

doi: 10.7541/2015.7

不同壁材微胶囊饲料对黄姑鱼稚鱼生长和消化酶活力的影响

谢中国^{1,2} 王芙蓉^{1,2} 罗玉双¹ 杨品红¹ 王文彬¹ 楼宝³

(1. 湖南文理学院生命科学学院, 常德 415000; 2. 舟山市海洋生物生产力促进中心有限公司, 舟山 316100;
3. 浙江省海洋水产研究所, 舟山 316100)

摘要: 研究采用湿法制粒流化床包衣工艺, 分别以明胶、乙基纤维素、玉米醇溶蛋白为壁材制备微胶囊饲料, 比较其对黄姑鱼稚鱼生长和消化酶活力的影响。粒径(178—590) μm 的3种微胶囊饲料质量均大于50%。扫描电镜观察微胶囊饲料的表面均有一层较为致密的包衣薄膜。壁材明胶、乙基纤维素、玉米醇溶蛋白微胶囊饲料的包含率分别为95.4%、95.6%和95.8%; 脂类包埋率分别为72.6%、76.5%和64.3%; 氮保留率分别为53.5%、62.3%和54.6%。将3种微胶囊饲料分别饲喂15日龄黄姑鱼稚鱼30d。明胶组和玉米醇溶蛋白组稚鱼的体重、全长均显著高于乙基纤维素组($P < 0.05$), 但成活率差异不显著($P > 0.05$); 明胶组稚鱼的体重、全长和成活率均高于玉米醇溶蛋白组, 但差异均不显著($P > 0.05$)。明胶组稚鱼的胰蛋白酶活力显著高于乙基纤维素组和玉米醇溶蛋白组($P < 0.05$), 但淀粉酶和碱性磷酸酶活力的差异均不显著($P > 0.05$)。与乙基纤维素、玉米醇溶蛋白相比, 明胶更适合作为黄姑鱼稚鱼微胶囊饲料壁材。

关键词: 黄姑鱼; 稚鱼; 微胶囊饲料; 生长; 消化酶活力

中图分类号: S963 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2015)01-0052-06

传统育苗使用的生物活饵存在成本较高、产量和质量不稳定、易携带病原菌等缺点, 制约海水养殖业可持续健康发展。研制适用于仔稚鱼摄食和消化的微粒饲料替代生物活饵, 是发展海水养殖的当务之急^[1, 2]。微粒饲料主要分为微黏饲料和微胶囊饲料2种形式。由于微黏饲料较高的表面积体积比, 黏合剂与水有较强亲和力, 其水溶性成分极易溶失, 难以适应水质要求高的工厂化育苗。微胶囊饲料是用微胶囊技术将饲料完全包封在一层致密膜中形成的微胶囊^[3]。与微黏饲料相比, 微胶囊饲料不仅提高了饲料的水中稳定性, 且具有延缓活性物质释放速度、增加营养物质稳定性等优点。通过研究高质量的微胶囊饲料, 探索制备工艺的同时筛选合适的壁材, 使微胶囊饲料具有较高的包埋率、较好的水稳定性且容易被仔稚鱼消化吸收^[4]。

黄姑鱼(*Nibea albiflora*)是我国重要的海水经济鱼类, 具有肉味鲜美、营养丰富、养殖效益高等特

点。现已开展全人工繁育, 育苗饵料主要为生物活饵, 严重制约其育苗产业化发展^[5]。目前有关黄姑鱼仔稚鱼的营养需求、消化生理以及微粒饲料的研制鲜见报道。本研究采用湿法制粒流化床包衣工艺制备壁材分别为明胶、乙基纤维素、玉米醇溶蛋白的微胶囊饲料, 比较其对黄姑鱼稚鱼生长和消化酶活力的影响, 为选择合适的壁材种类提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 饲料原料

饲料原料及比例分别为白鱼粉40%、磷虾粉17%、鱿鱼粉10%、预糊化淀粉7.2%、饲料酵母6%、鱼肉水解蛋白5%、大豆卵磷脂5%、鱼油2.5%、复合维生素2%、复合矿物质2%、木瓜蛋白酶2%、海藻酸钠1%、氯化胆碱0.2%、维生素C磷酸酯0.1%。

