

中华哲水蚤室内培养装置及室内种群培养的初步研究

李捷^{1,2} 蒲新明² 梁彦娟¹ 张乐¹

(¹ 青岛理工大学环境学院, 266033)

(² 国家海洋局第一海洋研究所 海洋生态环境科学与工程国家海洋局重点实验室, 青岛 266061)

摘要 通过自行研制桡足类室内培养装置对中华哲水蚤进行室内高密度培养研究, 该装置可实现自动控制循环水流和温度。在61 d的培养期中, 中华哲水蚤成体数由2.3 ind/L增至19.7 ind/L; 产卵数由14.7 eggs/L增至85.7 eggs/L。DO、NH₄-N和COD_{cr}等主要水质指标都保持在一个较为理想的水平。这一结果表明, 该培养系统已初步实现室内桡足类种群的高密度培养。

关键词 中华哲水蚤 培养装置 桡足类

中图分类号 S965 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2009)03-0085-07

Preliminary study on intensive indoor cultivation of copepod *Calanus sinicus*

LI Jie^{1,2} PU Xin-ming² LIANG Yan-juan¹ ZHANG Le¹

(¹ Qingdao Technological University, Qingdao 266033)

(² Key Laboratory of Science and Engineering of Marine Ecological Environment, First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061)

ABSTRACT A self-designed culture system was used for the study of intensive indoor cultivation of *Calanus sinicus*. Water flow and temperature of the circulating system was automatically controlled. During the course of 61 d laboratory experiment, the number of adult *Calanus sinicus* increased from 2.3 ind/L to 19.7 ind/L, and the egg production increased from 14.7 eggs/L to 85.7 eggs/L, respectively. Major water quality parameters, such as DO, NH₄-N and COD_{cr} were kept at an acceptable range. The results indicated that the establishment of this culture system might lay a foundation for intensive indoor cultivation of *Calanus sinicus*.

KEY WORDS *Calanus sinicus* Culture system Copepod

海洋水产养殖中, 寻找仔鱼的优质动物性饵料, 在卵黄消失、开始摄食的关键时期减少死亡率是养殖业面临的一个重要问题(Doi *et al.* 1994)。目前常用的有轮虫和卤虫。但许多研究表明, 轮虫和卤虫由于营养物质不全面或粒径不适宜, 往往导致仔鱼的存活和生长受到限制(Teledo *et al.* 1997; Schipp *et al.* 1999)。而作为海洋鱼类在自然条件下的主要食物来源, 桡足类不仅营养价值高, 富含多不饱和酸(Polyunsaturated Fatty Acids, PUFA), 而且其无节幼体和桡足幼体可以提供不同粒径的饵料, 满足鱼类幼体各个时期的摄食需要(李捷等 2007, 2008; Li *et al.* 2006)。

目前, 经研究适宜培养的桡足类中, 哲水蚤类有 *Acartia* sp. (Schipp *et al.* 1999)、*Eurytemora* sp. (Witt

et al. 1984)和 *Pseudodiaptomus* sp. (Toledo *et al.* 1999)。猛水蚤类有 *Euterpina acutifrons* (Kraul *et al.* 1992)、*Tisbe* sp. (Nanton *et al.* 1998)和 *Trigriopus japonicus* (Fukusho *et al.* 1980)。其中有些种类在国外已经实现大规模生产。而桡足类种群培养中,最为关键的问题就是建立适宜于桡足类种群生长、繁殖的室内培养装置,实现桡足类种群的高密度繁殖。目前国外在桡足类室内培养装置研制和种群构建上已取得一定进展(Payne 1988; Støttrup *et al.* 1997; Ripplingale *et al.* 2001),而我国在此方面则鲜有报道。

中华哲水蚤 *Calanus sinicus* 是黄、东海最主要的浮游动物种类之一,种群分布范围十分广阔,从日本内海到越南近海都有分布(陈清潮 1964; Huang *et al.* 1993)。其数量最高时可占浮游动物总生物量的80%以上(孟田湘 2001)。它的卵和无节幼体是食物链上一营养级种类(如鳀鱼等)的主要饵料(李捷等 2006)。作者希望通过自行研制桡足类培养装置实现中华哲水蚤种群的室内培养,从而为中华哲水蚤种群变动和资源补充方面的研究做一些基础的技术支撑,并且在掌握其室内培养技术的基础上开发优质、新型的渔业饵料。

