

# 滤食性贝类营养需求和代用饲料研究进展\*

## NUTRITION REQUIREMENT AND ARTIFICIAL DIET OF FILTER-FEEDING BIVALVIA: A REVIEW

王 健 王 萍 何义朝

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

1997年我国海水养殖产量为  $7.91 \times 10^6$  t, 其中贝类为  $6.5 \times 10^6$  t, 占 82.2%。目前, 在海洋双壳贝类人工育苗过程中, 使用的饵料主要是活的单胞藻, 此间要涉及两个技术环节, 即单胞藻的培养和亲贝的培育。对单胞藻的依赖所造成的技术困难和高成本早已引起了人们的重视。为解决这一问题, 人们开始研究在育苗过程中使用代用饲料或配合饲料代替单胞

藻。目前对于贝类代用饲料的研究主要集中于贻贝、扇贝和牡蛎等一些重要的经济贝类。

---

\* 国家重点基础规划项目 G1999012012 号, 中国科学院重大课题 A47971809E 号; 中国科学院海洋研究所调查报告第 3801 号。

收稿日期: 1999-05-11; 修回日期: 1999-06-11

表 1 已研究的贝类种类和代用饲料

贝类种类	饵料种类	参考文献
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	藻类; 糖类	Langdon 和 Waldock, 1981 年
牡蛎 <i>Ostrea edulis</i>	鱼油、大豆卵磷脂、植物油、维生素 E	Heras 等, 1994 年
悉尼岩牡蛎 <i>Saccostrea commercialis</i>	酵母	Nell 等, 1996 年 <sup>[8]</sup>
贻贝 <i>Mytilus edulis</i>	藻类; 悬浮底泥	Kiprboe 等, 1981 年
贻贝 <i>Mytilus galloprovincialis</i>	藻类; 悬浮底泥	Navarro 等, 1996 年 <sup>[7]</sup>
硬壳蛤 <i>Mercenaria mercenaria</i>	面包酵母; 藻类	Coutteau 等, 1994 年
蛤仔 <i>Tapes philippinarum</i>	藻类, 富含高级不饱和脂肪酸(HUFA)的乳剂	Caers M. 等, 1998 年 <sup>[4]</sup>
蛤仔 <i>Tapes decussatus</i>	藻类; 豆粉; 黑麦粉; 鱼粉	Lamela T. 等, 1996 年 <sup>[6]</sup>
扇贝 <i>Placopecten agellanicus</i>	藻类; 海带粉; 悬浮底泥	Cranford 和 Grant, 1990 年
海湾扇贝 <i>Argopecten irradians</i>	单胞藻和鱈鱼粉	Burle 和 Kirby-smith, 1979 年

## 1 对主要营养物质的需求情况

对贝类营养需求的研究主要集中于三大类营养物质,特别是糖类和脂肪。有关核酸、无机盐、维生素等方面研究还有待开展。

### 1.1 蛋白质

单胞藻富含蛋白质(30%~60%),因此人们设想贝类对蛋白质需求量很大。然而试验结果却出乎意料。Flaak 和 Epifanio 1978 年发现处于指数生长期或平台期,在不同的光照培养下的硅藻(*Thalassiosira pseudonana*)生化成分不同。就蛋白质含量而言,平台期>指数生长期,蓝光>冷白光> Agro-lite。用 6 组饵料分别投喂美洲牡蛎(*Crassostrea virginica*)稚贝,冷白光下平台期的硅藻投喂的幼贝干重和壳高的生长最为迅速,糖元含量也最高。因此他们认为饵料中富含糖类而不是蛋白质会促进牡蛎生长。Thompson 和 Harrison 1992 年分别用生长于强光和弱光下的硅藻(*T. pseudonana*)投喂美洲牡蛎(*C. virginica*)幼虫,发现投喂生长于强光下的藻类的幼虫生长迅速。生长于强光下的藻类饱和脂肪酸 14:0 和 16:0 及糖类含量较高而蛋白质和脂类 22:2 $\omega$  含量较低。并且生长于强光下的藻类 22:6 $\omega$ -3 含量相对较高而 20:5 $\omega$ -3 含量较低。因此他们认为糖类、脂肪酸 14:0, 16:0 和 22:6 $\omega$ -3 对贝类生长更为重要。然而,对待这些结果应非常谨慎,因为不同培养条件造成饵料细胞的差别,如:可消化性、毒性、细胞大小以及其他营养成分的差别,都可能影响实验结果。Winter 1974 年分别用单胞藻、动物性原料和植物性原料粉投喂贻贝(*M. edulis*),仅投喂单胞藻的个体干重增加了。Burle 和 Kirby-smith 1979 年用单胞藻和鱈鱼粉投喂海湾扇贝