1.2 微胶囊饲料制备

原料经超微粉粉碎后按比例称重、混合。用湿

收稿日期: 2013-11-29; 修订日期: 2014-04-05

基金项目: “动物学”湖南省“十二五”重点建设学科项目; 浙江省公益技术研究农业项目(2013C32049)资助

作者简介: 谢中国(1980—), 男, 湖南衡阳人; 博士; 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: xiezhongguo888@163.com

通信作者: 楼宝, E-mail: loubao6577@163.com

法制粒机制成微粒, 缓慢加入 15%的水, 混合和切割时间分别为 15min、10min, 转速分别为 400 r/min、2500 r/min。然后用流化床干燥、包衣, 壁材分别选用明胶、乙基纤维素、玉米醇溶蛋白。明胶溶于热水, 乙基纤维素、玉米醇溶蛋白分别溶于乙醇作为包衣液。流化床工艺参数: 进风温度 50℃, 出风温度 30℃, 床温 40℃, 包衣液进料速度 1 mL/min^[6]。饲料常规营养成分见表 1。

表 1 微胶囊饲料常规营养成分

Tab. 1 The proximate chemical analysis of the microencapsulated diet (%)

壁材 Wall material	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	水分 Moisture	灰分 Ash
明胶 Gelatin	54.20	16.52	7.66	13.76
乙基纤维素 Ethyl cellulose	53.10	16.43	7.31	13.91
玉米醇溶蛋白 Zein	53.86	16.67	7.59	13.82

1.3 粒径分级与容积密度测定

粒径分级采用筛分法。饲料容积密度为样本质量与样本体积的比值。

1.4 电镜观察

用扫描电镜(SEM)观察微胶囊饲料样本粒径大小和表面微观形态并拍摄、保存形貌照片。

1.5 脂类包埋率、氮保留率和产率的测定

用 50 mL 乙醚迅速冲洗 5 g (250—420) μm 饲料样本, 计算冲洗后饲料样本所含脂类物质占冲洗前饲料样本中脂类物质的比例。

脂类包埋率(%)=(1 - 表面脂类含量/脂类总量)×100%

5 g (250—420) μm 饲料于 20℃浸入 100 mL 35.0‰ NaCl 溶液 1h, 饲料样本沥干后, 测定氮含量。样本沥干后氮含量与样本浸入前氮含量的比值为氮保留率。

氮保留率(%)=(样本沥干后氮含量/样本浸入前氮含量)×100%

微胶囊化产率(%)=微胶囊产品干物质含量/(壁材干物质含量+芯材干物质含量)×100%

1.6 试验设计与饲养管理

饲养试验于浙江省海洋水产研究所西闪试验场进行。试验期间保持水温(26±2)℃、盐度(30±1)‰、

pH 8.2±0.2、溶氧>6.0 mg/L、氨氮<0.02 mg/L、亚硝酸盐<0.01 mg/L、透明度>50 cm。光照与自然白昼保持一致, 其他养殖管理同育苗实际生产。

将 15 日龄体质健壮的黄姑鱼稚鱼[初体重和初全长分别为: (10.20±0.40) mg, (5.2±0.3) mm]随机移入到 9 个 100 L 的蓝色圆形养殖桶中, 每桶放 500 尾。驯养 5d, 驯养期内每天减少 20%桡足类用量, 增加 20%饲料用量。试验第 6 天, 各试验组完全投喂微胶囊饲料, 每天按时手工投喂 6 次, 依据稚鱼摄食口径, 饲料粒径初为(150—178) μm, 粒径和用量随稚鱼生长而增加, 饲料投喂既能满足鱼苗摄食要求, 又不投喂过量。每天 2 次采用虹吸法清除桶底的残饵、死苗; 用 PVC 管清除水面漂浮的污物, 换水量为(150—300)%/d, 换水前用毛巾擦拭桶壁污物。试验分 3 组, 每组设 3 个重复。

