

微拟球藻的水产饵料效果研究

刘建国, 殷明焱, 张京浦, 李宝泉, 孟昭才

(中国科学院 海洋研究所 海洋生物中心, 山东 青岛 266071)

摘要: 通过人工高密度培养微拟球藻 (*Nannochloropsis salina*), 对比研究了该藻作为直接饵料在栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 育苗和间接饵料在牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 育苗中的应用效果。结果表明, 微拟球藻生长迅速、细胞颗粒小、富含 EPA 等不饱和脂肪酸、营养比较全面, 同时具有较厚细胞壁的特点。通过不同的光生物反应器和高密度培养技术, 可以比较容易地实现微拟球藻的高密度培养, 藻液细胞密度维持在 5~15 亿个/mL 的高密度水平, 最高达到 36 亿/mL。藻体叶绿素和类胡萝卜素含量因培养条件不同而有差异, 其中每个细胞内的叶绿素含量在 $8.60 \times 10^{-13} \text{ g} \pm 0.65 \times 10^{-13} \text{ g}$, 类胡萝卜素含量在 $1.45 \times 10^{-13} \text{ g} \pm 0.12 \times 10^{-13} \text{ g}$ 。

作为直接或间接饵料, 微拟球藻在不同水产动物培育中的应用效果差异性很大。其中, 微拟球藻作为饵料直接投喂栉孔扇贝幼虫, 虽可被摄食但不容易消化, 造成食物在栉孔扇贝幼苗胃内滞留盈胀, 最后出现代谢性饥饿和营养不良现象进一步影响个体生长, 该藻在栉孔扇贝幼虫培育中的饵料效果不很理想。相反, 利用微拟球藻培育轮虫(Rotifer), 然后再将后者投喂牙鲆仔鱼, 作为间接饵料微拟球藻不仅大幅提高牙鲆的成活率, 同时还明显增加牙鲆的生长速度, 是培育仔稚鱼开口饵料轮虫的优质微藻。微拟球藻在不同水产动物育苗中应用效果明显差异的原因, 主要在于该藻是否能够被充分消化吸收。因此, 有效破碎微拟球藻细胞壁技术和提高消化吸收措施都将推动该藻在水产中的应用。

关键词: 微拟球藻 (*Nannochloropsis salina*); 饵料; 栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*); 轮虫(Rotifer); 牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*)

中图分类号: Q949 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096 (2007) 05-0004-06

近年来随着居民生活水平的提高和海洋水产捕捞量下降, 大大刺激了水产养殖业的发展。海洋微藻是水产养殖动物终生或特定发育阶段的饵料(或饵料生物的饵料), 其数量多寡和质量优劣都直接影响着水产动物孵化率、成活率及生长率等, 决定着水产养殖成败。研究发现饵料中多不饱和脂肪酸如二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)等对海鱼和斑节对虾(*Penaeus monodon*)影响效果明显^[1-8]。同时, 多数海洋微藻具有增加 n-3 和 n-6 系列脂肪酸链长和去饱和能力, 是多不饱和脂肪酸含量最多的生物类群^[9-11]。微拟球藻是海洋微藻大眼藻纲中的主要种群^[12], 富含不饱和脂肪酸(特别是 EPA)^[13], 并具有生长

迅速、细胞颗粒小^[14]的特点。

作者以微拟球藻为材料, 在人工高密度培养和营养分析的基础上, 比较在不同水产动物养殖中的饵料效果, 探讨了在水产育苗中应用的可能性。

收稿日期: 2006-06-12; 修改日期: 2006-08-22

基金项目: 中国科学院方向性创新项目(KZCX3-SW-215);

山东省科技项目(98-18)

作者简介: 刘建国(1964-)男, 研究员, 博士, 博士生导师, 从事藻类和藻类生物技术方面研究工作, 电话: 0532-82898709; E-mail: jgliu@ms.qdio.ac.cn

