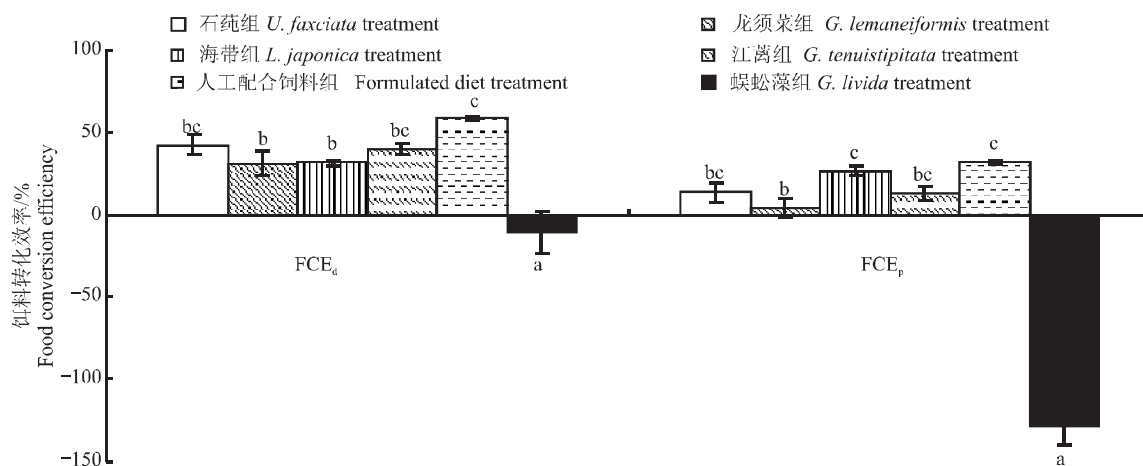


图 5 不同饵料处理下黑鲍的饵料转化效率 ($n=3$)

注: 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Fig. 5 Food conversion efficiency (FCE) of black abalone under different diet treatments

Different letters above the bars denote significant differences ($P < 0.05$) among columns in the same cluster, and bars indicate standard errors of means ($n=3$).

3 讨论

适口、营养丰富的饵料是保证鲍较高的存活率的关键因素之一。Nurit 等^[15]曾报道了皱纹盘鲍 (*Haliotis discus hannai*) 摄食其喜食的硅藻后, 其存活率也相对提高。这与本研究的结果略有不同。本研究发现, 摄食量最大的海带组的存活率最高, 但摄食量相对较低且体质量出现负增长的蜈蚣藻组的存活率却高于幼鲍较喜食的江蓠组和石莼组。可见, 黑鲍的存活率与其对饵料的喜食程度没有直接的关系。

鲍有其特定的喜食海藻。张琼^[16]的研究表明, 以皱纹盘鲍喜食的海藻投喂之, 可获得较高的饵料效率。据 Poore^[3]报道, 虹鲍 (*Haliotis iris*) 在可以选择的情况下, 一般以摄食红藻为主; Shepherd 等在研究黑唇鲍 (*Haliotis rubra*) 的摄食习性时发现, 鲍有选择红藻 *Rhodophyta* 而摒弃褐藻的食性^[17]; 张朝晖等^[18]研究发现九孔鲍 (*Haliotis diversicolor*) 最喜摄食的饵料是石莼, 其次是海带、江蓠, 最后是马尾藻 (*Sargassum*)。由此推测, 鲍对饵料的选择性可能与海藻中的某些化学成分有关。Harada^[18]发现, 从褐藻 (*Ishige okamura*) 提取的蛋白质、氨基酸和磷脂, 都对美洲黑鲍 (*Haliotis cracherodii*) 具有一定的诱食作用, 而 Sakata^[20]的研究表明, 褐藻对 *H. cracherodii* 有强烈诱食作用源于广泛存在于褐藻中的二半乳糖二酯酰甘油酯 (DGDG) 和磷酸二酯酰甘油胆碱 (PC)。不同的海藻中含有不同的诱食成分, 而这种不同程度的诱食效果也就决定了鲍对不同海藻的偏爱程度。在本实验中, 黑鲍对 5 种海藻的摄食量的差异明显 ($P < 0.05$), 可能与各种藻类中的诱食成分不同有关。其中, 海带 (褐藻类) 中含有的诱食成分可能较多于其他海藻, 因此, 黑鲍对其摄食量最大, 故海带组的生长效果最好; 而蜈蚣藻 (红藻类) 中的诱食成分可能很少, 或者含有排拒成分, 排斥黑鲍来摄食, 所以, 黑鲍对其摄食量最小, 甚至不能满足其正常代谢需要, 以至出现体质量负增长。这就说明, 在相同的生长环境下, 鲍对海藻的喜食程度决定了其生长速度。这与 Mercer 等^[21]、Mai 等^[22-23]和 Nelson 等^[24]的研究结果一致。虽然鲍的品种不同, 但是均证明了鲍的生长速度与其摄食的海藻的种类有直接关系。