明胶组: 100%壁材明胶微胶囊饲料

乙基纤维素组: 100%壁材乙基纤维素微胶囊饲料

玉米醇溶蛋白组: 100%壁材玉米醇溶蛋白微胶囊饲料

养殖至 45 日龄即黄姑鱼稚鱼末期结束。

1.7 生长性能测定

成活率为试验结束时鱼苗数量与试验前鱼苗数量的比值。体重用滤纸吸干体表水分后用电子天平测定, 精确到 0.1 mg。全长用体视显微镜测量, 精确到 0.1 cm。

1.8 消化酶活力测定

在饥饿 24h 后, 鱼苗经自来水清洗后于-80℃保存, 用于消化酶活力测定。分离出鱼肠段, 加入 5 倍质量双蒸水, 用匀浆器匀浆, 匀浆液于高速冷冻离心机 10000 r/min、4℃离心 20min, 取上清液测定。胰蛋白酶参照 Chong 等^[7]方法, 以酪蛋白为底物; 淀粉酶参照 Natalia 等^[8]方法, 以可溶性淀粉为底物; 碱性磷酸酶参照 Bessey 等^[9]方法, 以 p-Nitrophenyl-phosphate (PNPP) 为底物; 蛋白质含量参照 Bradford^[10]方法, 酶活力用比活力(U/mg 蛋白)表示。

1.9 数据分析

试验数据以平均值±标准差(Mean±SD, n=3)表示。采用 SPSS 19.0 单因素方差分析进行统计分析, 差异显著后进行 Duncan 氏多重比较, P<0.05 表示为差异显著。

2 结果

2.1 饲料粒径分级及容积密度

微胶囊饲料的粒径分级与容积密度见表 2。粒径(178—590) μm 的 3 种微胶囊饲料质量均大于 50%，无大量粉尘(<150 μm)和大颗粒(>840 μm)饲料产生，饲料能满足稚鱼的摄食粒径要求。饲料容积密度为(49.8—54.8) g/100 mL，这使得饲料在海水中能

缓慢沉降。不同种类包衣壁材对微胶囊饲料粒径及容积密度无明显影响。

2.2 微胶囊饲料微观形态

微胶囊饲料微观形态见图 1。3 种微胶囊饲料形态均不规则，表面均有一层较为致密的包衣薄膜，由于壁材用量较小(与芯材的比例小于 5%)，部分样本颗粒出现包衣膜不完整。

表 2 微胶囊饲料的粒径分级与容积密度
Tab. 2 Frequency distribution of diameter and bulk density of the microencapsulated diet

壁材 Wall material		粒径 Diameter (μm)						
		<150	150—178	178—250	250—420	420—590	590—840	>840
明胶 Gelatin	含量 Content (%)	4.4	5.7	9.3	24.4	22.2	17.6	16.4
	容积密度(g/100mL) Bulk density	51.5	50.1	50.3	51.2	50.7	51.8	50.4
乙基纤维素 Ethyl cellulose	含量 Content (%)	5.2	6.1	11.0	20.3	21.6	18.5	17.3
	容积密度(g/100mL) Bulk density	53.0	52.4	53.6	54.8	51.8	52.6	50.2
玉米醇溶蛋白 Zein	含量 Content (%)	3.7	6.9	11.6	19.4	25.7	16.0	16.7
	容积密度(g/100mL) Bulk density	54.8	53.1	52.4	54.8	51.6	51.0	49.8