(*A. irradians*)发现:尽管贝类大量摄食鱈鱼粉,但其生长仅为投喂单胞藻的对照组的 66%。因此他们认为,滤食性贝类摄食选择性不高,几乎可滤净水体中的有机颗粒。然而,这些高蛋白(40%)的非生命颗粒会在贝类的胃和肠道中大量凝聚,使贝类难以消化。但 Lamela 等<sup>[6]</sup>却有着不同的观点,他们将豆粉、小麦淀粉、鱼粉以不同比例混合,投喂蛤仔(*T. decussatus*),以单胞藻饵料为对照。所有饵料都能使蛤仔的壳长明显增长。除投喂 100% 鱼粉的一组外,各组蛤仔组织干重都有不同程度的下降。只有蛋白质丰富的纯鱼粉饵料使蛤仔的重量增加了,为 3.44 mg/月,接近单胞藻饵料的效果。在贝类饵料中,蛋白质是重要的和必要的,但贝类对蛋白质的需求情况,特别是对必需氨基酸的需求情况仍有待进一步研究。

### 1.2 糖类

单胞藻中的糖类主要是淀粉和纤维素,其含量约为 10%~30%。可消化的淀粉类糖类是主要的能源物质,而不可消化的纤维素类糖类对于调节消化速度也有着重要作用。研究者发现,在贝类饵料中,淀粉类糖类起着非常重要的作用。Camacho 等 1998 年<sup>[5]</sup>研究了玉米粉和玉米淀粉饲料对蛤仔(*R. decussatus*)苗种生长的影响。蛤仔苗种生长的最适投饵量为贝类湿重的 2%。在此投饵量下,用相等重量的玉米淀粉(99%为糖类)替换一半数量的单胞藻,蛤仔苗种有机物重的增长率为藻类饵料的 87.9%,干重和湿重的增长率分别为 89.6%和 87.9%。而使用玉米粉(含有 10%的蛋白质和 90%的糖类)代替玉米淀粉时,效果更好,其有机物重的增长率几乎与藻类饵料相同(99.0%),干重和湿重的增长率则分别高出 6.2%和 5.9%。Enright 等 1986 年用生化成分不同的 3 组

*Chaetoceros gracilis* Schütt 投喂牡蛎 *Ostrea edulis*。用完全 2/f 培养基 (对照) 与硅酸盐受限的培养基培养的藻细胞蛋白质含量相同,而在氮受限的培养基下,蛋白质含量低于前两种条件下的 60%。硅酸盐受限组脂类含量是另两组的 2 倍。3 种培养条件下氨基酸组成差异不大,优势脂肪酸都是 14 : 0, 16 : 0, 16 : 1  $\omega$ -7 和 20 : 5 $\omega$ -3。必需脂肪酸 22 : 6 $\omega$ -3 在对照组、硅酸盐受限组、氮受限组分别为: 0.23, 0.08, 0.10  $\mu\text{g} \cdot 10^6$  细胞。硅酸盐受限组和氮受限组的糖类含量比对照组高 1.6 倍和 3.2 倍。当投喂 75% 的对照组藻类和 25% 的氮受限组藻类时,牡蛎 *O. edulis* 的生长最快。因此,作者认为高水平的糖类含量有利于贝类生长。Flaak 和 Epifanio 1978 年, Thompson 和 Harrison 1992 年等的实验也表明,淀粉含量高的饵料有利于贝类生长。

