

综述

海水仔稚鱼脂类营养研究进展*

刘镜恪 周利 雷霖霖[†]

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

[†](中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

提要 近年来国外海水仔稚鱼脂类营养研究取得了重要进展。作者从海鱼鱼卵和早期仔稚鱼阶段的脂肪酸成分、海水仔稚鱼饥饿时脂肪酸的保存、海水仔稚鱼脂类的消化、吸收和运输、饲料中磷脂的作用和影响、饲料磷脂与甘油三酯的效率、饲料的必需脂肪酸、必需脂肪酸的定量需要、高度不饱和脂肪酸以及 EPA 和 DHA 比例的重要性等方面综述脂类营养对海水仔稚鱼生长的影响。

关键词 海水仔稚鱼, 脂类营养, 研究进展

中图分类号 S963

继藻、虾、贝养殖高潮之后,海鱼养殖高潮正在我国兴起。目前,我国重要养殖海鱼如牙鲆、真鲷、黑鲷、鲈鱼、黑鲟等,其生产性育苗成活率一般仅为 10% 左右,某些营养要素的缺乏不足,是导致仔稚鱼大量死亡的一个重要原因。仔稚鱼营养研究是鱼类营养研究领域居国际前沿的研究之一,在我国刚刚起步(刘镜恪等,1996,1997)。学习借鉴国外的研究成果和经验,深入开展我国海水仔稚鱼营养研究,不仅有重要的科学意义,而且尚有广阔的应用前景。

1 海鱼鱼卵和早期仔稚鱼阶段的脂肪酸成分

由于鱼卵包含着胚胎发育和仔鱼生长到吸收卵黄阶段所必需的全部营养要素,因而分析鱼卵的化学成分可能有助于说明仔稚鱼的营养需要。大西洋比目鱼(Falk-Petersen *et al.*, 1989)、大菱鲆、真鲷(Izquierdo *et al.*, 1989a)、金鲷(Mourente *et al.*, 1990)等鱼卵中的主要脂肪酸是 DHA、EPA、十六碳酸(16:0)和油酸,但是每种脂肪酸的相对重要性存在差异。Lie(1993)发现人工养殖的鳕鱼卵比野生鳕鱼卵中的 DHA 和 EPA 的含量低,这些差异可能与它们所摄取的饵料有关,几位学者已证实鱼卵中总脂的脂肪酸成分与饲料的结构、组成有关,但饲料成分对鱼卵极性脂的脂肪酸组成似乎影响较小(Mourente *et al.*, 1990)。鱼卵极性脂的主要脂肪酸组成是 DHA 和十六碳酸(16:0),其次是 EPA 和油酸,说明这些脂肪酸对胚胎和仔稚鱼发育的重要性。真鲷鱼卵极性脂中的 DHA 和 EPA 含量要高于中性脂中的 DHA 和 EPA 含量,这两种脂肪酸是主要的(n-3)HUFA,是海水仔稚鱼的必需脂肪

* 国家自然科学基金资助项目,30170731 号。刘镜恪,男,出生于 1946 年 6 月,研究员, E-mail: liujk@ms.qdio.ac.cn
收稿日期:2001-03-09,收修改稿日期:2001-04-26

酸。大菱鲆、金鲷等在胚胎发育阶段和仔稚鱼发育阶段,首先利用饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸;而(n-3)HUFA被适当地保存下来。脂肪酸按以下顺序被先后利用:n-9、n-6、n-3。廿碳四烯酸(20:4 n-6)和DHA(22:6 n-3)分别被优先保存于n-6和n-3系列,而饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸作为海水仔稚鱼发育阶段的重要能源被首先利用(Falk-Petersen *et al.*, 1989; Mourente *et al.*, 1990; Rodriguez *et al.*, 1994)。