1 设计工艺及工作原理

1.1 设计工艺

培养装置材质为不透明聚四氟乙烯。装置整体分为上下两部分,上部为培养箱($V=700\text{ L}$),下部为水质调节箱($V=750\text{ L}$)(见图1)。

水质调节箱为圆柱形箱体。上部设置带阀门进水管1根,为整个系统进水口;底部中央设置带阀门排水管1根,为整个系统排水口。水箱内可放置气石或曝气管对箱内水体进行充氧。不在培养箱内进行充氧可防止充氧过程中产生的气泡对中华哲水蚤正常活动产生额外的干扰。调节箱底部放有潜水泵1个,通过管道与培养箱底部相连通,用以向培养箱供水。供水管道上设置流量计1个用以监控水流大小。并可通过该管道下部的阀门调节水流强度到具体工作要求。管道内壁加装单向阀门1个,可控制水流为单向(由下向上)流动,单向阀门设计还可以在系统由于突然断电等意外情况发生时,及时切断上下水箱间水流,防止培养箱内海水大量进入下部调节箱而导致溢水等事故。单向阀门上方管道侧壁处另设有一水平取样管,取样管前端设置阀门。

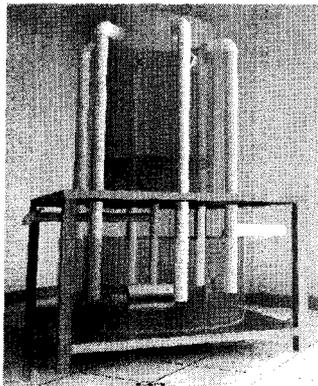


图1 培养装置效果

Fig. 1 Effect picture of the copepod culture system

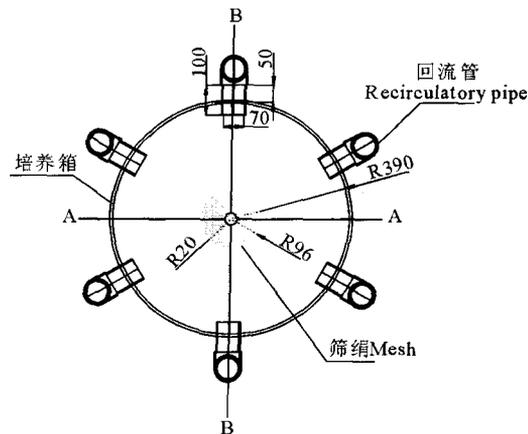


图2 培养装置俯视

Fig. 2 Vertical view of the copepod culture system

培养箱外壁整体为圆柱形,内壁自底部为倒置圆锥形设计,锥体高度210 mm。倒置锥体顶部为培养箱进水口,调节箱内的海水通过水泵提升经此口进入培养箱。培养箱下部的锥体设计目的在于:(1)充分利用进水口产生的上升流,使培养箱内无水流死角;(2)倒置锥形可使箱内的悬浮颗粒(桡足类粪便、藻类残体和桡足类卵等)沉降于底部进水口处,便于排出培养箱以保持水体清洁。在距底部进水口50 mm处安装筛绢1层,筛绢通过O型圈固定在箱体内壁,可更换、拆洗。筛绢一方面可分离桡足类成体和卵,防止成体对卵的残食。另一

方面可阻止成体进入下部水箱或进入取样管被带出培养系统。

在培养箱顶部有6只对称排列的回流管,回流管口径 $\Phi=70$ mm。回流管底部通向下部水质调节箱。使整个系统成为循环水流装置。接入培养箱的回流管前端安装带有筛绢的套管,可阻止培养的桡足类随回流海水进入下部水箱。套管可随时取下清洗。