1 材料与方法

1.1 材料来源与培养方法

微拟球藻 (*Nannochloropsis salina*) 来自于以色列本古联大学。作为阳性对照比较的金藻 (*Isochrysis galbana* strain 3011) 和小球藻 (*Chlorella vulgaris*) 分别为中国科学院海洋研究所微藻种质库和藻类与藻类生物技术课题组保存品种。栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 担轮幼虫取自青岛徐家麦岛贝类开发中心, 由中国科学院海洋研究所贝类组孵化。牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 仔稚鱼由中国科学院海洋所鱼类课题组提供。

利用天然过滤海水按照 BG-11 配方制作培养液, 80 °C 消毒 5 min, 冷却到室温分别接种处于对数生长期的微拟球藻、小球藻和金藻 3011, 分别在平板、管道光生物反应器内通气培养 7~10 d, 藻液细胞密度达到 10^{11} 个/L 以上时, 按照 Liu 等^[15]的方法不断补充营养物质维持系统良性运转。采收后的样品进行类胡萝卜素等化学分析, 或者作为鲜活饵料直接投喂栉孔扇贝担轮幼虫与轮虫 (*Rotifer*), 轮虫又作为天然饵料进一步投喂刚刚孵化处于开口进食阶段的牙鲆仔稚鱼幼苗。

栉孔扇贝担轮幼虫分饥饿、微拟球藻、金藻 3011 以及微拟球藻和金藻 3011 混合 4 个组别培养, 其中微拟球藻组又分为低、中、高投喂量组, 分别是金藻投喂量的 1~3 倍, 即如果金藻第一天投喂细胞量为 2×10^7 个, 那么投喂微拟球藻细胞量分别为 2×10^7 、 4×10^7 和 6×10^7 个。上述实验组别分别设 3 个平行重复。栉孔扇贝担轮幼虫在室温和幼虫密度 5×10^3 尾/L 条件下培养, 饥饿组不投饵只大量换水, 其余组减少换水量 (隔天换水 50%)。饵料投喂量以金藻 3011 为标准, 从开始时的 2×10^7 个到实验后期的 8×10^7 个, 而混合组中投喂的微拟球藻和金藻各占 50%。

褶皱臂尾轮虫培养在 50 L 微拟球藻藻液中, 起始褶皱臂尾轮虫接种密度为 68 个/mL, 而微拟球藻细胞密度为 9×10^6 个/mL, 整个培养过程中不断投饵, 保持藻细胞密度在 3×10^6 个/mL, 并不断进行充气。

牙鲆幼苗培养在玻璃缸内, 每缸盛水体 5 L, 每缸放牙鲆仔稚鱼苗 50 尾, 分别以细胞颗粒大小相近和形态类似的小球藻和微拟球藻培育出的轮虫为饵料, 在室内 17 ± 1 °C 条件下养育 21 d。

1.2 生长和死亡率测定与计算

微拟球藻细胞测定采用血球计数板法, 3 种微

藻细胞均较小 (直径只有 2~4 μm), 每个样品需要在显微镜下仔细统计至少 20 次。栉孔扇贝分别采用测量幼虫壳长和壳高的方式, 牙鲆仔稚鱼生长采用测定鱼长度表示, 而死亡率分别以后期存活个体占初始个体百分数表示。