2 海水仔稚鱼饥饿时脂肪酸的保存

一些学者报道了海水仔稚鱼饥饿阶段脂肪酸的利用与保存状况。大菱鲆、鳕鱼、真鲷、金鲷等海水仔稚鱼饥饿时,将DHA、廿碳四烯酸及EPA保存下来,其他的脂肪酸则被利用。而在以上三种高度不饱和脂肪酸中,DHA又被首先保存下来,这说明该(n-3)HUFA对摄取外源营养的海水仔稚鱼是极其重要的(Rainuzzo *et al.*, 1994; Koven *et al.*, 1989; Rodriguez *et al.*, 1994)。

3 脂类的消化

由于海水仔稚鱼的消化系统比成鱼的简单,因而消化率低于成鱼。尽管如此,大多数的仔鱼在摄取外源营养期间,体内已有了消化酶的存在。Koven等(1994)的研究已证实海水仔稚鱼如鲈鱼和大菱鲆体内的脂酶具有活性,但近期的有关研究大部分与饲料蛋白酶和糖类消化酶有关。幼鱼和成鱼消化系统中的几种脂酶已被鉴别,在这些脂酶中,胆汁盐活性脂酶在海鱼体内中性脂的消化中发挥了重要作用。鳕鱼的胆汁盐活性脂酶已被提纯,而且存在于鲑鳟鱼类体内的该脂酶的三维结构已被研究。从真鲷体内提取的胆汁盐活性脂酶的pH值范围为7.7—8.3,并且通过添加钠盐提高了该脂酶的活性。该脂酶在甘油三酯、胆固醇酯以及维生素酯的水解过程中起到催化剂的作用。在几种鱼体内存在着哺乳动物的胰脂酶,但该酶只从虹鳟体内被提取、分离出来。在pH值为7.3,温度为37℃的条件下,已证实鲟鳅体内的一种胰脂酶具有活性。几种鱼体内的A₂-磷脂酶也具有活性,磷脂酶在磷脂酰甘油酯的水解过程中,起到催化剂的作用,生成溶血磷脂和游离脂肪酸。A₂-磷脂酶已从真鲷肝胰脏中被提取、纯化,在化学结构上存在着几种同分异构体。近年来,尽管国外在鱼体内脂类消化方面的研究已取得重要进展,但早期仔稚鱼体内脂酶的研究所见报道甚少,特别是涉及饲料脂类消化的脂酶所见报道更少。绿鳍仔鱼开始摄取外源营养后,已检测出其体内的脂酶具有很低的活性。大菱鲆仔稚鱼体内的脂酶活性随仔稚鱼的发育而增大,其中性脂酶和磷脂酶的活性随仔稚鱼体重的增加而增大(Izquierdo *et al.*, 1998; Iijima, 1990)。

摄食初期的金鲷仔鱼,已检测出其消化系统中的中性脂酶具有活性。一些学者认为,开始摄食的仔鱼,由于其消化能力很弱,需要将饵料中的消化酶转移给仔稚鱼,以便提高其消化能力。开始摄食的仔鱼,用活饵料投喂的效果,明显好于用微型饲料投喂的效果,微型饲料中某些消化酶的缺乏、不足,可能是重要原因之一。几位学者报道(Koven *et al.*, 1993),在微型饲料中添加消化酶,可以不同程度地改善仔稚鱼的生长状况;将胰脂酶添加到微型饲料中,改进了20—34天的鲈鱼仔稚鱼体内的脂类积累;将牛胰脂酶添加到微型饲料中,改进了32—45天的金鲷仔稚鱼体内的脂类吸收。鱼体内脂酶的活性与饲料中脂类的类型和含量有关,当饲料中鱼油的含量增大时,大头鲷幼鱼的脂酶含量也随之增大。近年来,国外学者研究了幼鱼和成鱼消化系统中性脂酶活性的分布形式。中性脂酶的活

性广泛分布于消化系统,胃中的脂酶活性在肠道总的酶活性中只占较小的比例,金鲷、鲳鱼体内较高的脂酶活性被发现是在前肠道而不是后肠道,而大菱鲆中性脂酶和磷脂酶的活性却是后肠道高于前肠道(Borlongan, 1990; Koven *et al.*, 1994)。

