

朱庆国, 陈启发, 潘瑞珍, 等. 杂交鲍苗微囊饲料投喂量测算方法 [J]. 福建农业学报, 2015, 30 (11): 1046-1050.

ZHU Q-G, CHEN Q-F, PAN R-Z, et al. Amount of Microencapsulated Feed for Crossbred Juvenile Abalones [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 30 (12): 1046-1050.

杂交鲍苗微囊饲料投喂量测算方法

朱庆国^{1,2}, 陈启发², 潘瑞珍^{2,3}, 林美凤², 林清海⁴, 王 云⁵, 陈章群⁴

- (1. 福建省淡水水产研究所, 福建 福州 350002; 2. 福建省水产饲料研究会, 福建 福州 350003;
3. 福建省华龙饲料有限公司, 福建 福州 350002; 4. 福建省东山县海洋与渔业局, 福建 东山 363401;
5. 平潭县水产技术推广站, 福建 平潭 350400)

摘 要: 为确定杂交鲍苗培育过程中饵料的合理投喂, 探索快捷采集杂交鲍苗体重数据的新方法, 藉以测算、调整微囊饲料投喂量。随机采集观测杂交鲍苗大容量样本 10 批次, 获得杂交鲍苗的体重与壳长的数据 1 670 对。应用统计分析方法进行壳长-体重回归分析, 建立回归方程: $W=0.133 L^{2.985}$ ($R^2=0.987$)。应用 IPP 图像测量新方法, 随机采集实例验证样本 500 粒鲍苗壳长, 经由建立的回归方程估算出鲍苗体重的数据, 与实测的鲍苗体重数据进行比较, 分析评估回归方程(模型)的稳健性和误差。经由已建立的回归方程以及鲍苗相应体重的投饵率, 提出不同水温每万粒杂交鲍苗微囊饲料的日投喂量。

关键词: 杂交鲍苗; 微囊饲料; 投喂量; 体重; 壳长; 图像测量

中图分类号: S 96

文献标识码: A

Amount of Microencapsulated Feed for Crossbred Juvenile Abalones

ZHU Qing-guo^{1,2}, CHEN Qi-fa², PAN Rui-zhen^{2,3}, LIN Mei-feng², LIN Qing-hai⁴,
WANG Yun⁵, CHEN Zhang-qun⁴

- (1. *Fujian Provincial Institute of Freshwater Fisheries, Fuzhou, Fujian 350002, China*; 2. *Aquatic Feed Research Society of Fujian, Fuzhou, Fujian 350003, China*; 3. *Hualong Feedstuffs Technology and Development Group, Fuzhou, Fujian 350002, China*; 4. *Dongshan Ocean and Fisheries Bureau, Dongshan, Fujian 363041, China*; 5. *Pingtang County Fishery Technology Extension Station, Fuzhou, Fujian 350400, China*)

Abstract: A new method to rapidly estimate the body weight of the crossbred juvenile abalones was established for determination of the amount of microencapsulated feed for the aquaculture. Ten batches of the abalones was collected for observation. A total of 1 670 data sets on body weight (W) and shell length (L) of the abalones were gathered to arrive at a regression equation: $W=0.133 L^{2.985}$ ($R^2=0.987$). By using a newly developed IPP image analysis, 500 sets of W s and L s on the randomly selected abalones were measured to compare with the estimated data to examine the reliability and accuracy of the prediction equation. From the equation, the feeding rate per 10 000 crossbred juvenile abalones at different water temperatures could be obtained.

Key words: crossbred juvenile abalone; microencapsulated feed; feeding rate; weight; shell length; image measurement

福建省鲍苗生产量全国第一, 且绝大部分是杂交鲍 [皱纹盘鲍 (♀) (*Haliotis discus hannai* Ino) 与盘鲍 (♂) (*Haliotis discus discus* Reeve) 杂交后代]。生产上通常依据水产养殖动物体重和水温确定其相应的饲料投喂量。鲍苗吸附力很强,

采样时若直接从四角砖剥离称重难免损伤个体、导致鲍苗容易死亡, 不便操作。基于杂交鲍苗生长特点、营养需求的育苗过程, 需探索估算鲍苗体重的新方法, 以便及时调整饲料平均日投喂量。

前人对鲍的体重与壳长的相关模式已有研

收稿日期: 2015-10-12 初稿; 2015-11-14 修改稿

作者简介: 朱庆国 (1971-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事水产动物营养和饲料加工研究 (E-mail: zhqg163@163.com)

基金项目: 福建省海洋与渔业厅项目 (闽海渔 [2012] WX-06)