整个装置具体设计参数见图2(俯视图)、图3(左视图)和图4(右视图)。

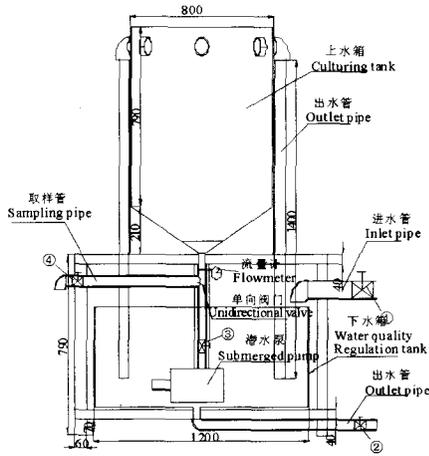


图3 培养装置左视

Fig. 3 Left view of the copepod culture system

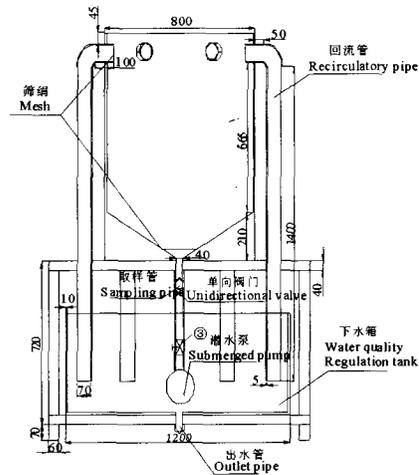


图4 培养装置右视

Fig. 4 Right view of the copepod culture system

1.2 工作流程

在培养系统的4个阀门中,除阀门3外,其余3个阀门初始状态均为关闭。系统正式运转时,首先打开阀门1,使预冷的新鲜海水进入水质调节箱(海水来自中国科学院海洋研究所经过砂滤预处理的海水管道)。同时打开充气泵,对海水进行充气。当水箱充满后关闭阀门1打开潜水泵,富氧的预冷海水经水泵提升,打开单向阀门,自培养箱底部进水口进入培养箱,根据流量计调节阀3使水流大小到工作要求。并在水箱通过倒置圆锥内壁产生无死角的上升流。当水流到达培养箱顶端溢水面时,经由6根回水管同时工作完成循环。

培养装置可根据不同的桡足类设定不同的运行周期。运行周期由两个CX-T03型自动控制电源预先按日或周设定程序,通过对潜水泵、充气泵和光源的控制来实现装置预定运行模式。自动控制电源1控制潜水泵和充气泵,自动控制电源2控制光源。每日12 h工作,12 h静止。具体工作流程如下。

在初次进水使整个系统实现循环回流后,自动控制电源1进入工作状态,充气泵和潜水泵开始工作,自动控制电源2关闭,整个系统在黑暗条件下开始运转。12 h后,自动控制电源2打开,自动控制电源1关闭,潜水泵与充气泵停止工作,单向阀门自动关闭,系统在光照条件下进入静止状态。培养箱底部筛绢此时可将中华哲水蚤成体与沉降的卵分离,防止成体对卵的残食并保持粪便的完整性。打开阀门4,通过取样管一方面收集到桡足类卵,另一方面也可排出桡足类粪便,藻类残体等沉降的悬浮物,保持培养箱清洁。从培养箱上部加入饵料,在不换水情况下让桡足类充分摄食12 h。打开阀门2,将水质调节箱内海水全部排放后,关闭阀门2和4,打开阀门1重新补充新鲜海水。约700 L左右时,关闭阀门1,完成系统准备。在系统静止12 h后,自动控制电源1电源将再次自动启动,系统重新进入运转状态。

2 材料与方方法

2.1 中华哲水蚤获取及饵料选择

实验用中华哲水蚤是2006年11月18日在胶州湾海域($36^{\circ}06'N, 120^{\circ}19'E$)通过垂直拖网(浅水I型浮游生物网;网目为 $500\ \mu\text{m}$)获得。取样后,将底管内的浮游动物样品置于两个盛有30 L过滤海水的塑料水箱

内,并在2 h内迅速转移至实验室内。抵达后立即在解剖镜下挑选健康的 CIV、CV 和成体(具有完整的附肢,无可见损伤,游动活泼),放入经 $70\ \mu\text{m}$ 筛绢过滤的海水中暂养 1 d 后放入培养装置。

桡足类培养饵料选用 4 种海洋微藻:中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*, 亚心形扁藻 *Platymonas subordiformis*, 牟勒氏角毛藻 *Chaetoceros muelleri* 和球等鞭金藻 *Isochrysis galbana*。每日用 GF/F 过滤海水将收获的藻液调节至 $2.0\ \mu\text{g C/ml}$ 后,4 种藻类按 1:1:1:1 混合投加至培养装置中,培养装置中食物浓度控制在 $0.4\sim 0.5\ \mu\text{g C/ml}$ 。

2.2 取样及水质监测

每日在系统静止时取样。从培养箱上、中、下部各取 1 L 水样,在解剖镜下计数成体,并计算均值。打开底部取样口,取 2 L 水样,在解剖镜下计测卵数,因中华哲水蚤的卵具有沉降性,因此可认为在取样中已包括系统静止期培养箱中所有已产卵数。计数后,根据培养箱容积(700 L)计算每升卵数,48 h 后,将孵化的无节幼体再放入培养箱内。