1.3 叶绿素和类胡萝卜素分析测定

叶绿素和类胡萝卜素提取采用丙酮法, 利用分光光度计测定光吸收^[16]。

2 结果与讨论

2.1 微拟球藻的基本生物学特点

Nannochloropsis 属的中文名目前存在一定混乱, 有多种不同名称, 属名全译应当为拟微绿球藻, 已经在发表的文章中使用^[17, 18]。该定名的优点是比较全面体现了该属微藻特性, 但是再加上种名 *salina* (盐生) 或 *oculata* (眼点), 完整名称就很长, 使用不方便; 而在台湾却将 *Nannochloropsis oculata* 简单地定名为拟球藻 (台湾水产饵料生物种源库及种源利用农委会), 不足之处是漏掉了部分信息, 比如非常重要的 Nanno-特点。为此, 1999 年作者特别向藻类学泰斗曾呈奎先生进行过请教, 认为取微拟球藻更合适 (在有的文章中也将其翻译为拟微球藻)。需要指出, 某些国内学者很容易将微拟球藻同其它藻种混淆, 如将 *Nannochloropsis oculata* 当作微绿球藻就是其一, 实际上微拟球藻同微绿球藻所指概念完全不同, 后者拉丁文为 *Nannochloris* 属于绿藻纲。而目前根据 *Nannochloropsis* 的生物学特性已经划归在新的 大眼纲 (Eustigmatophyceae) 中。需要指出, 微拟球藻在形态、大小和具有较厚细胞壁等特点上都与小球藻很类似, 通常难以观察其差异, 早年将微拟球藻混在绿藻纲中, 近来发现微拟球藻大量累积多不饱和脂肪酸 (特别是二十碳五烯酸, EPA), 这是小球藻中不具备的新特点^[19], 因此将微拟球藻从小球藻中分出并列在大眼纲中。

在室外利用 500 L 平板玻璃光生物反应器 (加盖封口防止雨水和灰尘), 在没有严格消毒情况下, 作者实现了连续培养微拟球藻 2 个多月, 并多批次地获得生物量, 高密度藻液干质量维持在 1.0~3.0 g/L。同样, 作者在室外利用 10 cm 光径的平板玻璃光生物反应器 (200 L) 培养微拟球藻, 实现了高密度培养 (细胞密度可以维持在 5~7 亿个/mL), 比目前饵料培养中小球藻密度提高了 100 倍左右。另外, 在室内连续人

工光照条件下,利用气升式螺旋管道(光径 1.2 cm)的光生物反应器培养微拟球藻,成功建立了超高密度培养体系(图 1)。细胞密度最高时达到 36 亿个/mL。比目前饵料培养中小球藻密度提高了 500~1 000 倍。上述不同类型的光生物反应器高密度培养结果表明,微拟球藻生长迅速,相对比较容易培养,不像其它微藻培养过程中常常出现生物污染而造成饵料培养失败。单从这点讲,微拟球藻在某些水产养殖中将会有很好的应用开发前景。

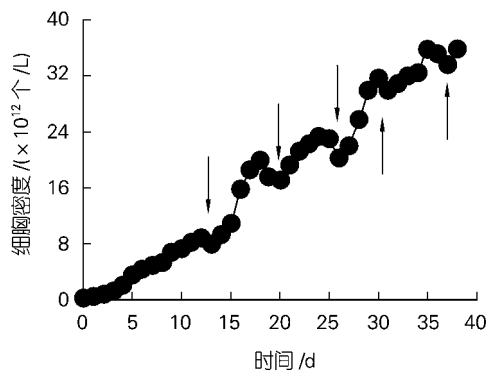


图 1 微拟球藻在管道光生物反应器中的高密度培养效果
Fig.1 A typical growth curve of dense culture *Nannochloropsis salina* in tubular photobioreactor
图中箭头表示补充营养
Arrow showed the day of nutrients addition

微拟球藻营养比较全面适合作为饵料。微拟球

藻含有大量的脂肪酸特别是富含 EPA 等不饱和脂肪酸^[13, 17, 20, 21]。微拟球藻还含有叶绿素和类胡萝卜素,在不同培养条件下,微拟球藻的叶绿素和类胡萝卜素都表现出一定程度的变化。根据作者对不同实验 100 个数据(此处未列出)的统计分析,得出每个细胞内的叶绿素含量在 $8.60 \times 10^{-13} \text{ g} \pm 0.65 \times 10^{-13} \text{ g}$ 范围内变化,而类胡萝卜素含量在 $1.45 \times 10^{-13} \pm 0.12 \text{ g} \times 10^{-13} \text{ g}$ 范围内变化。