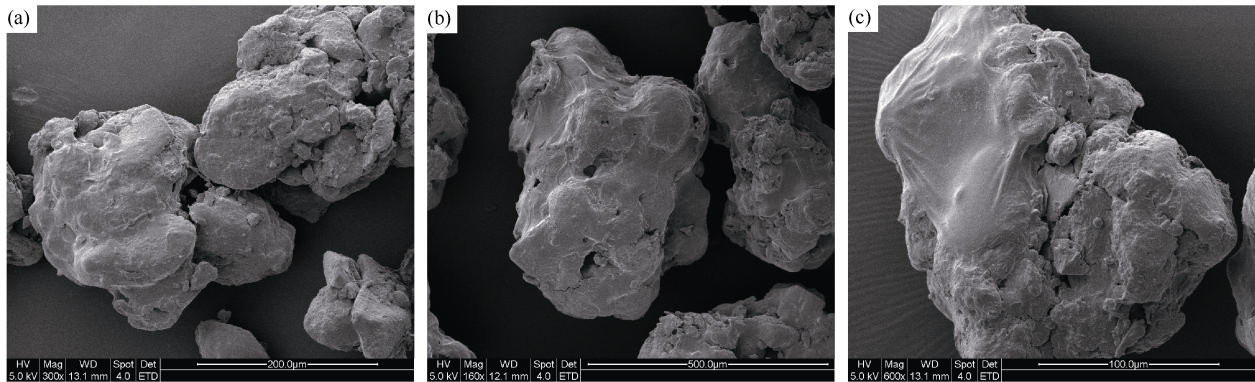


图 1 微胶囊饲料的微观形态

Fig. 1 SEM image of the microencapsulated diet

a. 壁材明胶; b. 壁材乙基纤维素; c. 壁材玉米醇溶蛋白
a. gelatin; b. ethyl cellulose; c. zein

2.3 饲料包含率、脂类包埋率和产率

微胶囊饲料的包含率、脂类包埋率和产率见表 3。包含率反映微胶囊壁材的用量，壁材明胶、乙基纤维素、玉米醇溶蛋白的质量分别占整个微胶囊饲料质量的 4.6%、4.4%和 4.2%。壁材玉米醇溶蛋白微胶囊饲料的脂类包埋率显著低于壁材明胶、乙基纤维素的微胶囊饲料($P<0.05$)。与明胶、玉米醇溶蛋白相比，乙基纤维素具有更为优良的成膜性能。

2.4 饲料氮保留率

微胶囊饲料的氮保留率见表 4。壁材乙基纤维素微胶囊饲料的氮保留率显著高于壁材明胶、玉米醇溶蛋白的微胶囊饲料($P<0.05$)，但壁材明胶微胶

表 3 微胶囊饲料的包含率、脂类包埋率和产率

Tab. 3 Inclusion efficiency, lipid encapsulation efficiency and production efficiency of the microencapsulated diet (%)

壁材 Wall material	包含率 Inclusion efficiency	脂类包埋率 Lipid encapsulation efficiency	产率 Production efficiency
明胶 Gelatin	95.4±0.4 ^a	72.6±4.5 ^b	97.6
乙基纤维素 Ethyl cellulose	95.6±0.3 ^a	76.5 ±3.9 ^b	96.4
玉米醇溶蛋白 Zein	95.8±0.3 ^a	64.3±4.6 ^a	97.5

注：同一列中不同的上标字母表示差异显著($P<0.05$)；下同
Note: Different letters within each column indicate significant differences ($P<0.05$); the same applies below

表 4 微胶囊饲料的氮保留率(%)

Tab. 4 Nitrogen retention efficiency of the microencapsulated diet (%)

壁材 Wall material	氮保留率 Nitrogen retention efficiency
明胶 Gelatin	53.5±3.4 ^a
乙基纤维素 Ethyl cellulose	62.3±2.8 ^b
玉米醇溶蛋白 Zein	54.6±4.1 ^a

囊饲料和壁材玉米醇溶蛋白微胶囊饲料的氮保留率差异不显著($P>0.05$)。

2.5 黄姑鱼稚鱼生长性能

黄姑鱼稚鱼生长性能如表 5 所示。明胶组稚鱼生长性能最高, 乙基纤维素组生长性能最低。明胶组、玉米醇溶蛋白组稚鱼的体重、全长均显著高于乙基纤维素组($P<0.05$), 但成活率差异不显著($P>0.05$)。

表 5 黄姑鱼稚鱼生长性能

Tab. 5 Growth performance of *Nibeal biflora* larvae

壁材 Wall material	体重 Wet weight (mg)	全长 Total length (cm)	成活率 Survival rate (%)
明胶 Gelatin	440.40±90.57 ^b	3.54±0.22 ^b	20.9±2.1 ^a
乙基纤维素 Ethyl cellulose	334.27±69.66 ^a	3.30±0.24 ^a	16.7±4.2 ^a
玉米醇溶蛋白 Zein	430.28±93.76 ^b	3.58±0.31 ^b	19.2±3.7 ^a

2.6 黄姑鱼稚鱼消化酶活力

黄姑鱼稚鱼消化酶活力如表 6 所示。明胶组稚鱼胰蛋白酶活力显著高于乙基纤维素组、玉米醇溶蛋白组($P<0.05$), 但淀粉酶和碱性磷酸酶的活力差异均不显著($P>0.05$)。玉米醇溶蛋白组稚鱼胰蛋白酶、淀粉酶的活力均高于乙基纤维素组, 但差异不显著($P>0.05$)。