究^[1-2],但尚未见杂交鲍苗体重与壳长的相关模型报道。林娟娟等^[3]报道,杂交鲍子一代的壳长对活体重的直接影响最大。笔者^[4]于 2013 年开发了非接触鲍苗壳长图像测量新方法,鉴此确立现场采样测估杂交鲍苗体重的思路:构建杂交鲍苗体重与壳长的数值回归方程,运用鲍苗壳长图像测量法在鲍苗池现场采集鲍苗壳长数据,由鲍苗壳长数据经回归方程迭代计算出杂交鲍苗体重。故设鲍苗壳长 $L(\text{mm})$ 为自变量,鲍苗体重 $W(\text{mg})$ 为依变量,采集大容量杂交鲍苗样本的体重与壳长的成对数据,统计分析建立杂交鲍苗体重与壳长的最优回归模型,再经多实例大样本数据进行验证。提出不同水温每万粒杂交鲍苗微囊饲料

的日投喂量参考表($\text{g} \cdot \text{万粒}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验鲍苗为业者自繁的皱纹盘鲍 *Haliotis discus hannai* 与盘鲍 *Haliotis discus discus* Reeve 的杂交后代,循鲍苗培育生产节令,2012 年 8 月 9 日至 2014 年 4 月 21 日相继 10 批次分别从福建省东山县庆龄养鲍场、逸昌养鲍场以及平潭县上井海珍品开发有限公司鲍苗养殖池及市场随机采集鲍苗,计 1 670 粒进行壳长和体重的测量(表 1)。鲍苗大致分 3 种规格:4~15、15~25、25~35 mm。

表 1 杂交鲍苗体重与壳长的回归建模过程采样记录
Table 1 Sampling of body weight (W , mm) and shell length (L , mg) of crossbred juvenile abalones

批次序号	采样日期/ (年—月—日)	采样地点	样本数 /份
1	2012—08—09	东山县庆龄养鲍场	90
2	2012—01—30	东山县庆龄养鲍场	90
3	2013—01—08	平潭县上井海珍品开发有限公司鲍苗场	60
4	2013—03—19	平潭县上井海珍品开发有限公司鲍苗场	60
5	2013—04—12	东山县海洋与渔业局	600
6	2013—04—13	平潭县上井海珍品开发有限公司鲍苗场	30
7	2013—05—08	平潭县上井海珍品开发有限公司鲍苗场	100
8	2013—05—24	平潭县上井海珍品开发有限公司鲍苗场	100
9	2014—02—27	东山县逸昌水产养殖场	360
10	2014—04—21	东山县逸昌水产养殖场	180

1.2 仪器和用具

电子秤,感应量 0.001~500 g;电子数显卡尺(测量范围 150 mm;分辨率 0.01 mm);游标卡尺,分辨率 0.02 mm;数码相机 SONY DSLR-A350;专业图像处理软件 Image-Pro Plus 6.0。

1.3 试验方法

取活体杂交鲍苗样品,编号、壳长与体重数据一一对应测量记录。

1.3.1 壳长测定方法 (1) 游标卡尺测量法:确定鲍苗前后端点,使用电子数显卡尺测量壳长(单位 mm),防止卡尺破坏鲍苗壳尖;(2) 图像测量法:将采集的活体鲍苗放置在平板上,侧旁平置游标卡尺或直尺作参比,用 1 420 万像素的数码相机垂直拍照,将照片输入到电脑中,经专业图像分析软件(Image-pro plus) IPP 6.0 处理度量,经单位标定,将像素长度转换为实际几何长度,输出测量数据至 Excel。

1.3.2 体重测定方法 用吸水纸吸湿,适度清除鲍苗体表水,用电子秤测定鲍苗体重(mg)。

1.4 模型构建方法

选取前 10 批次杂交鲍苗样本,以鲍苗壳长 L (mm) 为自变量,体重 W (mg) 为依变量,应用统计分析方法,对不同生长阶段鲍苗壳长和体重进行多种函数的回归分析,得到 5 种回归模型,并作拟合曲线结合决定系数(R^2)进行优选。