水质分析中, $\text{NH}_4\text{-N}$ 采用纳氏试剂分光光度计法; COD_{cr} 采用承德华通仪器公司生产的 CTL-BX3C 型 COD 快速测定仪测定;溶解氧(DO)采用美国维塞 YSI 公司生产的 DO200 型溶解氧测定仪测定。

3 结果

3.1 桡足类数量变化

经过 61 d 的培养,培养箱中中华哲水蚤成体和产卵数显著增长,其中 1~37d 期间,成体数由初始的 $2.3\ \text{ind/L}$ 增加至 $18.4\ \text{ind/L}$,而 38~61 d 期间,成体数则维持在 $19.7\pm 0.11\ \text{ind/L}$;产卵量在 1~39 d 内由 $14.7\ \text{eggs/L}$ 增至 $82.3\ \text{eggs/L}$,在 40~61 d 期间则保持在 $85.7\pm 5.9\ \text{eggs/L}$ (图 5 和图 6)。

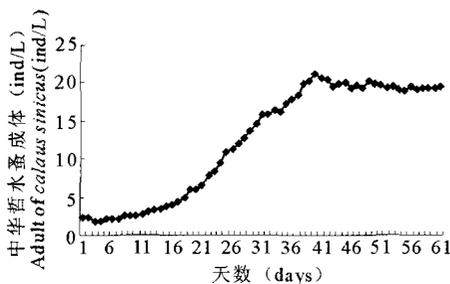


图 5 中华哲水蚤成体数量变化

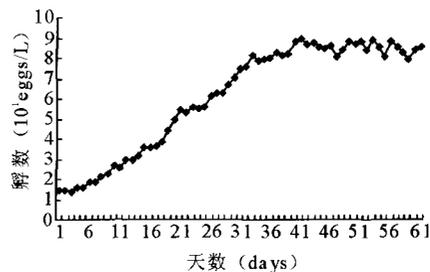


图 6 中华哲水蚤卵数量变化

Fig.5 Number of adult *Calanus sinicus* in the culture system

Fig.6 Number of eggs of *Calanus sinicus* in the culture system

3.2 水质控制

从表 1 中可知,在培养系统中水质比监测的几个关键指标:DO、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 COD_{cr} 等都保持在一个较为理想的水平。

表 1 培养装置主要水质参数

Table 1 Major water quality parameters in the copepod culture system

pH 均值(范围)	溶解氧 DO(mg/L) 均值(范围)	$\text{NH}_4\text{-N} (\times 10^{-6})$ 均值(范围)	温度 Temperature ($^{\circ}\text{C}$) 均值(范围)	化学需氧量 COD_{cr} (mg/L) 均值(范围)
8.0 (7.9~8.2)	12.7 (10.1~14.3)	0.1 (0~0.2)	14 (13~15)	93 (51~164)

注:均值为系统开始运转、运转中和开始静止、静止中测量的平均值

4 讨论

4.1 桡足类数量变化

本实验主要的目的在于探索一套桡足类室内培养装置及室内培养方法。61 d 的培养过程表明,该培养装

置可以使中华哲水蚤成体数由 2.3 ind/L 稳定至 19.7 ind/L;产卵数由 14.7 eggs/L 稳定至 85.7 eggs/L (图 5 和图 6),远高于李超伦等(2003)在自然海区所得到的最大密度 1.55 ind/L(平均密度 0.24 ind/L)。初步实现了中华哲水蚤室内的高密度培养。同时作者推测这一稳定种群密度可能与培养的水体大小有关。

4.2 培养装置循环水流的控制

海洋桡足类生活在一个相对波动的环境,因而不能在完全静水的条件下进行种群培养。而无间断高强度的水流又会使桡足类始终处于高强度运动状态,也不利于其生长和繁殖(Støttrup *et al.* 1997; Schipp *et al.* 1999)。因此合理控制循环水流的流速、流量是培养装置是否可行的一个必要条件。

本实验对中华哲水蚤的培养采用 12 h 循环、12 h 静止的运转模式可以实现夜晚无人值守条件下的水体循环,充分利用白天系统停止运转时进行投饵、取样和系统清洗等工作。同时避免了循环水流造成的饵料流失。在此运行模式下,循环水流强度也可控制在一个较为适宜的水平:一方面使更换量达到培养水体大小,另一方面水流强度又不至于使桡足类无法摆脱出水口涡流。培养中,培养箱进水口流量为 16.2 ml/s,此时在每根回流管处流量 Q 为 2.76 ml/s。根据流体力学原理,涡流压力 F 为:

$$F = \rho Q(\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2) = 3.4 \times 10^{-2} N$$