2.2 微拟球藻饵料在栉孔扇贝育苗中的直接应用效果

理论上,微拟球藻细胞颗粒小,细胞直径一般在 2~4 μm 之间,适合作为水产动物早期幼苗的开口饵料。利用不同微藻饵料组合投喂刚刚孵化的栉孔扇贝幼苗,在 2 天内其壳长结果(表 1)表明,单独投喂微拟球藻的壳长净增长最少,只有 2.8~5.5 μm ,明显没有投喂金藻的效果(7.8 μm)好,甚至比未投喂只大量换水的实验组(6.0 μm)还差。本结果意味着微拟球藻不是培育栉孔扇贝幼苗的适宜开口饵料。

进一步利用上述饵料组合投喂栉孔扇贝直到 2 周,其 10~14 d 的壳高和存活率结果(表 2)表明,单独投喂金藻的壳高最大(平均在 119.3 μm),其次为混合投喂组(平均为 111.9 μm),然后是换水组(均值 107.9 μm),而单独投喂微拟球藻的壳高最低,并且投喂的微拟球藻量多少均无益于增加栉孔扇贝的生长。

表 1 栉孔扇贝幼苗摄食不同微藻饵料情况下的生长效果

Tab. 1 Shell length growth of scallop *D-veliger* fed in different fresh unicellular algae

参数	培养时间 (d)	起始	饥饿组	微拟球藻组			微拟球藻+金藻组	金藻 3011 组
				1	2	3		
壳长 (μm)	24	110.7 \pm 4.2	116.7 \pm 4.5	116.2 \pm 3.0	115.2 \pm 4.6	113.5 \pm 3.5	118.1 \pm 4.1	118.1 \pm 3.6
样本数 (个)		28	22	20	24	23	28	29
净增长 (μm)			6.0	5.5	4.5	2.8	7.4	7.4

本结果表明金藻 3011 是很好的栉孔扇贝幼苗的开口饵料,微拟球藻不适宜于直接用于栉孔扇贝育苗。造成微拟球藻饵料效率低的原因与该藻细胞壁结构可能有关,金藻没有细胞壁,而微拟球藻存在很厚的细胞壁。栉孔扇贝幼虫不能有效消化利用微拟球藻饵料,引起幼虫生长缓慢。不同微拟球藻投喂密度条件下扇贝幼虫生长差别不大,也进一步证实并非由于

投喂饵料密度不足,而是该藻细胞壁使得扇贝幼虫不能消化利用。

至于为什么投喂微拟球藻组的栉孔扇贝还没有只换水的饥饿组生长快,其原因可能饥饿组幼苗一直呈缺少食物的空腹状态,诱发生理调节而大量滤水,从中摄食有机碎屑颗粒。相反,微拟球藻组的幼苗在摄食了大量藻细胞后一直呈饱腹充盈状态,生理调节

降低其滤水量,同时由于不能消化摄食的藻细胞而造成实际性饥饿。

表 2 投喂不同微藻饵料条件下栉孔扇贝幼苗的壳高和存活率

Tab. 2 Shell height growth and survival rate of scallop post larvae fed in different microgalae

参数	培养时间 (d)	饥饿组	微拟球藻组			微拟球藻+金藻组	金藻 3011 组
			1	2	3		
壳高 (μm)	10	104.1±7.6	102.5±5.5	100.2±4.4	99.4±6.1	103.6±8.5	109.6±7.8
样本数 (个)		24	26	20	22	30	20
存活率(%)		84	82	86	85	81	85
壳高 (μm)	12	104.8±7.6	101.8±5.0	100.1±6.5	98.1±4.8	105.5±8.3	116.2±7.1
样本数 (个)		22	28	14	30	29	26
存活率(%)		50	65	54	64	69	84
壳高 (μm)	14	107.9±9.5	98.6±4.5	101.3±4.5	100.4±4.1	111.9±6.9	119.3±5.9
样本数 (个)		6	20	10	11	26	12
存活率(%)		25	61	38	17	16	44