1.5 模型评估方法

为评估模型的最优性和准确性,2014 年 6 月 6 日,于东山县逸昌养鲍场,测定 500 粒鲍苗壳长体重数据,将鲍苗壳长数据分别代入 5 种模型,得出其对应的理论体重,将理论体重值和实测体重值作比较。为评估回归模型的有效性,试验选定“模型决定系数 R^2 ”、“最大相对误差值(max relative error)”、“平均相对误差值(average relative error)”和“均方根误差 RMSE (root

mean square error)” 为评估指标。取其性能评估指标 10 次的均值和标准差作为试验结果记录。

1.6 投饵量测算方法

运用试验建立的杂交鲍苗体重与壳长的最优回归模型，依据壳长规格计算出每万粒鲍苗体重的数据；再参照鲍苗体重对应不同水温的体重投饵率(%)，推算不同水温每万粒杂交鲍苗微囊饲料的日投喂量 ($\text{g} \cdot \text{万粒}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)，列成参考表。

1.7 数据处理

采用 Excel 建表，方差分析、显著性检验和回归分析均采用 SPSS17.0 软件相关程序处理。

2 结果与分析

试验过程中，相继 3 年于东山、平潭等地共采集杂交鲍苗样本 11 批次 (表 1)。选取前 10 批次共计 1 670 个样本，对其壳长和体重进行回归分析，剩下 1 个批次 500 个样本数据构成测试集，以评估模型回归预测性能，验证方法的有效性。

2.1 壳长与体重的回归分析

对不同生长阶段的鲍苗的壳长 (L) 和体重 (W) 数据进行多种函数的回归分析，发现鲍苗壳长、体重的关系较符合幂函数和三次函数类型 (表 2、3)，对其作拟合曲线 (图 1)，幂函数和三次函数几乎重合，再结合决定系数 (R^2) 进行分析，鲍苗壳长和体重的关系用幂函数表示更为准确，但在不同生长阶段中幂函数的回归系数和决定系数还是存在一定的差别。

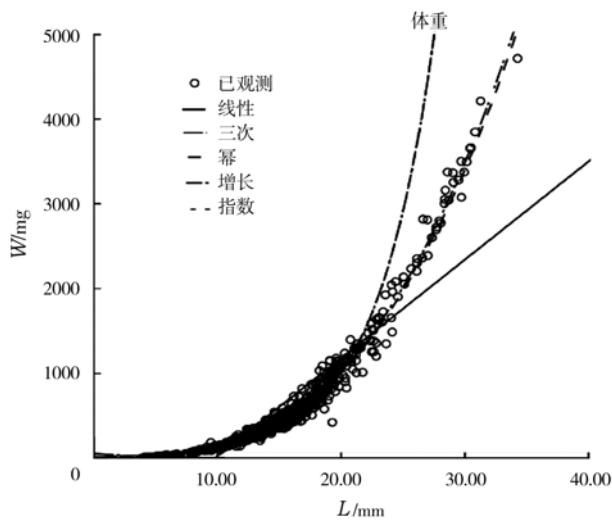


图 1 杂交鲍苗的体重与壳长拟合曲线

Fig. 1 Fitting curve between W and L of crossbred juvenile abalones

2.2 评估回归模型的有效性

得到 5 种回归模型之后，以东山县逸昌养鲍场采集的 500 个样本数据对构成测试集，鲍苗壳长经由建立的回归方程计算鲍苗体重的数据，与实测的鲍苗体重数据进行比较，分析评估数学模型的稳健性和灵敏度。以评估模型回归预测性能，验证方法的有效性。

表 2 不同生长阶段壳长、体重回归方程的决定系数 (R^2)
Table 2 R^2 of regression equations between W and L of abalones in various growth periods

壳长 /mm	决定系数 (R^2)				
	线性函数	三次函数	幂函数	生长函数	指数函数
4~15	0.882	0.938	0.982	0.961	0.961
4~25	0.827	0.959	0.984	0.931	0.931
4~35	0.795	0.985	0.987	0.911	0.911

表 3 不同壳长组鲍苗壳长与体重的幂函数
Table 3 Power function between W and L of crossbred juvenile abalones

壳长 /mm	幂函数
4~15	$W=0.131L^{2.993}$
4~25	$W=0.136L^{2.975}$
4~35	$W=0.133L^{2.985}$

如表 4 所示，验证结果表明，幂函数模型预测性能最佳，其模型决定系数最高，均方根误差 RMSE 也低于其他 4 个模型，幂函数所推算的鲍苗体重值最接近实测值。相比之下，取得较好结果的是三次函数模型，其 R^2 为 0.925 4，RMSE 为 0.058 6，这从图 1 也可以看出，幂函数和三次函数的拟合曲线几乎重合。由表 4 可见，幂函数模型体重的预测精度较高，达到了 0.1 g 级。表明构建的杂交鲍苗体重与壳长的回归方程模型的稳健与有效性，利用幂函数回归方程推算杂交鲍苗的体重的数据可信，精度高。

