

饲料磷脂对仔稚鱼营养生理的研究进展

谢炳福¹, 王亚琴², 周凡^{3*} (1. 浙江省遂昌县湖山乡农业推广服务中心, 浙江遂昌 323300; 2. 浙江大学农业与生物技术学院, 浙江杭州 310058; 3. 浙江省水产技术推广总站, 浙江杭州 311100)

摘要 近年来, 磷脂(Phospholipids, PL)在仔稚鱼营养生理所发挥的作用引起人们广泛重视。综述了近年来饲料磷脂对仔稚鱼生长表现、消化道、骨骼发育以及脂肪代谢等方面的影响, 以期对磷脂在水产苗种饲料中合理添加与应用提供理论参考。

关键词 磷脂; 仔稚鱼; 营养生理

中图分类号 S962 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)31-10982-03

Research Advances on Phospholipid Nutrition of Fish larval

XIE Bing-fu¹, WANG Ya-qin², ZHOU Fan^{3*} (1. Hushan Agricultural Extension Service Center, Suichang, Zhejiang 323300; 2. College of Agriculture & Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058; 3. Zhejiang Fisheries Technology Extension Station, Hangzhou, Zhejiang 311100)

Abstract The important role of phospholipids in fish larval nutrition has attracted wide attention in recent years. The effects of phospholipids on growth and survival, digestive tract, skeletal development and body lipid metabolism of fish larval in recent years were reviewed, in order to provide a theoretical reference for the further studies of phospholipids in fish larval feeds and nutrition.

Key words Phospholipids; Fish larval; Nutrition physiology

磷脂(Phospholipids, PL), 也称磷脂类、磷脂质, 是指含有磷酸的脂类, 属于复合脂, 其种类繁多, 包括磷脂酰胆碱(PC)、磷脂酰乙醇胺(PE)、磷脂酰肌醇(PI)、磷脂酰丝氨酸(PS)、磷脂酸(PA)、固醇脂、糖脂等。磷脂是生物体新陈代谢必不可少的物质, 对机体内的细胞活化、器官功能的维持、肌肉和关节的活化以及脂肪代谢等都起着非常重要的作用。20世纪后期, 水产营养学者在对水产动物幼体的研究中首次发现了磷脂重要的营养生理功能, 并开始逐渐引起研究人员的重视。我国磷脂资源十分丰富, 深入研究饲料磷脂在鱼类早期阶段的营养作用对于解决鱼类人工育苗的饵料问题具有重要的现实意义。

1 磷脂对仔稚鱼生长的影响

PL是细胞膜的主要成分, 仔稚鱼生长需要大量磷脂参与形成和更新细胞。PL结构复杂, 合成需要多种前体和酶的参与, 而仔、稚鱼早期生长阶段对这些前体物的合成以及各种限速酶的分泌能力有限, 导致PL合成受阻^[1], 因此海水仔、稚鱼对饲料中的PL非常敏感, 需要在饲料中添加PL来满足组织早期生长的需要。Coutteau等^[2]将鱼类仔稚鱼的磷脂定量需求水平确定为2%~12%, 并指出淡水鱼对磷脂的需求量较低, 而海水鱼对磷脂的需求量则相对较高; 随着动物的生长, 对磷脂的需求量会逐渐下降。

刘镜格等^[3]报道添加磷脂饲料组仔鱼的平均成活率为70.5%, 而不含磷脂饲料组仔鱼的平均成活率仅有50.4%。Niu等^[4]用磷脂水平为0%、2%、4%和8%的饲料投喂初始质量为0.4g的军曹鱼(*Rachycentron canadum*), 饲养42d后发现8%磷脂水平组军曹鱼的末体重、增重率和成活率最高。

卢素芳等^[5]研究人工微粒饲料中添加不同水平磷脂(0%、2%、4%、6%)对黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)仔鱼生长和存活的影响, 结果发现各组黄颡鱼的体重和全长随饲料中磷脂添加量的提高呈上升趋势, 其中以添加6%磷脂的人工饲料组的仔稚鱼生长最佳。此外, 陈晓琳等^[6]配制了卵磷脂含量分别为0.25%、5.0%和7.5%的真鲷(*Pagrus major*)仔鱼微粒饲料, 经25d的养殖试验后发现, 当饲料中卵磷脂含量不超过5%时, 真鲷仔稚鱼的生长速度和成活率随着卵磷脂含量的增加而增加; 但高磷脂添加水平不会对生长表现有进一步促进作用, 表明仔稚鱼对磷脂的吸收利用程度存在限度。