如此小的压力对中华哲水蚤游动的干扰是微不足道的,在培养过程中未见到桡足类成体或无节幼体因无法摆脱涡流而被挤压在筛绢之上。考虑到不同的桡足类种类个体大小差异,可以通过调节运转模式周期使水流达到要求。

4.3 培养装置温度控制

温度被认为是决定植食性桡足类生长的重要因子(Vidal 1980a,b)。在饵料供应充足的条件下,桡足类(*Calanus finmarchicus*、*Calanus pacificus*、*Calanus sinicus* 和 *Gladioferens imparipes* 等)的适温范围一般在 10~20 °C 之间(李少菁 1963;郑 重等 1992;张 芳等 2002;Vidal 1980a,b)。而我国大多数地区年室温变化在 0~30 °C 之间,如果没有温控保障,那么装置的使用时间将非常有限,而且系统运转的风险也随之增加。所以桡足类培养装置必须解决自动温控的问题,并且可以根据培养种类的具体温度要求进行适当调节。

在室内培养系统的温控上,降温控制往往比升温控制要困难的多。要使培养装置一方面能满足不同桡足类的温度要求,另一方面又要实现温控的准确和可操作性。作者采用进水预冷的方法:在系统进水口前加装 WTC 型冷水机 1 台,从而使进水温度低至 4~10 °C。在培养箱上部加装 H-31A 型海水温控仪,当箱内水温低于培养要求时,可通过加热装置自动加热到设定温度。

4.4 桡足类卵与成体的分离

由于室内桡足类培养时,桡足类成体往往会摄食自己或其他个体的卵和无节幼体(Lonsdale *et al.* 1979; Støttrup *et al.* 1986),从而降低了种群的潜在增长能力;另一方面,要想获得桡足类同生群(Cohort)则首先应保证获得同世代的卵(Ohno *et al.* 1990)。本培养装置通过设置底部筛绢和取样管实现卵和成体的分离。并且通过取样管可以收集卵并排出桡足类粪便和藻类残体,保持系统清洁。

4.5 水质控制

水体中的溶解氧含量(DO),化学需氧量(COD);氨氮(NH₄-N)等指标的变化会对桡足类繁殖产生很大影响。当海水中溶解氧(Dissolved oxygen, DO)低于 2 mg/L 时,飞马哲水蚤 *Calanus finmarchicus* 的呼吸速率显著下降,死亡率也随之增加(Mashall *et al.* 1955)。Bottino(1994)证明,NH₄-N 浓度超过 0.12×10^{-6} 就会降低克氏纺锤水蚤 *Acartia clausi* 的产卵率和孵化率。因此,闭合循环的培养装置必须配备水处理设备,并进行水质监控。这一方面大大增加了设备的复杂性和制作成本,提高了运行风险;同时也加大了装置操作的工作量。而本装置可以在不考虑水处理的情况下运行。即及时更新培养用海水,而不回收处理废水。表 1 的数据显示,当采用补充新鲜海水排放废水的模式时,培养水体主要水质参数可以保持在一个较为理想的范围,无需