比较表 2 中的栉孔扇贝幼苗存活率数据可以发现,在早期培养阶段(10d 内),不同饵料之间对幼苗的影响差异不是很大(一般在 81%~85%之间)。但是随后栉孔扇贝的存活率出现明显下降,其中以不投饵组下降最早,混合饵料投喂组和高投喂微拟球藻组在 12d 后下降最快,但是只投低浓度的微拟球藻存活率最高,3011 组次之。目前尚不十分清楚造成上述结果的原因,但是与幼虫营养不足,体力及抗免疫能力下降引起死亡有关,但无论如何,低投喂量微拟球藻情况下,栉孔扇贝存活率高是非常有意思的。

微拟球藻个体较小,且较易进行高密度培养,虽然不能作为扇贝幼苗的开口饵料,但很有可能在培养轮虫和虫虫方面,有很好的效果。对此,作者进一步开展了微拟球藻投喂轮虫,利用后者在牙鲆育苗实验中观察效果。

2.3 微拟球藻投喂轮虫及在牙鲆育苗中的间接应用效果

褶皱臂尾轮虫在微拟球藻中的生长如图 2。从中可以看出,褶皱臂尾轮虫有效摄食微拟球藻种并不断地进行繁殖,整个生长曲线很快进入指数增长阶段。在 50 L 培养缸内,经过 9 d 培养,褶皱臂尾轮虫从 68 尾/mL 增加到 4 563 尾/mL。而在更大体积的培养缸(1 000 L)内,尽管褶皱臂尾轮虫繁殖速率相对慢些(具体原因尚不十分肯定,可能与水体搅拌效率有关,大水体搅拌没有小水体充分,因此影响了褶皱臂尾轮虫的生长),但经过 14 d 培养,褶皱臂尾轮虫从

280 尾/mL 增加到 4176 尾/mL。本结果表明微拟球藻是培育褶皱臂尾轮虫很好的生物饵料。

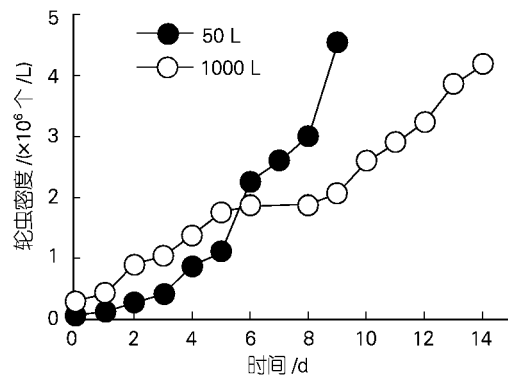


图 2 褶皱臂尾轮虫在微拟球藻中的生长曲线

Fig.2 Growth curves of Rotifer cultivated in two *Nannochloropsis salina* enriched tanks

利用不同微藻培育的褶皱臂尾轮虫投喂牙鲆仔稚鱼,进一步比较微藻饵料在水产育苗中的效果(表 3)。从表 3 中可以看出,2 种不同微藻培育出的轮虫饵料,对牙鲆仔稚鱼生长和存活率存在非常明显的影

响。首先,对牙鲆仔稚鱼苗生长而言,投喂由微拟球藻培育出的轮虫,牙鲆 3 周内平均净增长了 3.3 mm,而对照投喂小球藻的轮虫组只增长了 2.7 mm,在净增长方面前者比后者高 22%左右,统计分析表明,二

者之间存在显著性差异($P<0.01$)。

其次在牙鲆仔稚鱼苗的存活率方面,投喂微拟球藻培育的轮虫组牙鲆 3 周的存活率为 43.3%,而对照小球藻组为 34%,前者比后者相对提高了 27%左右。统计分析表明,二者之间也存在显著性差异($P<0.01$)。