2.3 微囊饲料投喂量的测算

运用已建立的不同壳长杂交鲍苗体重与壳长的幂函数回归方程，计算出不同规格每万粒鲍苗体重的数据；根据佐藤勉试验推算出的配合饲料的标准投饵量表^[5-6]，再参照表中鲍苗对应不同水温投饵率，推算得到表 5，表明不同壳长及水温下每万粒杂交鲍苗微囊饲料的日投喂量，此为大体投饵量，因饲养环境有相当大变化，要仔细观察鲍苗摄饵状态进行投喂。

表 4 不同回归方程下的模型性能评估
Table 4 Evaluation of regression equations

函数	模型决定系数 (R^2)	均方根误差/g (RMSE)	相对误差	
			最大值/g	平均值/g
线性函数	0.8884 ± 0.0343	0.1611 ± 0.0171	1.0552 ± 0.5457	0.3425 ± 0.0848
三次函数	0.9254 ± 0.0479	0.0586 ± 0.0203	0.3637 ± 0.0894	0.0922 ± 0.0090
幂函数	0.9699 ± 0.0454	0.0381 ± 0.0199	0.2588 ± 0.0826	0.0612 ± 0.0108
生长函数	0.9168 ± 0.0462	0.1260 ± 0.0803	0.4632 ± 0.1373	0.1564 ± 0.0173
指数函数	0.9168 ± 0.0462	0.1260 ± 0.0803	0.4632 ± 0.1373	0.1561 ± 0.0173

表 5 不同水温时每万粒杂交鲍苗微囊饲料的日投喂量
Table 5 Daily feeding of microencapsulated feed per 10 000 crossbred juvenile abalones at varied water temperatures
[单位/(g·万粒⁻¹·d⁻¹)]

壳长 /mm	水温/℃					
	8	10	15	18	20	23
5	4.2~6.2	4.5~6.8	5.8~8.7	6.2~9.2	6.8~10.0	8.4~11.7
10	34~49	36~54	46~70	49~73	54~80	67~93
12	27~67	29~76	38~96	40~100	44~111	56~122
14	42~106	46~120	60~152	64~159	71~176	88~194
16	52~114	62~125	73~156	78~172	88~192	104~218
18	74~162	89~177	103~221	111~243	125~273	148~310
20	101~222	121~242	141~303	151~333	172~374	202~424
22	121~228	134~241	161~322	174~335	201~362	241~416
24	156~295	174~313	208~417	226~434	260~469	313~538
25	176~333	196~353	235~471	255~490	294~529	353~608

3 讨论与结论

3.1 杂交鲍苗壳长、体重的函数关系

本研究表明，集约化培育杂交鲍苗的体重与壳长关系，在壳长 4~35 mm 阶段并非一成不变，幂函数可以很好地反映其相互的数量关系。当鲍苗壳长小于 15 mm 时，幂函数的决定系数 R^2 就达到了 0.982，远高于其他函数，并随着鲍苗壳长的不断增长，幂函数的决定系数随之增大，最终达到 0.987。而除了三次函数之外的其他函数的决定系数则随着鲍苗壳长的增长而不断减小。三次函数的决定系数是随壳长的增长而增大的，并最终达到 0.985，但在各生长阶段三次函数的决定系数仍小于幂函数。当鲍苗壳长大于 25 mm，其群体的壳长、体重关系式为 $W=0.133 L^{2.985}$ ，与前人得出的皱纹盘鲍、盘鲍和九孔鲍的壳长、体重关系式较为相似^[2]。

本研究构建的幂函数模型 $W=a \cdot L^b$ ， $W/L^b=a=0.133$ ，幂函数模型中幂指数 $b=2.985$ ，接近于 3，与 Von^[7]，Ricker^[8]研究鱼类生长过程中体形和比重的均匀生长模型 $W=aL^3$ 相仿。

3.2 杂交鲍苗微囊饲料投喂量的测算

目前，人工饲料已普遍使用于从板（薄膜）上剥离后的杂交稚鲍及苗种的中间培育阶段，作为一种新型的鲍人工配合饲料，已有相关试验表明，稚幼鲍微囊饲料不但可以解决硅藻供应不足的问题，对杂交鲍苗还有免疫增强、减少鲍苗死亡和促生长效能^[9-10]。