4 脂类的吸收和运输

鱼类的脂类吸收与哺乳动物基本相似。水解后,饲料的脂类被吸收到肠细胞中,在平滑的内质网内进行再酰化作用,乳糜微粒最终进入黏膜下层。金鲷仔鱼从开始摄食起,肠部就存在小的脂滴,表现出对脂类的吸收能力。不同仔稚鱼对脂类的吸收在其消化系统的部位上存在差异。白鲑仔稚鱼的脂类吸收主要位于肠道的前部,金鲷和鲈鱼仔稚鱼可能沿着整个肠道。鲈鱼仔鱼所吸收的脂类,一小部分被吸收到脂蛋白微粒,说明鲈鱼仔鱼已具有较弱的脂类运输能力,摄取浮游动物数天后,已观测到大量的脂泡,从孵化后的第9天起,仔鱼的脂类运输效率明显改善,脂蛋白合成明显增强,肝内糖原的积累也在增加,从第18天起,脂蛋白的合成和运输能力达到甚至超过成鱼的水平,这时,内质网等系统已发育成熟。然而,如果投喂微型饲料,由于内质网等系统发育不良,脂类的运输能力则会下降。但在微型饲料中添加磷脂,有利于提高仔稚鱼的脂类运输能力(Rainuzzo, 1977; Coutteau, 1997; 张波等, 2000)。

5 饲料中磷脂的作用和影响

将磷脂添加到微型饲料中,鳎、石鲷和真鲷(Kanazawa, 1983, 1993)仔稚鱼的生长和成活率均有提高。磷脂中起作用的主要化合物被认为是磷脂酰胆碱(即卵磷脂)和磷脂酰肌醇,尽管这两种化合物所起的作用不同。在促进鳎的生长方面,磷脂酰胆碱似乎比磷脂酰肌醇更有效(Kanazawa, 1993)。将大豆卵磷脂添加到微型饲料中,提高了金鲷的饲料消化率,这可能与 A_2 -磷脂酶活性的提高有关(Koven *et al.*, 1993)。饲料磷脂似乎对仔稚鱼的脂类运输能力也有显著影响,给金鲷仔稚鱼投喂未添加卵磷脂的微型饲料,仔稚鱼肠的主要部位和肝组织均出现脂泡的积累,而通过添加2%的大豆卵磷脂以上状况明显改善,这说明肠部和肝部脂类运输能力有了提高。通过添加卵磷脂,不仅提高了仔稚鱼体内脂蛋白的合成,而且也提高了仔稚鱼体内脂类的运输能力。微型饲料中添加大豆卵磷脂,改善了金鲷仔稚鱼体内脂类的吸收,这可能与仔稚鱼体内磷脂酶活性的提高有关,也可能与仔稚鱼体内磷脂运输能力的改善有关。不同的卵磷脂对仔稚鱼生长和成活率的影响也不相同,大豆卵磷脂改善了鳎仔稚鱼的生长和成活率,而蛋黄卵磷脂的作用则不明显(Kanazawa, 1993)。由于投喂不含卵磷脂的饲料,金鲷仔稚鱼的肠部出现脂泡的积累,当投喂卵磷脂含量为0.1%的饲料后,这些脂泡消失了,采用鱿鱼卵磷脂要比同含量的大豆卵磷脂更有效。

6 饲料磷脂与甘油三酯的效率

饲料中的磷脂和甘油三酯对防止海水仔稚鱼必需脂肪酸缺乏似乎比游离脂肪酸更为有效。用甲酯化鱼油(脂肪酸甲酯形式)代替天然鱼油(甘油三酯形式)强化轮虫活饵料,仔稚鱼的生长速度和成活率明显下降,这可能是因为脂肪酸甲酯中的(n-3)HUFA主要进入游离脂肪酸中,而不是主要进入甘油三酯和磷脂中,海水仔稚鱼对游离脂肪酸的吸收似乎比对甘油三酯和磷脂的吸收低。因而,用乳化油强化活饵料,不仅要注重(n-3)HUFA的含量,而且还要注重(n-3)HUFA的存在形式(Izquierdo *et al.*, 1989a)。海水仔稚鱼对不同游