表 3 微拟球藻和小球藻培育的轮虫饵料对牙鲆仔稚鱼生长和存活率的影响

Tab. 3 Impacts of unicellular *Nannochloropsis* and *Chlorella* fed rotifers on the growth and survival of the larvae fishes of *P. olivaceu*

项目	平均数± 方差 (mm)	样本数 (个)	净增长 (mm)	存活 率(%)
起 始	3.14±0.24	30		
小球藻组	5.8±1.0	51	2.7	34.0%
微拟球藻组	6.4±1.3	65	3.3	43.3%

注:小球藻和微拟球藻组之间 $P<0.01$, 差异极显著

水产育苗中通常采用酵母培育轮虫,其效果远不如采用小球藻的好。本结果中微拟球藻的效果比小球藻还要好,表明微拟球藻在水产育苗中也是一种很有应用前景的饵料,特别是用于培育能够消化其细胞壁的轮虫方面效果显著。

参考文献:

[1] 陈晓琳,刘镜恪,徐世宏.微粒饲料中鱼油 n-3 HUFA 的分子结构对真鲷仔稚鱼生长、存活的影响[J].海洋水产研究, 2004, 25 (6): 13-18.

[2] 刘镜恪,雷霖霖.人工调节轮虫 n-3 HUFA 对黑鲷仔鱼生长、存活的影响[J].科学通报, 1997, 42 (12): 1 330-1 333.

[3] 刘镜恪,雷霖霖,林洪,等.卵磷脂强化饵料对真鲷仔稚鱼生长、存活的影响[A].中国科学院海洋研究所.海洋科学集刊(43)[C].2001.152-156.

[4] 刘镜恪,陈晓琳,周利,等.真鲷仔稚鱼微粒饲料中 DHA 与 EPA 最佳比例的研究[J].海洋科学, 2004, 28 (2): 18-20.

[5] 刘镜恪,陈晓琳,李岩然,等.实验微粒饲料中花生四烯酸含量对牙鲆仔稚鱼生长、存活的影响[J].海洋与湖沼, 2005, 36 (5): 418-422.

[6] Liu J K, Wang W Q, Li K R, et al, Effects of fish oil, DHA oil and lecithin in microparticulate diets on stress tolerance of larval gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. *Chin J of*

Ocean And Limnol, 2002,20(4):338-343.

[7] Liu J K, Li K R, Huang B X, et al. Effects of n-3 HUFA levels in rotifers and *Artemia* on growth and survival of larval black sea bream (*Sparus aurata*) [J]. *Chin J of Ocean And Limnol*, 2004,22(4):421-424.

[8] 邱小琮,周洪琪,曾庆华,等,营养强化的轮虫、卤虫对牙鲆仔鱼的成活、生长及体脂脂肪酸组成的影响[J].水产科学, 2004, 23 (2): 4-8.

[9] 樊云真,刘发义,李荷芳,等.海洋微藻高度不饱和脂肪酸的研究.环境因子对等鞭金藻 3011 中高度不饱和脂肪酸含量的影响[A].中国科学院海洋研究所.海洋科学集刊(40)[C].1998.155-160.

[10] 李文权,李芊,廖启斌,等.温度对四种海洋微藻脂肪酸组成的影响[J].台湾海峡, 2003, 22 (1): 9-13.

[11] 刘建国,刘伟,Zvi Cohen, et al.雪藻高密度连续培养中生物量和花生四烯酸的高产出[J].海洋与湖沼, 2002,33(5): 499-508.

[12] Hibberd D J. Notes on the taxonomy and nomenclature of the algal classes Eustigmatophyceae and Tribophyceae (synonym Xanthophyceae) [J]. *Bot J Linn Soc*, 1981, 82 (2), 93-119.