同一生长阶段鲍苗对微囊饲料的摄食量与其体重相关，同时，还受水温及水质条件等因素影响。在水温、光照适宜、水质良好的条件下，其摄食率高。而在温度一定的条件下，日摄食率却又随着个体的增长而下降^[2]。虽然微囊饲料具有较高的水中稳定性，但它含有较高的蛋白质、脂肪等营养物质，残饵易滋生细菌导致水质恶化。海水中高温期尤甚。因此，如何准确地把握微囊配合饲料投喂量就成为日常养殖管理的关键。培育生产鲍苗过程应及时调整合理的饲料平均日投喂量（一定水温下，饲料日投喂量占鲍苗体重的百分比），急需探索便捷估算鲍苗体重的新方法。

3.2.1 杂交鲍苗壳长数据的采集 应用 IPP 图像分析技术开发的非接触的鲍苗壳长图像测量新方法经

对比测试结果表明:其与游标卡尺测量的结果一致性好,测试精度可满足要求,效率高,又不损伤鲍苗,可用于采集育苗池四脚砖大样本的鲍苗壳长数据^[4]。

3.2.2 微囊饲料投喂量的测算 依据已建立的杂交鲍苗体重与体长的幂函数回归方程,养殖户可以通过采集到的鲍苗壳长,估测出相应规格的杂交鲍苗体重,根据试验推算出的配合饲料的标准投饵率表即可测算万粒杂交鲍苗微囊饲料的日投喂量(表5)。稚鲍剥离进行中间培育的同时即开始投喂微囊饲料。育苗期南方多采用水泥四脚方砖进行底播式培养方式,养殖户定期定点抽查育苗池中附着于方砖背面及底部的鲍苗数量即可推算出池中鲍苗的大致数量,从而得出该池的鲍苗微囊饲料日均投饲量。在养殖生产中,正确把握日均投饲量有其深远的意义,可以帮助及时发现养殖生产过程中存在的问题,及时纠正、确保正常生产,避免过量投饵,力争做到科学给饲投饵,提高养殖技术水平。但由于鲍苗微囊饲料使用时间尚短,其在杂交鲍苗饲喂中的准确日均投饲量有待今后鲍苗生产实践再检验修正。

研发投饲智能化精准仪器装备、引领水产养殖生产全程信息化是水产业的一个重要发展方向。基于本文的鲍苗微囊饲料投喂量的测算方法,研发智能鲍苗计量仪,采集鲍池四脚砖附着鲍苗的图像,检测鲍苗粒数和鲍壳长,既为鲍苗生产过程确定饲料投喂量,又为控制鲍苗放养密度以及替代现有鲍苗出池销售过程中感官判别规格、既伤害苗体又耗时的鲍苗人工点数劳动,提供创新支持。同时积累数据,接力国家“互联网+”行动计划,建设鲍苗生产动态信息系统,推进鲍苗生产跟上国家大数据战略布局,“走产出高效、产品安全、资源节约、

环境友好的”鲍业转型升级。

4 结 论

本试验提出了一种便捷测算杂交鲍苗微囊饲料投喂量的方法,鲍苗壳长由专业图像分析软件(Image pro plus)测量,依据体重与壳长的幂函数回归方程估测杂交鲍苗体重,配以不同水温相应投饵率,得到微囊饲料的投喂量。方法方便、快捷,可满足实际生产要求。

参考文献:

- [1] 高绪生,王琦,王仁波,等. 鲍鱼 [M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2000:120—123.
- [2] 聂宗庆,王素平. 鲍养殖实用技术 [M]. 北京:中国农业出版社,2000:54—55.
- [3] 林娟娟,闵志勇,陈强. 杂交鲍子一代形态性状对活体重的影响效果分析 [J]. 福建畜牧兽医,2010,32(2):206—210.
- [4] 朱庆国. IPP 图像分析技术在稚幼鲍壳长测量中的应用 [J]. 福建农业学报,2013,28(10):1050—1053.
- [5] 佐藤勉. 鲍鱼配合饲料的特征和使用方法 [J]. 海水养殖,1992,43(1—2):76—81.
- [6] 聂宗庆,王素平,燕敬平,等. 鲍科学养殖百问百答 [M]. 北京:中国农业出版社,2011:95—96.
- [7] VON B L. Aquantitative theory of organic growth [J]. Hum. Biol., 1938, 10: 181—213.
- [8] RICKER W E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations [M]. Bull Fish Res Board, 1975, 312—332.
- [9] 陈章群,林清海,朱庆国,等. 微胶囊饲料对杂交鲍苗生长性能的影响 [J]. 福建农业学报,2013,28(3):206—210.
- [10] 王云,朱庆国,潘瑞珍,等. 稚幼鲍微囊饲料对鲍苗免疫和生长的影响 [J]. 福建农业学报,2014,29(6):575—579.

(责任编辑:张 梅)