### 1.3 脂类

近年来,人们发现脂类不仅是一种重要的能源物质,也是维持动物正常代谢活动的重要成分。在贝类的育苗过程中,为亲贝提供良好的营养条件对于保证精卵质量、幼虫和幼体的体质是极为重要的。Napolitano 等 1988 年的研究表明,二十二碳六烯酸 (DHA, 22 : 6 $\omega$ -3) 和二十碳五烯酸 (EPA, 20 : 5 $\omega$ -3) 在贻贝 (*M. edulis*) 幼虫体内脂肪酸组成中占有相当大的比例。Helm 等 1973 年和 Napolitano 等 1988 年报道了中性脂肪酸成分对刚孵化的贻贝 (*M. edulis*) 幼虫的营养作用,他们指出体内中性脂肪酸含量较高的幼虫生长和发育明显较好。Trider 和 Castell 1980 年也认为高级不饱和脂肪酸,如 EPA 和 DHA,对双壳类幼虫的发育是十分重要的。Covey 等 1976 年, Covey 和 Sargent 1979 年, Longdon 和 Waldock 1981 年的实验都表明,对多种海洋生物而言,缺乏 22 : 5 $\omega$ -3 和 22 : 6 $\omega$ -3 会抑制个体生长。Covey 和 Sargent 1979 年认为,在水温持续较低海洋环境中,动物需要大量的高级不饱和脂肪酸来维持细胞膜的流动性。Kanazawa 等 1979 年向多种淡水和海水生物注射了用<sup>14</sup>C 标记的亚麻酸 (18 : 3 $\omega$ -3)。他们在淡水生物体内发现了带标记的 22 : 5 $\omega$ -3 和 22 : 6 $\omega$ -3,而在海洋生物中却几乎未检测到。这表明,与淡水生物不同,海洋生物难以在体内合成长链高级不饱和脂肪酸。为了增加必需脂肪酸,特别是 EPA 和 DHA 的含量,必须在贝类饵料中补充这类成分。研究者在这方面做了大量的工作。Robinson 1991, 1992 年在长牡蛎 (*C. gigas*) 育苗过程中使用了

脂质微球体来提高饵料中脂类的含量。Horacio 等 1994 年将鱼油、大豆卵磷脂、植物油和维生素 E 以 50 : 20 : 29 : 1 的比例混合,用超声波处理形成脂质微球体。其中鱼油也可用一种浓缩的  $\omega$ -3 脂肪酸乙酯替代,从而增加必需脂肪酸 EPA 和 DHA 的含量。微球体直径为 1~20  $\mu\text{m}$ ,可被成体牡蛎 (*O. edulis*) 摄食。对微球体脂类成分的分析表明,鱼油三酰甘油酯含量高于 75% (重量比,下同),或必需的高级不饱和脂肪酸乙酰酯含量高达 64%。在 21  $^{\circ}\text{C}$  的高温中,微球体在循环水体中是稳定的。将其储存 8 d 后测定其氧化产物并未增加。以荧光物质标记,测定,牡蛎可利用单胞藻-微球体混合饵料中 50% 的微球体。Langdon 等 1985 年指出,脂类易被双壳类消化道中的脂肪酶消化,因此有人考虑使用脂膜微囊作为滤食性贝类的一种营养传输载体。Parker 和 Selivonchick 1986 年用放射性标记的脂类制成脂膜微囊,投喂长牡蛎 (*C. gigas*),观察其摄食和利用情况。在 24 h 内,贝类可摄食 40% 的含有 [<sup>14</sup>C] 的胆固醇或 [<sup>14</sup>C] 二棕榈酰磷脂酰乙醇胺 (DPPC) 的脂膜微囊。用放射性自显影法观察发现:大多数标记物出现在贝类肠道上皮细胞中。用异硫氰酸荧光素 (FITC) 标记的脂膜微囊或含有异硫氰酸荧光素标记的清蛋白的脂膜微囊投喂牡蛎,在荧光显微镜下观察,发现其组织分布与放射性示踪法的观察结果相似。放射性标记的 [<sup>14</sup>C] DPPC 重新分布于 triacylglycerides 和磷脂酰乙醇胺中,偶尔也分布于磷脂酰胆碱,即卵磷脂中。它似乎参与了转酰基作用而不是全程合成。用脂膜微囊包裹放射性标记的<sup>14</sup>C 葡萄糖或氨基酸投喂牡蛎,标记物主要出现在不可溶的遇酸沉淀物质中。这表明它们参与了多聚糖类和蛋白质的合成。贝类对脂膜微囊的摄食以及对组成脂膜微囊的脂肪酸和脂膜微囊所包裹物质的代谢利用充分体现了其作为一种营养传输载体的潜力。