离脂肪酸的吸收似乎也存在差异,它们对游离脂肪酸中 EPA 的吸收要高于对游离脂肪酸中油酸(18:1 n-9)的吸收。一些学者认为(Coutteau, 1997),海水仔稚鱼对磷脂的吸收要比对甘油三酯的吸收更快、更有效。投喂甘油三酯饲料的金鲷仔稚鱼在其肠部和肝出现脂泡的积累,而投喂磷脂饲料的金鲷仔稚鱼则显著降低了脂类在这两个组织中的积累。

7 饲料中的必需脂肪酸

大量研究证实,(n-3)HUFA 是海水仔稚鱼的必需脂肪酸。海鱼鱼卵中含有丰富的 DHA 和 EPA,说明这两种(n-3)HUFA 对胚胎发育十分重要(Rainuzzo *et al.*, 1993; Lie, 1993)。海水仔鱼饥饿期间,首先利用其他脂肪酸,而将廿碳四烯酸(20:4n-6)、EPA、特别是 DHA 这三种脂肪酸保存下来,这三种脂肪酸是生物膜的必需成分。由于(n-3)HUFA 的缺乏,延缓了海水仔稚鱼的生长,降低了海水仔稚鱼的成活率,并使海水仔稚鱼的应激能力(如温度、盐度、氧气等)明显减弱。近年来的研究还证实了廿碳四烯酸(20:4n-6)的重要性,尽管该脂肪酸不能像 DHA 和 EPA 那样提高海水仔稚鱼的生长速度,但它似乎对提高海水仔稚鱼的成活率有重要作用(Castell, 1994)。将微型饲料中廿碳四烯酸的含量从 0.1% 提高到 1.0%,金鲷仔鱼的生长速度稍有提高,但成活率却明显改善;此外,金鲷仔稚鱼体内的总脂和磷脂含量,特别是磷脂含量,随着饲料中廿碳四烯酸含量的提高而增多。

海水仔稚鱼摄取(n-3)HUFA 含量不足的轮虫、卤虫或人工微型饲料,导致大菱鲆、真鲷、金鲷等生长缓慢(Izquierdo *et al.*, 1989a, b; Koven *et al.*, 1990)。在以上研究中,提高活饵料或饲料中(n-3)HUFA 的含量,均明显改善了海水仔稚鱼的生长。但争论出现在饲料(n-3)HUFA 含量是否会影响海水仔稚鱼的成活率上。几位学者(Rainuzzo *et al.*, 1994; Izquierdo *et al.*, 1992)已报道了摄取(n-3)HUFA 含量不足的轮虫、卤虫或微型饲料使大菱鲆、真鲷、金鲷等海水仔稚鱼的成活率下降;然而也有一些学者却未发现饲料中(n-3)HUFA 含量不足导致大菱鲆仔稚鱼成活率的下降。对该问题仍需进一步研究,以便得出正确的结论。

8 必需脂肪酸的定量需要

轮虫、卤虫或微型饲料中 n-3 高度不饱和脂肪酸的最适含量由海水仔稚鱼的生长、成活率、应激能力、生化成分的改善及必需脂肪酸的缺乏病症等指标确定。(n-3)HUFA 的最适含量范围在 0.3—55.0g/1000g 之间(干重计)。最低的需要量是由 Dickey 等(1992)报道的,他们把亚麻酸(18:3)含量很高的卤虫投喂给鲽仔稚鱼得到很低的(n-3)HUFA 需要量,这些作者也认为鲽仔稚鱼很可能是个例外。最高的需要量被发现在鲷鱼(Watanabe, 1993)。同种海鱼在仔稚鱼阶段和在幼鱼阶段,对(n-3)HUFA 的需要量是有差异的,这一方面可能是由于仔稚鱼的快速生长需要更多的(n-3)HUFA 来维持其代谢并满足其生物膜结构上的需要,另一方面可能是由于仔稚鱼需要更多的 DHA 用于神经系统的发育。一些研究还证实,对真鲷等仔稚鱼来讲,DHA 的作用比 EPA 的作用更为明显(Takeuchi *et al.*, 1990; Watanabe, 1993)。