表 6 黄姑鱼稚鱼消化酶活力(U/mg 蛋白)

Tab. 6 Digestive enzyme activity of *N. albiflora* larvae (U/mg protein)

壁材 Wall material	胰蛋白酶 Trypsin	淀粉酶 Amylases	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatases
明胶 Gelatin	39.7±3.6 ^b	0.11±0.02 ^a	82.6±7.8 ^a
乙基纤维素 Ethyl cellulose	30.6±4.5 ^a	0.09±0.02 ^a	75.3±5.7 ^a
玉米醇溶蛋白 Zein	31.3±3.7 ^a	0.10±0.02 ^a	73.4±6.6 ^a

3 讨论

本研究采用湿法制粒, 制备的饲料粒径分布均

匀, 制粒时间短且能耗低^[11]。制粒后经流化床干燥, 干燥温度低、速度快且均匀, 保持了饲料适口性且防止热敏性营养成分失去活性。包衣的基本过程为: 当颗粒通过包衣区域时, 包衣液喷射到颗粒表面, 陆续形成小块衣膜, 随着小块衣膜连续重复在颗粒表面包裹, 衣膜完整度、厚度稳定增加^[12]。包衣液有助于颗粒黏连, 较易出现饲料结块的现象, 可降低包衣液流速, 增大饲料的流化性能来防止大颗粒的产生。由于本研究的壁材用量少, 与芯材的用量相比低于 5%, 造成包衣膜的完整度和厚度均较低。

壁材的选择需依据微胶囊产品特征、性能及加工方法等。在理论上, 营养性物质的壁材更有助于稚鱼对微胶囊饲料的消化利用。明胶为优良的蛋白质, 在微黏饲料中既可提供蛋白源, 又作为黏合剂^[13]。乙基纤维素理化性质较为稳定, 因其不溶于水, 主要用作制备缓控释微胶囊使药效持续释放, 可为微胶囊饲料壁材^[14]。玉米醇溶蛋白可形成透明有光泽的薄膜, 用作片剂包衣具有防潮防霉等作用, 可用于虾用氨基酸微胶囊壁材^[15]。至于其他包衣材料, 如壳聚糖、聚丙烯酸树脂等, 可尝试用作仔稚鱼微胶囊饲料壁材^[16]。采用乙基纤维素、玉米醇溶蛋白复合壁材, 制备工艺可行, 需要养殖试验验证效果。

饲料黏结力的大小影响水中稳定性, 而黏结效果受黏合剂的种类、添加量、原料粒度等因素影响。在本研究中, 由于颗粒表面粗糙, 包衣膜不完整, 水容易渗透进饲料。在加工工艺和芯材物质含量相同的前提下, 壁材性质是决定微胶囊饲料水中稳定性的重要因素。选用非水溶性壁材、增加壁材的用量均可提高饲料的水中稳定性。需要在微胶囊饲料消化性和壁材用量之间找到合适的平衡点。

黏合剂种类及用量影响微黏饲料适口性、可消化性等, 从而进一步影响仔稚鱼生长性能。Partridge 和 Southgate^[17]用不同种类的微黏饲料饲喂尖吻鲈稚鱼, 结果表明(2—3)%明胶和褐藻胶为黏合剂, 稚鱼生长效果最佳。壁材的质地硬度影响仔稚鱼对饲料的消化分解能力, 交联法制备的微胶囊饲料质地较硬, 很难被舌齿鲈仔稚鱼消化^[18]。因此壁材的选择非常重要, 尽量确保微胶囊饲料在水体中高效保持营养成分, 在仔稚鱼消化道有效释放芯材营养成分。与明胶相比, 乙基纤维素更适合作为日本对虾仔稚幼体微胶囊饲料的壁材^[19]。本研究的生长性能结果表明明胶更适合作为黄姑鱼稚鱼微胶囊饲料壁材。

从各试验组稚鱼的消化酶活力情况来看, 生长率与酶活力呈相关性。仔稚鱼较低的消化能力以及缺乏功能性的胃, 被认为是微粒饲料难以消化的原因。一般来说, 仔稚鱼的蛋白水解酶活力比脂类水解酶活力高, 蛋白类壁材的微胶囊饲料比脂类壁材的微胶囊饲料更有利于仔稚鱼消化吸收。明胶、玉米醇溶蛋白均为蛋白质, 在体内的消化主要依靠蛋白酶, 但玉米醇溶蛋白不溶于水, 难以消化。乙基纤维素需要纤维素酶降解, 仔稚鱼消化道较短, 纤维素酶活力甚微, 难以检测, 推测可能是造成饲喂壁材乙基纤维素微胶囊饲料的稚鱼生长效果不佳的原因。