额外的水处理措施。不仅提高了系统安全系数,也大大节省了人工。

通过两个多月的运行证明该培养系统不仅可以实现桡足类室内的高密度培养,而且操作简单,安全实用。为今后桡足类种群的大规模培养做了基础的技术研究。

参 考 文 献

- 李超伦,王 荣,孙 松. 2003. 南黄海鲈产卵场中华哲水蚤的数量分布及其摄食研究. 水产学报, 27 (9): 57~63
- 李 捷,孙 松,蒲新明,张 展. 2006. 不同饵料对桡足类无节幼体存活、发育的影响研究. 海洋科学, 276:49~66
- 李 捷,蒲新明,张 展,孙 松. 2007. 两种藻类饲喂中华哲水蚤的繁殖差异. 海洋水产研究, 28 (1): 38~45
- 李 捷,李超伦,蒲新明,张 展. 2008. 不同饵料对双刺纺锤水蚤繁殖的影响研究. 海洋水产研究, 29(4):84~90
- 李少菁. 1963. 福建沿海太平洋哲水蚤 *Calanus pacificus* Brodsky 的比较形态研究. 厦门大学学报, 10(1):57~81
- 张 芳,孙 松,王新刚. 2002. 温度和饵料对中华哲水蚤生长影响的初步研究. 海洋与湖沼(浮游动物研究专辑): 19~25
- 郑 重,李少菁,连光山. 1992. 海洋桡足类生物学. 厦门:厦门大学出版社
- 陈清潮. 1964. 中华哲水蚤的繁殖、性比率和个体大小的研究. 海洋与湖沼, 6 (3):272~288
- 孟田湘. 2001. 山东半岛南部鲈鱼产卵场鲈鱼仔、稚鱼摄食研究. 海洋水产研究, 22(2)21~25
- Buttino, I. 1994. The effect of low concentrations of phenol and ammonia on egg production rates, fecal pellet production and egg viability of the calanoid copepod *Acartia clausi*. Mar. Biol. 119, 629~634
- Doi, M., Toledo, J. D., Golez, M. S. N., Santos, M. D. L., and Ohno, A. 1997. Preliminary investigation of feeding performance of larvae of early red-spotted grouper, *Epinephelus coioides*, reared with mixed zooplankton. Hydrobiologia, 358, 259~263
- Fukusho, K., Arakawa, T., and Watanabe, T. 1980. Food value of a copepod *Tigropus japonicus*, cultured with *v*-yeast for larvae and juveniles of Mud Dab *Limanda yokohamae*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 46, 499~503
- Huang, C., Uye, S., and Onbe, T. 1993. Geographic distribution, seasonal life cycle, biomass and production of a planktonic copepod *Calanus sinicus* in the Inland Sea of Japan and its neighboring Pacific Ocean. J. Plan. Res. 15 (11): 1 229~1 244
- Kraul, S., Nelson, A., Brittain, K., Ako, H., and Ogasawara, A. 1992. Evaluation of live feeds for larval and postlarval Mahimahi *Coryphaena hippurus*. J. World Aquacult. Soc. 23, 299~307
- Li, J., Sun, S., Li, C. *et al.* 2006. Effects of single and mixed diatom diets on the reproduction of copepod *Calanus sinicus*. Acta Hydrochimica et Hydrobiologica, 34 (1): 117~125
- Lonsdale, D. J., Heinle, D. R., and Siegfried, C. 1979. Carnivorous feeding behavior of the adult calanoid copepod *Acartia tonsa* Dana. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 36, 235~248
- Mashall, S. M., and Orr, A. P. 1955. The biology of a marine copepod, *Calanus finmarchicus* (Gunnars). Oliver and Boyd, London, 1~56
- Nanton, D. A., and Castell, J. D. 1998. The effects of dietary fatty acids on the fatty acid composition of the harpacticoid copepod, *Tisbe* sp., for use as a live food for marine fish larvae. Aquaculture, 163, 251~261
- Ohno, A., and Okamura, Y. 1988. Propagation of the calanoid copepod, *Acartia tsuensis*, in outdoor tanks. Aquaculture, 70, 39~51
- Punia, P. 1988. Culture of *Moina micrura* on various organic waste products. J. Ind. Fish. Assoc. 18, 129~134
- Rippingale, R. J., and Payne, M. F. 2001. Intensive cultivation of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. Aquaculture, 201, 329~342
- Schipp, G. R., Bosmans, J. M. P., and Marshall A. J. 1999. A method for hatchery culture of tropical calanoid copepods, *Acartia* spp. Aquaculture, 174, 81~88
- Støttrup, J. G., Richardson, K., Kirkegaard, E., and Pihl, N. J. 1986. The cultivation of *Acartia tonsa* Dana for use as a live food source for marine fish larvae. Aquaculture, 52, 87~96
- Støttrup, J. G., and Norsker, N. H. 1997. Production and use of copepods in marine fish larviculture. Aquaculture, 155, 231~248
- Toledo, J. D., Golez, S. N., Doi, M., and Ohno, A. 1997. Food selection of early grouper, *Epinephelus coioides*, larvae reared by the semi-intensive method. Suisanzoshoku, 45, 327~337
- Vidal, J. 1980a. Physioecology of zooplankton. III. Effects of phytoplankton concentration, temperature, and body size on the metabolic rate of *Calanus pacificus*. Mar. Biol. 56:203~211
- Vidal, J. 1980b. Physioecology of zooplankton. IV. Effects of phytoplankton concentration, temperature, and body size on the net production efficiency of *Calanus pacificus*. Mar. Biol. 56:203~211
- Witt, U., Quantz, G., Kuhlmann, D., and Kattner, G. 1984. Survival and growth of turbot larvae *Scophthalmus maximus* L. reared on different food organisms with special regard to long-chain polyunsaturated fatty acids. Aquacult. Eng. 3, 177~190