[13] Zou N, Richmond A. Effect of light-path length in outdoor flat plate reactors on output rate of cell mass and of EPA in *Nannochloropsis* sp.[J]. *J Biotechnology*, 1999, 12(3):331-335.

[14] Hu H, Gao K. Optimization of growth and fatty acid composition of a unicellular marine picoplankton, *Nannochloropsis* sp., with enriched carbon sources[J]. *Biotechnol Lett*, 2003, 25 (5), 421-425.

[15] Liu Jianguo , Cohen Z, Richmond A. Fatty acids profile in a high cell density culture of Arachidonic Acid-Rich *Parietochloris incisa* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) exposed to high PFD[J]. *Chinese J Oceanol Limnol* ,2002a, 20 (2) : 149-156.

[16] Liu Jianguo ,Zhang Chengwu ,Cohen Z, et al. Physiological inhibitory of OCS in Arachidonic Acid-Rich *Parietochloris incisa* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) [J]. *Chinese J Oceanol Limnol* , 2002b, 20 (3) : 248-255.

[17] 张继民,张学成,魏东.三种抑制剂对眼点拟微球藻的生长及脂肪酸组成的影响[J].中国海洋大学学报, 2002,32(2): 266-272.

[18] 魏东,张学成,隋正红,等.氮源和 N/P 对眼点拟微球藻生

- 长、总脂含量和脂肪酸组成的影响[J].海洋科学, 2000, 24(7): 46-51.
- [19] Patterson G W. Effect of culture temperature on fatty acid composition of *Chlorella sorokiniana*[J]. *Lipids*. 1970, 5(3): 597-600.
- [20] 蒋霞敏. 温度、光照、氮含量对微绿球藻生长及脂肪酸组成的影响[J].海洋科学, 2002, 26(8):9-13.
- [21] 王秀良,刘晨临,张学成. pH对眼点拟微绿球藻的生长、总脂含量以及脂肪酸组成的影响[J].海洋科学, 2002, 26(5): 63-67.

Application of *Nannochloropsis salina* as feedstuff in aquaculture

LIU Jian-guo , YIN Ming-yan , ZHANG Jing-pu , LI Bao-quan , MENG Zhao-cai

(Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071 , China)

Received : Jun., 12, 2006

Key words : *Nannochloropsis salina* ; feedstuff ; *Chlamys farreri*; Rotifer ; *Paralichthys olivaceus*

Abstract : The impacts of *Nannochloropsis salina* on growth and survival of *Chlamys farreri* and *Paralichthys olivaceus* larvae were conducted in Qingdao, China and Singapore during 1998~2001 by feeding dense culture of this microalga or algal fed Rotifer. The results showed that *N. salina* as feedstuff has a number of characteristics like fast growth, small in size, EPA and nutrients enrichment as well as a thicken cell wall. Dense cultures of *N. salina* ranging from 0.5×10^9 to 1.5×10^9 cells/mL would be easily obtained in different photobioreactors with high density culture principles. The ultra high density of *N. salina* in our experiment was 3.6×10^9 cells/mL. Both chlorophyll and carotenoids contents varied while the cell exposed to different growth conditions. Based on our data, chlorophyll varied around $8.60 \times 10^{-13} \text{ g} \pm 0.65 \times 10^{-13} \text{ g}$ per cell and carotenoids was about $1.45 \times 10^{-13} \text{ g} \pm 0.12 \times 10^{-13} \text{ g}$ per cell.

The applied results of *N. salina* obviously differed in different aquacultures due to its thick cell wall. *N. salina* would be ingested but un-digestible for larvae period of *C. farreri*. Therefore, starvation and distensible phenomena occurred and further led to a slow growth rate in *C. farreri*. On the contrast, *N. salina* fed rotifer was good for the growth and survival of *P. olivaceus* larvae, which indicated that this unicellular alga as an indirect feedstuff would be well applied in aquaculture. Therefore, any efficient cell wall broken technique and improvement its digestible method are required for this algal application.

(本文编辑 : 张培新)