## 2 几种代用饲料及其效果

目前已研究过的代用饲料主要有:海带粉、酵母、淀粉、豆粉、地瓜粉、鱼粉、鱼油和植物油等。

### 2.1 海带粉

近年来, Widdows 等 1979 年, Seiderer 和 Newell 1985 年, Lucas 等 1987 年对于近岸海区滤食性贝类碳收支的研究表明,除单胞藻外,海区中有机碎屑和浮游细菌也是贝类重要的食物来源。Tenore 和 Hanson

1980年认为大型海藻碎屑中营养成分易被植食性动物吸收。Stuart等1982年指出贻贝(*Aulacomys ater*)对海带碎屑的吸收率为50%，他认为海带碎屑似乎比微藻细胞更易消化。Seiderer等1982年，Lucas和Newell 1984年对双壳贝类消化酶的研究也表明许多种类能够消化大型海藻碎屑中的主要成分。Cranford等1990年将干海带磨碎后放入过滤海水中，充气，浸泡4~6d后投喂扇贝(*Pecten magellanicus*)，其吸收率平均可达87%，作为对照的单胞藻的吸收率约为70%。但未浸泡的海带粉显得不易消化，其吸收率为0~60%不等。浸泡后扇贝对海带粉吸收率的增加可能是由于水体中微生物的降解作用以及可溶成分的浸出。Stuart等1982年也发现将海带碎屑浸泡后，贻贝对它的吸收率大为增加。仅就吸收率来说，浸泡过的海带粉是一种较好的贝类代用饲料。然而，在Cranford等1990年的实验中，投喂海带粉的扇贝的生长率比投以单胞藻(相同重量比)的对照组未见提高，这可能是由于它有机N含量较低及贝类对它的摄食率不高所致。Stuart 1982年指出，尽管浸泡可以增加贝类对大型藻碎屑的吸收，但微生物对于碎屑中富含能量的成分迅速的利用使它不能满足贝类的能量需求。

## 2.2 酵母

Hernandez-Saavedra等1992年认为，酵母普遍存在于海水中，很可能是滤食性贝类天然饵料的组成部分。Nell 1993年指出，酵母的世代周期短于微藻且所用培养基成本低于微藻。因此人们一直希望使用酵母替代微藻作为贝类饵料。Nell 1993年在一种以淀粉为基础的悉尼岩牡蛎(*Saccostrea commercialis*)育肥饵料中，使用了干酵母(*Candida utilis*)作为蛋白源取得了一定的成功。Brown等<sup>[3]</sup>在培育悉尼岩牡蛎幼苗时，用活酵母替代86%(干重)的微藻，牡蛎的重量增加为对照组(投单胞藻)的63%~81%。Urban和Langdon 1984年用25%~50%的干酵母(*C. utilis*)替代活的藻细胞投喂美洲牡蛎时，其重量增加为投藻的对照组的60%~90%。Epifanio 1979年对4种滤食性贝类投以由不同比例的酵母(*C. utilis*)和硅藻(*T. pseudonana*)组成的饵料。当投以含有50%的酵母饵料时，海湾扇贝(*Argopecton irradians*)，硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)和贻贝(*Mytilus edulis*)的幼贝生长与对照组一样快或更快些。美洲牡蛎(*Crassostrea virginica*)的软体部生长随着饵料中酵母饵料的数量增加而减少。由此可见，以酵母替代部分单胞藻是可行的，而完