9 高度不饱和脂肪酸的重要性

可以从这样一个事实中看出 DHA 的重要性:发育的仔鱼在饥饿期间,DHA 在极性脂中被优先保存下来,当仔鱼开始摄取外源营养后,DHA 又被吸收到仔稚鱼体内的甘油磷脂中,而甘油磷脂是生物膜的必需成分。金鲷仔稚鱼体内磷脂中 DHA 的含量直接关系到仔稚鱼的生长(Rodriguez *et al.*, 1994)。DHA 的三羟基衍生物是淡水鲑鱼鳃中主要的前列

腺素,而且还可能有生物活性。提高饲料中 EPA 的含量可以有效地改善海水仔稚鱼因必需脂肪酸缺乏引起的生长缓慢、成活率降低等状况。现已证实(Rainuzzo *et al.*, 1994; Rodriguez *et al.*, 1994), EPA 被吸收到肝等组织的生物膜中, 尽管尚未探明 EPA 在这些组织中的作用。此外, EPA 还是 E_3 、 α - E_3 等前列腺素的前体物质, 它还与廿碳四烯酸竞争并抑制廿碳四烯酸转化为前列腺素。几种海水仔稚鱼在饥饿期间, 廿碳四烯酸也会被有选择地保存下来, 这说明该 n-6 系列的高度不饱和脂肪酸也是重要的必需脂肪酸。虽然在仔稚鱼的一些组织中廿碳四烯酸的含量低于 EPA 的含量, 但它是 E_2 、 α - E_2 等前列腺素的重要来源, 并在海水仔稚鱼的磷脂酰肌醇中有较高的含量。

10 EPA 和 DHA 比例的重要性

迄今研究已证实, 不仅 DHA 还有其他高度不饱和脂肪酸是海水仔稚鱼所必需的。不仅 DHA 或(n-3)HUFA 的总含量是重要的, 而且 EPA 与 DHA 在饲料中的配比也对海水仔稚鱼的生长有重要影响。Rodriguez 等(1994)将 EPA 与 DHA 比例为 2.5:1 的轮虫[(n-3)HUFA 含量为 5.5%, 干重计], 投喂给金鲷仔鱼, 获得金鲷仔鱼生长的最佳结果。但该作者进一步试验发现, 当 EPA 与 DHA 比例从 3.6:1 降低到 0.8:1 时, 金鲷仔鱼的生长速度进一步提高[(n-3)HUFA 含量为 3%, 干重计]。EPA 和 DHA 在海水仔稚鱼体内总脂中的含量是与轮虫体内 EPA 和 DHA 的含量密切相关的, 但海水仔稚鱼对 DHA 的消化吸收率总是比 EPA 高。轮虫体内 EPA 与 DHA 的比例会影响海水仔稚鱼体内磷酸甘油酯中 EPA 与 DHA 的比例, 而海水仔稚鱼体内极性脂中 EPA 与 DHA 比例的降低可能与海水仔稚鱼生长的改善密切相关。Peitan 等(1994)的研究结果证实, 当 EPA 与 DHA 的比例从 2.5:1 降低到 1.5:1, 金鲷仔鱼达到最佳生长时轮虫体内(n-3)HUFA 的最适含量从 5.5% 下降到 1.5% (干重计), 其他一些作者还发现, 当轮虫体内 EPA 与 DHA 的比例进一步降低, 金鲷仔鱼达到最佳生长时所需的轮虫体内(n-3)HUFA 的最适含量将进一步下降。