消化酶活力不能有效反映营养成分在消化系统中的消化和吸收状况。Tesser 和 Portella^[20]用扫描电镜成功地观察到微胶囊饲料在仔稚鱼消化道中的降解, 以了解微胶囊饲料的消化过程。消化性是研制仔稚鱼微胶囊饲料的关键。由于仔稚鱼粪便收集十分困难, 故难以准确评定饲料的消化率及其营养价值。采用同位素标记等研究方法可测定仔稚鱼的体内消化率, 但是此项技术成本高昂, 操作复杂, 且局限于某种饲料或某种原料, 不能广泛应用于所有的微粒饲料和生物活饵。因而需要深入研究微胶囊壁材在黄姑鱼仔稚鱼消化道的降解情况, 为选择合适的壁材种类和用量提供理论依据。

本研究结果表明, 与乙基纤维素、玉米醇溶蛋白相比, 以明胶为壁材的微胶囊饲料具有较高的包埋率、水中稳定性好且容易被黄姑鱼稚鱼消化吸收的特点, 因而更适合作为黄姑鱼稚鱼微胶囊饲料的壁材。

参考文献:

- [1] Rønnestad I, Yúfera M, Ueberschär B, *et al.* Feeding behaviour and digestive physiology in larval fish: current knowledge, and gaps and bottlenecks in research [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2013, **5**(Suppl. 1): s59—s98
- [2] Yu H R, Mai K S, Ma H M, *et al.* Evaluation of microdiets versus frozen copepods on growth, survival and selected chemical composition of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* larvae [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, **36**(1): 49—56 [于海瑞, 麦康森, 马洪明, 等. 微颗粒饲料与冰冻桡足类对大黄鱼稚鱼生长、存活和体成分的影响. *水生生物学报*, 2012, **36**(1): 49—56]
- [3] Gouin S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2004, **15**: 330—347
- [4] Xie Z, Wang F, Lou B, *et al.* Retention efficiency and release of nutrients in the digestive tract of larval shrimp (*Penaeus japonicus* Bate) using different microencapsulated diets [J]. *Aquaculture International*, 2013, **21**: 667—678
- [5] Lou B, Shi H L, Mao G M, *et al.* Studies on techniques of the artificial breeding and large size gingerling cultivating of Spotted Maigre (*Nibea albiflora*) [J]. *Modern Fisheries Information*, 2011, **26**(3): 20—23 [楼宝, 史会来, 毛国民, 等. 黄姑鱼全人工繁育及大规模苗种培育技术研究. *现代渔业信息*, 2011, **26**(3): 20—23]
- [6] Xie Z, Wang F, Liu H, *et al.* Gelatin-walled microencapsulated diet for larval shrimp (*Penaeus japonicus* Bate) manufactured using fluidized bed coating process [J]. *Aquaculture Research*, 2010, **42**: 65—73
- [7] Chong A, Hashim R, Chow-Yang, *et al.* Partial characterization and activities of proteases from the digestive tract of discus fish (*Symphysodon aequifasciata*) [J]. *Aquaculture*, 2002, **203**: 321—333
- [8] Natalia Y, Hashim R, Ali A, *et al.* Characterization of digestive enzymes in a carnivorous ornamental fish, the Asian bony tongue *Scleropages formosus* (Osteoglossidae) [J]. *Aquaculture*, 2004, **233**: 305—320
- [9] Bessey O A, Lowry O H, Brock M J. A method for the rapid determination of alkaline phosphatase with five cubic millimeters of serum [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1946, **164**: 321—329
- [10] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding [J]. *Analytical Biochemistry*, 1976, **72**: 248—254
- [11] Agrawal R, Naveen Y. Pharmaceutical processing—a review on wet granulation technology [J]. *International Journal of Pharmaceutical Frontier Research*, 2011, **1**(1): 65—83
- [12] Gibbs B F, Kermasha S, Alli I, *et al.* Encapsulation in the food industry: a review [J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 1999, **50**: 213—224
- [13] Rosas C, Tut J, Baeza J, *et al.* Effect of type of binder on growth, digestibility, and energetic balance of *Octopus maya* [J]. *Aquaculture*, 2008, **275**: 291—297
- [14] Chen X B. The related research on microdiets processing technology of flounder fish [D]. Thesis for Master of Science. Ocean University of China, Qingdao, 2011 [陈笑冰. 鲆鲽鱼类微颗粒饲料加工工艺的相关研究. 硕士学位论文, 中国海洋大学, 青岛, 2011]
- [15] Niu H X, Zhu A X, Chang J, *et al.* Study on preparation process and release mechanism of microencapsulation lysine [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, **125**(8): 16—21 [牛化欣, 祝爱侠, 常杰, 等. 微胶囊赖氨酸制备工艺及其缓释效果研究. *食品工业科技*, 2012, **125**(8): 16—21]
- [16] Anas A, Philip R, Singh I S B. Chitosan as a wall material for a microencapsulated delivery system for *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) larvae [J]. *Aquaculture Research*, 2008, **39**: 885—890