全以酵母为饵料似乎不太可行。Nell等<sup>[5]</sup>采用6种酵母，分别以葡萄糖和乙酸为碳源，以及3种干酵母为饵料投喂悉尼岩牡蛎苗种，生长情况最好的一组牡蛎的重量增加也只达到投单胞藻的对照组的67%。用化学方法处理酵母细胞壁可提高其营养价值，如Coutteau等1990年用巯基化合物处理酵母细胞(*Candida utilis*)，其易被贝类消化。Coutteau等1993年用处理后的酵母细胞投喂长牡蛎(*Crassostrea gigas*)，其重量增加可达对照组的74%~89%。综上所述，酵母饵料并不是一种非常合适的代用饲料。Epifanio 1979年；Nell 1985年；Urban和Longdon 1984年认为酵母对双壳贝类的营养价值有限是因为它们难以消化以及所含营养的不平衡。Reid 1983年的研究表明，双壳贝类的消化系统中有各种糖类酶，包括昆布多糖酶和几丁质酶以消化藻中的糖类，然而Coutteau等1990年认为这些酶类对于由多糖组成的酵母细胞壁却无能为力。

## 2.3 悬浮底泥

Ovial和Nixon 1981年认为在近岸浅水区，通常存在着大量的悬浮起来的底部物质。因此，研究滤食性贝类的生长和能量需求时，必须考虑悬浮底泥的影响。Kjørboe等1981年发现，在不同浓度(0~20 000细胞/ml)的单胞藻(*Phaeodactylum tricornutum*)中，加入5 mg/L的悬浮底泥，贻贝(*Mytilus edulis*)的滤水率增加了32%~43%，生长率增加了30%~70%。在实验中，贻贝同化的有机物有20%~30%来自加入的悬浮底泥。Navarro等1996年<sup>[7]</sup>将相同重量的藻类和悬浮底泥混合，投喂贻贝(*M. Galloprovincialis* Lmk)，其滤水率和吸收效率达到最大。而仅加入无机颗粒并不能使贝类的吸收效率达到最大，由此可知，悬浮底泥中的有机物质有助于贝类吸收效率的提高。另外，对纯单胞藻饵料和混合饵料的效果比较表明，底泥可能通过改善贝类胃内对单胞藻的机械处理从而提高贝类的吸收效率。综上所述，底泥作为滤食性贝类天然饵料的一部分，对于提高贝类滤水率和吸收效率，增加贝类生长率有一定效果。

## 2.4 “扇贝边”

随着扇贝养殖业的发展，扇贝加工业方兴未艾。每年加工干贝的过程中，大量的内脏团和外套膜(“扇贝边”)被作为废物扔掉。这既污染了环境，又浪费了资源。苏秀榕等<sup>[2]</sup>和毛文君等<sup>[1]</sup>对“扇贝边”进行了营养成分分析，贝边的蛋白质含量与全贝几乎相等，8种必需氨基酸含量在全贝和贝边之间也没有太

大差异。贝边中还含有大量的糖类和脂类。Langdon 和 Waldock 1981 年用牡蛎抽提物(脂类)投喂牡蛎,发现牡蛎生长明显增加。因此,可以考虑将贝边作为一种有效的贝类饵料成分加以利用。

## 2.5 其他

张福绥等 1985 年;于瑞海等 1991 年;Lamela 等<sup>[6]</sup>指出常用代用饲料还有鱼粉、淀粉、豆粉、地瓜粉、海藻磨碎液等。豆粉和海藻磨碎液虽然能在一定程度上满足贝类的营养需求,但其易败坏水质,不利于贝类生长,故其实用价值有限。淀粉、鱼粉、脂类的情况这里就不再赘述。

综上所述,单胞藻无疑是贝类的最佳饵料,目前还没有哪种饵料可以完全替代它。但是,在深入研究贝类营养需求的情况下,综合使用多种营养物质,可能会取得较为理想的结果。

## 3 饲料加工

滤食性贝类具有滤水快,摄食量大,选择性不高,口径小,饲料粒径要求高的特点。因此,在贝类营养学和饲料研究中实验方法显得十分重要。研究者在这方面已做了许多有益的工作,并得到了一些实用化的饲料加工方法,如:微胶囊饲料,脂膜微囊饲料和脂质微球体饲料等,现将贝类营养学和饲料研究中常用饲料加工方法详述如下:

### 3.1 脂类饲料

脂类不溶于水,因此向贝类投喂脂类,特别是定量地研究贝类对脂类的摄食和同化有一定的困难。研究者设计了多种饲料来研究贝类的脂类代谢。

3.1.1 微胶囊饲料 Langdon 和 Waldock 1981 年在脂滴外包裹一层明胶或金合欢胶凝胶壁形成胶微囊,作为脂类载体。制得的微胶囊平均直径为 2.75  $\mu\text{m}$ 。这种微胶囊还可用来包裹三油酸甘油酯、二十二碳六烯酸或牡蛎抽提物等。

3.1.2 脂膜微囊饲料 Langdon 和 Siegfried 1984 年用乙基纤维素和大西洋鲱鱼油制备了一种脂膜微囊,用来向滤食性贝类传送低分子水溶性营养物质,如维生素等。脂膜稳定地包裹在水溶性维生素液滴表面,保证了贝类的摄食。Parker 和 Selivonchick 1986 年将鸡蛋卵磷脂、胆固醇和十八烯酸以 7:2:1 的比例混合制成脂膜微囊。这种微囊本身可加入荧光或放射性标记,也可包裹带有标记的特定的脂类、葡萄糖或氨基酸分子。这是一种高效精确的研究贝类消化、代谢活动的方法。

3.1.3 脂质微球体 Heras 等 1994 年将鱼油、大豆卵磷脂、植物油、维生素 E 以 50:20:29:1(重量比)的比例混合,用超声波处理,制备了一种脂质微球体,作为牡蛎的补充饲料。

## 2.2 糖类饲料

糖类在贝类的营养需求中占有相当大的比例。但是,淀粉在水中易沉降,不仅造成浪费,也给定量研究贝类的摄食和同化情况带来了一定困难。

2.2.1 纤维素微囊饲料 Langdon 和 Waldock 1981 年用乙基纤维素微囊包裹糊精,研究贝类的糖代谢取得了一定的成功。生成的微囊直径约为 6.75  $\mu\text{m}$ ,易被贝类摄食。

2.2.2 羧甲基纤维素微胶颗粒饲料 Langdon 和 Siegfried 1984 年制备了一种羧甲基纤维素微胶颗粒用来向滤食性贝类传送高分子水溶性营养物质。微胶粒中可包含蛋白质、淀粉、DNA(鲑鱼精子)和 RNA(酵母提取液)。此方法生成的饲料营养比较全面,是一种较为理想的贝类饲料。

好饲料加工方法对于定量研究贝类的营养需求,研制商品化代用饲料是必需的。以上是几种比较有代表性的饲料加工方法。在今后的研究工作中,可以根据需要,参考以上方法,设计出更加高效、实用的方法,推动滤食性贝类营养学和饲料研究。

目前各国学者在贝类营养学和饲料研制方面已做了许多有益的工作,但与鱼、虾营养学相比仍有不小的差距。今后,在贝类的能量代谢、对营养物质的消化吸收和消化率、消化酶以及适宜的饲料原料和加工工艺等方面,仍有许多工作要做。

## 参考文献

- 1 毛文君、李八方等. 海洋科学, 1997, 1: 10~12
- 2 苏秀榕、李太武等. 海洋科学, 1997, 2: 10~11
- 3 Brown M. R., S. M. Barrett, et al.. *Aquaculture*, 1996, 143: 341~360
- 4 Caers M., P. Coutteau, et al.. *Aquaculture*, 1998, 162: 287~299
- 5 Camacho A. P., M. Albentosa, et al.. *Aquaculture*, 1998, 160: 89~102
- 6 Lamela T., A. Otero, et al.. *J. Mar. Biotechnol.*, 1996, 3: 278~282
- 7 Navarro E., J. I. P. Iglesias, et al.. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1996, 198: 175~189
- 8 Nell J. A., J. A. Diemar, et al.. *Aquaculture*, 1996, 145: 235~243

(本文编辑:李本川)