11 饲养条件的重要性

海水仔稚鱼达到最佳生长所需的轮虫体内(n-3)HUFA 的最适含量还与该仔鱼的饲养条件以及活饵料强化方法有关。Kjorsvik 等(1991)研究证实, 当仔鱼养殖容器内加入单胞藻后, 轮虫体内(n-3)HUFA 含量对大菱鲆仔鱼的生长速度没有明显影响, 但是如果仔鱼养殖容器内不加任何单胞藻, 轮虫体内(n-3)HUFA 含量对大菱鲆仔鱼的生长速度则影响显著。用脂溶性维生素强化卤虫改善了鲈鱼稚鱼的生长, 但将高含量的 α -维生素 E 加入微型饲料中投喂给金鲷仔稚鱼, 其成活率反而下降。在微型饲料中添加适量的维生素 A 和 β -胡萝卜素改善了金鲷仔稚鱼的生长。在微型饲料中添加磷脂如卵磷脂, 明显改善了真鲷等仔稚鱼的生长(Kanazawa, 1993)。饲料中磷脂、脂溶性维生素、色素和浮游动物体内的其他脂类与必需脂肪酸的关系今后还需做更多的深入研究。

12 结语

综上所述, 国外海水仔稚鱼脂类营养研究, 特别是在 n-3HUFA、n-6HUFA 和极性脂—磷脂等方面, 已取得重要进展。迄今, 我国海水仔稚鱼营养研究未见报道甚少。深入开展我国海水仔稚鱼营养、特别是海水仔稚鱼脂类营养的研究, 在此基础上研制、生产优质海鱼微型饲料, 并在我国海鱼生产性育苗中推广、应用, 必将为改变我国海鱼生产性育苗主要依赖鲜活饵料的现状、提高我国海鱼生产性育苗的成活率和种苗质量、促进我国海

鱼养殖的发展,提供重要的技术保障。

参 考 文 献

- 刘镜恪,周利,1996.国外仔稚鱼营养研究进展.海洋科学集刊,37:189—194
- 刘镜恪,雷霖霖,1997.人工调节轮虫(n-3)HUFA对黑鲷仔稚鱼生长、存活的影响.科学通报,42:(12):1330—1333
- 张波,谢小军,2000.南方鲆的饥饿代谢研究.海洋与湖沼,31(5):480—484
- Borlongan I G,1990.Studies on the digestive lipases of milkfish (*Chanos chanos*). Aquaculture, 89:315—325
- Castell J D,1994.Effects of purified diets containing different combinations of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture, 155:149—164
- Coutteau P,1997.Review on the dietary effects of phospholipids in fish and crustacean larviculture. Aquaculture, 155:149—164
- Dickey C M, Geffen A J,1992.Importance of the fatty acids 20:5 ω 3 and 22:6 ω 3 in the diet of plaice (*Pleuronectes platessa*) larvae. Mar Biol, 113:463—468
- Falk-Petersen S, Sargent J R, Fox C *et al*, 1989.Lipids in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) eggs from planktonic samples in Northern Norway. Mar Biol, 101:553—556
- Iijima N,1990.Partial purification and characterization of phospholipase A₂ from the hepatopancreas of red sea bream. Nippon Suisan Gakkaishi, 56:1331—1339
- Izquierdo MS, Watanabe T, Takeuchi T *et al*, 1989a. Requirement of larval red seabream *Pagrus major* for essential fatty acids. Nippon Suisan Gakkaishi, 55:859—867
- Izquierdo MS, Watanabe T, Takeuchi T *et al*, 1989b. Optimal levels in Artemia to meet the EFA requirements of red seabream (*Pagrus major*). In: Takeda M, Watanabe T ed. The Current Status of Fish Nutrition in Aquaculture. Tokyo: Japan Trabskatuib Cehter, Ltd, 221—232
- Izquierdo M S, Arakawa T, Takeuchi T *et al*, 1992. Effect of (n-3)HUFA levels in Artemia on growth of larval Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture, 105:73—82
- Izquierdo M S, Henderson R J, 1998. The determination of lipase and phospholipase activities in gut contents of turbot (*Scophthalmus maximus*) by fluorescence-based assays. Fish Physiol Biochem, 19:153—162
- Kanazawa A, 1983. Effects of dietary phospholipids on growth of larval red sea bream and knife jaw. Mem Fac Fish, Kagoshima Univ, 32:115—120
- Kanazawa A, 1993. Nutritional mechanism involved in the occurrence of abnormal pigmentation in hatchery-reared flatfish. J World Aquacul Soc, 24:162—166
- Kjorsvik E, Olsen Y, Roselund G *et al*, 1991. Effect of various lipid enrichments in rotifers on the development of early stages in turbot. In: Lavens P, Sorgeloos P, Jaspers E *et al* ed. Larvi. '91-Fish & Crustacean Larviculture Symposium. Special Publication No. 15. European Aquaculture Society, Gent Belgium, 73—74
- Koven W M, Kissil G Wm, Tandler A, 1989. Lipid and n-3 requirement of *Sparus aurata* larvae during starvation and feeding. Aquaculture, 79:185—191
- Koven W M, Tandler A, Kissil G *et al*, 1990. The effect of dietary(n-3)polyunsaturated fatty acids on growth, survival and swim bladder development in *Sparus aurata* larvae. Aquaculture, 91:131—141
- Koven W M, Kolkovski S, Tandler A *et al*, 1993. The effect of dietary lecithin and lipase, as a function of age, on n-9 fatty acid incorporation in the tissue lipids of *Sparus aurata* larvae. Fish Physiol Biochem, 10:357—364
- Koven W M, Henderson R J, Sargent J R, 1994. Lipid digestion in turbot (*Scophthalmus maximus*). 1: Lipid class and fatty acid composition of digesta from different segments of the digestive tract. Fish Physiol Biochem, 13:69—79
- Lie O, 1993. Changes in the fatty acid composition of neutral lipids and glycerophospholipids in developing cod eggs. In: Walther B T, Fyhn H J ed. Physiological and Biochemical Aspects of Fish Development. University of Bergen, Bergen, Norway, 330—337
- Mourente G, Odriozola J M, 1990. Effect of broodstock diets on lipid classes and their fatty acid composition in eggs of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). Fish Physiol Biochem, 8: 93—101