鲍对饵料的转化效率是影响幼鲍生长的重要因素, 而饵料的营养成分又直接影响了饵料转化效率。

鲍是一种高蛋白低脂肪的动物, 蛋白质在鲍体内具有非常重要的生理功能, 鲍的生长主要是指蛋白质在体内的积累, 因此, 鲍的生长速度与饵料的蛋白含量有关。Mai 等^[25]曾报道疣鲍 (*Haliotis tuberculata*) 和皱纹盘鲍分别摄食蛋白含量为 22.3% ~ 32.3% 和 23.3% ~ 35.6% 的饵料后, 能够获得最大的增重率。王素平等^[26]、Britz^[27]研究发现中间鲍 (*Haliotis midac*) 在摄食蛋白含量 47% 的饵料后, 比蛋白含量 27% 饵料后的增重高 18%。在黑鲍育苗及养成过程中, 人工配合饲料、新鲜海藻是常用的饵料。在本实验中, 虽然黑鲍对人工配合饲料的摄食量与海藻相比不是最大的, 但是人工配合饲料的蛋白含量要高出实验所用各海藻的 6 倍以上, 所以, 在相同时间内人工配合饲料组的幼鲍获得比其他 5 种海藻更大的壳长、体质量生长量。这与陈世杰^[28]、Nie 等^[6, 29]、Viana 等^[30]、Corazani 等^[31] 和 Myrna 等^[32]的研究结果相一致。可见, 在其他生长环境相同的条件下, 既要保证鲍能够摄食到其喜欢的饵料, 又有足够的摄食量, 饵料本身还要有较高的蛋白含量, 这样就能够保证鲍的快速生长。

4 结论

本实验养殖周期虽然较短, 但是可以看出在相同的养殖时间内, 摄食人工配合饲料、海带和江蓠的各实验组黑鲍的生长和存活情况都比较理想, 因此, 在黑鲍的养殖生产中, 这 3 种饵料均可因地制宜选用。中国南方江蓠资源丰富, 产量高, 来源广, 因此成本较低; 海带养殖虽然早已推进到了福建等南方海域, 但是夏秋季节海带资源仍然比较匮乏; 人工配合饲料虽然容易败坏水质, 但是来源丰富, 供给方便, 营养价值高, 饵料转化效率优于海藻, 有利于更快地培育出大规格成品鲍。因此, 综合这 3 种饵料的优缺点, 建议人工配合饲料和江蓠作为南方各黑鲍养殖场的首选饵料。在经济条件范围内, 养殖场可以考虑在海带的生长旺季从浙江、福建等地购进海带来喂养黑鲍。这样既能够保证黑鲍较高的生长速度, 降低养殖成本, 提高养殖效益。在发展鲍养殖产业的同时, 又能促进海带、江蓠养殖产业的发展。

参考文献:

- [1] 廖志强, 王全阳, 王孟华. 闽南黑鲍苗种培育技术 [J]. 齐鲁渔业, 2005, 22 (1): 13-14.
- [2] 陈颜锋. 不同方式加工海带投喂盘鲍幼鲍生长速度比较 [J].