- [17] Partridge G J, Southgate P C. The effect of binder composition on ingestion and assimilation of microbound diets (MBD) by barramundi *Lates calcarifer* Bloch larvae [J]. *Aquaculture Research*, 1999, **30**: 879—886
- [18] Fernández-Díaz C, Yúfera M. Capacity of gilthead seabream, *Sparus aurata* L., larvae to break down dietary microcapsules [J]. *Aquaculture*, 1995, **134**: 269—278
- [19] Xie Z, Wang F, Zhu A, et al. Effects of diets microencapsulated with different wall materials on growth and digestive enzymes of the larvae of *Penaeus japonicus* Bate [J]. *Journal of Shellfish Research*, 2011, **30**: 133—138
- [20] Tesser M B, Portella M C. Degradation analysis of microencapsulated diet in pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) larvae intestine through scanning electron microscopy (SEM) [J]. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 2003, **1**: 49—52

EFFECTS OF DIFFERENT WALL MATERIALS OF THE MICROENCAPSULATED DIETS ON THE GROWTH AND DIGESTIVE ENZYME ACTIVITY OF *NIBEALBIFLORA* LARVAE

XIE Zhong-Guo^{1,2}, WANG Fu-Rong^{1,2}, LUO Yu-Shuang¹, YANG Pin-Hong¹, WANG Wen-Bin¹ and LOU Bao³

(1. College of Life Science, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China; 2. Zhoushan Marine Biological Productivity Promotion Center Co., Ltd., Zhoushan 316100, China; 3. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316100, China)

Abstract: In this study, we evaluated the effects of different wall materials of microencapsulated diets on the growth and the digestive enzyme activity of *N. albiflora* larvae. Three groups of diets were microencapsulated with gelatin, ethyl cellulose, and zein. The microencapsulated diets were prepared with wet granulation and fluidized bed coating process. More than 50% of the microencapsulated diets had diameters between 250 μm and 590 μm . Scanning electron microscopy microphotographs showed that the surface of the microencapsulated diet was covered by a dense film. The inclusion efficiency of the gelatin, ethyl cellulose, and zein groups was 95.4%, 95.6% and 95.8%, respectively; the lipid encapsulation efficiency was 72.6%, 76.5% and 64.3%, respectively; the nitrogen retention efficiency was 53.5%, 62.3% and 54.6%, respectively. A 30-day feeding experiment was conducted with the larvae at DAH 15. At DAH 20, the larvae were weaned from copepods to the experimental diets. The wet weight and total length of larvae from the gelatin group and the zein group were significantly larger than those from the ethyl cellulose group ($P < 0.05$). There was no significant difference in the survival rate between the groups. The trypsin activity of the larvae from the gelatin group was significantly higher ($P < 0.05$) than the ethyl cellulose group and the zein group. There were no significant differences in the amylases activity and the alkaline phosphatases activity between the groups. Therefore compared to ethyl cellulose and zein, gelatin should be more suitable for the wall material of the microencapsulated diets for *N. albiflora* larvae.

Key words: *Nibea albiflora*; Larvae; Microencapsulated diet; Growth; Digestive enzyme activity