- Rainuzzo J R, Farestvei R, Jorgensen L, 1993. Fatty acid and amino acid composition during embryonic and larval development in plaice (*Pleuronectes platessa*). In: Walther B T, Fyhn H J ed. *Physiological and Biochemical Aspects of Fish Development*. Univ of Bergen, Bergen, Norway, 290—295
- Rainuzzo J R, Reitan K I, Jorgensen L *et al.*, 1994. Lipid composition in turbot larvae fed live feed cultured by emulsions of different lipid classes. *Comp Biochem Physiol*, 107:699—719
- Rainuzzo J R, 1997. The significance of lipids at early stage of marine fish; a review. *Aquaculture*, 155:103—115
- Reitan K I, Rainuzzo J R, Olsen Y, 1994. Influence of lipid composition of live feed on growth, survival and pigmentation of turbot larvae. *Aquacult Int*, 2:33—48
- Rodriguez C, Perez J A, Lorenzo A *et al.*, 1994. n-3 HUFA requirement of larval gilthead seabream *S aurata* when using high levels of eicosapentaenoic acid. *Comp Biochem Physiol*, 107A:693—698
- Takeuchi T, Toyota M, Satoh S *et al.*, 1990. Requirement of juvenile red sea bream *Pagrus major* for eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56:1263—1269
- Watanabe T, 1993. Importance of docosahexaenoic acid in marine larval fish. *J World Aqua Soc*, 24:152—161

LIPID NUTRITION IN MARINE FISH LARVAE: A REVIEW

LIU Jing-Ke, ZHOU Li, LEI Ji-Lin[†]

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

[†](*Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, 266071*)

Abstract A large amount of research has been devoted to the study of lipid nutrition in marine fish larvae during the recent years. Studies on the essential fatty acid requirements and lipid metabolism in marine fish larvae have made some progress abroad, but there have been few reports on the studies in China. This review deals with the fatty acid composition of marine fish eggs and early larval stages, patterns of fatty acid conservation in larvae during starvation, lipid digestion, lipid absorption and transport, effect of dietary phospholipids, efficiency of dietary phospholipids and triglycerides, dietary essential fatty acids, quantitative essential fatty acids requirements, importance of the HUFA, importance of the ratio EPA/DHA and importance of rearing conditions in marine fish larvae.

Key words Marine fish larvae, Lipid nutrition, Review