- 水产养殖, 2005, 26 (4): 27-28.
- [3] Poore G C B. Ecology of New Zealand abalone, *Haliotis speciosa* (Mollusca: Gastropoda). N. Z. [J]. J Mar Freshw Res, 1972, 6 (1-2): 11-22.
- [4] 聂宗庆, 王素平, 陈才松, 等. 不同食物与放养水层对九孔鲍生长的影响[J]. 湛江海洋大学学报, 2000, 20 (3): 37-40.
- [5] 高绪生, 刘永峰, 刘永襄. 皱纹盘鲍幼鲍期不同饵料的喂养效果试验[J]. 水产科学, 1983, 4: 11-13.
- [6] Nie Z Q, Wang Z Q, Yan J P. Experiments on preparing of formulated feed and feeding efficiency of young abalone *Haliotis discus hannai*. Ino. [J]. Mar Fish Res, 1986, 7: 53-64.
- [7] 王素平. 配合饲料与海藻喂养皱纹盘鲍幼鲍效果的初步试验[J]. 福建水产, 1991 (增刊): 86-88.
- [8] 王素平, 聂宗庆. 鲍人工饲料研究新进展[J]. 台湾海峡, 1996, 15 (增刊): 16-22.
- [9] 江永棉, 赖春福. 九孔鲍嗜食性研究[J]. 中国水产(台), 1974, 284: 6-12.
- [10] 吴永沛. 人工配合饲料养殖九孔鲍稚鲍的效果[J]. 台湾海峡, 1998, 17 (增刊): 125-128.
- [11] 徐玮. 皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino.)必需脂肪酸营养生理研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004. 1-49.
- [12] Mcshane P E, Gorfine H K, Knuckey I A. Factors influencing food selection in the abalone *Haliotis rubra* (Mollusca: Gastropoda) [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1994, 176 (1): 27-37.
- [13] Flennig A E. Digestive efficiency of the Australian abalone *Haliotis rubra* in relation to growth and feed preference[J]. Aquaculture, 1995, 134 (3-4): 279-293.
- [14] Matty A J, Smith P. Evaluation of a yeast, a bacterium and an alga as protein source for rainbow trout. Effect of protein level on growth, gross conversion efficiency and protein conversion efficiency[J]. Aquaculture, 1978, 14 (3): 235-246.
- [15] Nurit G, Amir N, Muki S, et al. Effects of diatom on growth and survival of the abalone *haliotis discus hannai* postlarvae [J]. Aquaculture, 2006, 252 (2-4): 225-233.
- [16] 张琼. 几种海藻投喂皱纹盘鲍幼鲍效果的因子分析[J]. 湛江水产学院学报, 1994, 14 (2): 38-42.
- [17] Shepherd A, Steinberg P D. Food preferences of three Australian abalone species with a review of the algal food of abalone[M]// Shepherd S. A. Abalone of the world, Biology Fisheries and culture. Oxford: Blackwell Scientific publication. 1992: 169-181.
- [18] 张朝晖, 朱明远, 毛兴华. 九孔鲍(*Haliotis diversicolor*)对饵料选择性的研究[J]. 海洋科学, 1999, 3: 10-12.
- [19] Harada K. Feeding attraction activity of proteins, amino, acids, lipids and nitrogenous bases for abalone[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1985, 51 (12): 2 051-2 058.
- [20] Sakata K. Digalactosuldiacylglycerols and plosphatidylcholines isolated from a brown alga as effective phagostimulams for a young abalone[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1985, 51 (4): 659-665.
- [21] Mercer J P, Mai K, Donlon J. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *H. discus hannai* Ino. I. Effect of algal diets on growth and biochemical composition[J]. Invertebr Reprod Dev, 1993, 23: 75-88.
- [22] Mai K, Mercer J P, Donlon J. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *H. discus hannai* Ino. V. The role of polyunsaturated fatty acids of macroalgae in abalone[J]. Nutrition, 1996, 139: 77-89.
- [23] Mai K, Mercer J P, Donlon J. Comparative studies on the nutrition of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *H. discus hannai* Ino. III. Response of abalone to various levels of dietary lipid[J]. Aquaculture, 1995, 134 (1-2): 65-80.
- [24] Nelson M M, Leghton D L, Phleger C F, et al. Comparison of growth and lipid composition in the green abalone, *Haliotis fulgens*, provided specific macroalgal diets[J]. Comp Biochem Physiol, 2002, 131B: 695-712.
- [25] Mai K, Mercer J P, Donlon J. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. IV. Optimum dietary protein level for growth [J]. Aquaculture, 1995, 136 (1-2): 165-180.
- [26] 王素平, 聂宗庆. 鲍人工饲料研究新进展[J]. 台湾海峡, 1996, 15 (增刊): 16-22.
- [27] Britz P J. Effect of dietary level on growth performance of South African abalone, *Haliotis midae*, fed Fish-meal-based-semi-purified diets[J]. Aquaculture, 1996, 140 (1-2): 55-61.
- [28] 陈世杰. 杂色鲍种苗用试验配合饲料[J]. 海洋科学, 1985, 3 (6): 39-40.
- [29] Nie Z Q, Ji M F, Yan J P. Preliminary studies on increased survival and accelerated growth of overwintering juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino [J]. Aquaculture, 1996, 140 (1-2): 177-186.
- [30] Viana M T, Lopez L M, Salas A. Diet development for juvenile abalone, *Haliotis fulgens*, evaluation of two artificial diets and macroalgae[J]. Aquaculture, 1993, 117 (1-2): 149-156.
- [31] Corazani D, Illanes J E. Growth of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino 1953 and *Haliotis rufescens* swainson 1822, fed with different diets[J]. J Shellfish Res, 1998, 17 (3): 663-666.
- [32] Myrna N, Bautista-Teruel, Oseni M, et al. Diet development and evaluation for juvenile abalone, *Haliotis asinina*: protein/energy levels[J]. Aquaculture, 1999, 178 (1-2): 117-126.

Effects of different diets on growth and survival rate of juvenile black abalone, *Haliotis discus hannai* Ino (♀) × *Haliotis discus discus* Ino (♂)

ZHANG Han-hua¹, LI Min^{1,2}, ZHU Chang-bo¹, WU Jin-feng¹, CHEN Li-xiong¹

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: A 35-d growth experiment was conducted to assess the effects of six different diets on survival and growth of black abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. (♀) × *H. discus discus* Ino. (♂). The six diets were green algae, *Ulva faxciata*, brown algae, *Laminaria japonica*, red algae, *Gracilaria lemaneiformis*, *Gracilaria tenuistipitata* and *Grateloupia livida* and formulated diet. The six different diets were randomly assigned to 6 groups, each of which had three replicates. The abalones with initial shell length of (12.29 ± 0.03) mm and wet weight of (0.223 ± 0.002) g were kept in 18 glass aquaria (50.0 cm × 37.5 cm × 29.5 cm, water volume of 35 L), and fed to apparent satiation at 17:00. During the experiment, the abalones in algae treatments were fed every other day, while in the formulated diet treatment, the abalones were fed once daily. The shell length as well as the body weight was measured before and after the experiment. Twenty individuals were set in each repetition. During the experiment period, the temperature ranged from 15.4 °C to 20.0 °C, dissolved oxygen was controlled higher than 6.5 mg/L, salinity was from 32 to 34, and whole experiment was under nature light cycle. Water exchange was from the same water source, and sea-water used in the experiment was filtered by using a cloth filter. In order to keep higher water quality, water was exchanged every other day in algae treatments, while in the formulated diet treatment water was exchanged every day.

The results showed that the survival rate of the juvenile abalone fed with *Laminaria japonica* and formulated diet were significantly higher than those of the groups fed with *Gracilaria lemaneiformis*, *Grateloupia livida*, *Gracilaria tenuistipitata* and *Ulva faxciata* ($P < 0.05$). The differences of the special growth rate (SGR), wet weight growth rate (WGR_w), dry weight growth rate (WGR_d) and shell length growth rate (LGR) were also significant ($P < 0.05$) among the six diets treatments. Juvenile black abalone in formulated diet treatment and *Laminaria japonica* treatment had significantly higher SGR, WGR_w , WGR_d and LGR than those in the other four algae treatments ($P < 0.05$). There were significant differences in food conversion efficiency (FCE) among the juvenile black abalone under the six diets treatments ($P < 0.05$), and the FCE in formulated diet was the highest. The results indicated that formulated diet and *Laminaria japonica* were the best diets for the cultured black abalone at present. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14 (6): 903–910]

Key words: diets; juvenile black abalone; growth; survival rate

Corresponding author: ZHANG Han-hua. E-mail: zhh502@163.com