2 磷脂对仔稚鱼消化道发育的影响

2.1 对消化功能的影响 磷脂分子具有双亲性, 可以作为表面活性剂, 具有乳化作用。对于消化能力尚不完善的鱼类和甲壳类幼体, 磷脂在其对脂肪的消化过程中可以起到有效的乳化作用。在对欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)和梭鲈(*Sander lucioperca*)的研究中发现, 消化功能的提早成熟与饲料中高磷脂含量有关^[7-8]。当投喂高磷脂含量的饲料时, 这2种试验鱼消化道内的淀粉酶活性比同时期的鱼要低, 反映出其胰腺发育已比较成熟, 而碱性磷酸酶(AP)和氨肽酶活性的增强也进一步表明了肠道发育的成熟。同时, 随着饲料磷脂含量的增加, AP/亮氨酸-丙氨酸胺酶比率也随之增长, 表明磷脂对消化道发育具有促进作用。此外, Gisbert等在投喂欧洲鲈的饲料中分别添加PL含2.5% EPA + DHA和等量的中性脂肪, 通过测定肠酶活性表明PL能够促进欧洲鲈的消化道发育。用相同的饲料投喂大西洋鲑鱼(*Gadus morhua*), 结果发现添加PL含EPA + DHA的试验组在孵化后45d试验鱼增重明显较多, 这可能与肠道的提早发育成熟有关^[9]。

2.2 对消化系统组织形态结构的影响 通过观察机体内组织形态结构的改变, 可以反映出饲料质量、鱼类新陈代谢和营养状态等信息。据报道, 饲料PL对脂质吸收及运输^[10]和

基金项目 浙江省2013-2014年度农技推广(渔业)重点项目; 浙江省科技厅科技特派员项目。

作者简介 谢炳福(1965-), 男, 浙江遂昌人, 农艺师, 从事水产养殖研究及技术推广工作。*通讯作者, 高级工程师, 博士, 从事水产动物营养学研究。

收稿日期 2014-09-24

脂肪滴在仔鱼肠道内的积累有显著的影响^[11]。饲喂 PL 缺乏或富含三酰基甘油的饲料,通常会导致肠道内出现脂质空泡积累,说明仔鱼能够消化饲料中的脂肪,但运输脂类物质的能力较差^[4,10]。当脂质吸收所占比例超过脂蛋白合成比例或脂质代谢产生障碍时,肠道脂质包膜就成为了一种重新脂酰化脂肪酸的暂时储存形式^[12]。在欧洲鲈的研究中发现,肠道上皮细胞间有脂质的积累,表明饲料营养成分对脂质从肠道粘膜到体循环过程有显著影响。

在正常生理状态下,仔鱼生长期肠道的快速发育与脂蛋白合成密切相关。同时,发育过程伴随着肠道内较大脂质空泡数量的大量减少和细胞间小脂质颗粒数量的明显增加^[13]。肠道中过多不同大小的脂质包膜造成了脂质合成机制障碍,内源性 PL 合成可能不足以维持体内脂蛋白的合成^[10]。肠道中较大脂蛋白和脂肪滴的形成与未发育成熟的肠道中过量脂肪密切相关,而肠道的未发育成熟是由于食用高脂肪酸食物所导致的^[13]。在一些情况下,肠道内脂质大量积累,即肠道脂肪变性,可能导致一些病理损害,主要是由于较大脂质包膜导致肠道上皮磨损、细胞坏死或肠道粘膜发炎^[14]。

肝脏在正常情况下是以载脂蛋白的形式不断向肝外转运脂肪,磷脂是合成载脂蛋白所必需的物质。如果肝内脂肪不能运出,充盈于肝细胞中,会导致肝细胞破坏,结缔组织增生,肝功能减退,引发脂肪肝。Steven 等在对红拟石首鱼 (*Sciaenop ocellatus*) 的研究中发现饲料中添加磷脂有提高稚鱼肝脂含量的作用,而饲料中添加胆固醇则有将脂肪由肝脏转移到肌肉和腹膜内的作用。由于仔鱼肝脏的能量存储对营养的改变反应灵敏、迅速,肝脏是代谢敏感的器官,对脂肪代谢起着重要作用。在营养充足的仔鱼肝脏中,糖原和脂质逐渐积累,随着仔鱼的发育,肝脏体积逐渐增大,高尔基体和粗面内质网逐渐增多。相比之下,饲喂营养不均衡饲料的仔鱼,其高尔基体和粗面内质网不发达。通过显微镜观察发现,肝细胞结构的变化可能是反映营养病理的生物标记。脂质在肝脏中的积累可以视为对肝细胞脂质转运和代谢的阻碍^[15]。

3 磷脂对仔鱼骨骼发育的影响

Geurden 等^[16]通过用不同种类的磷脂喂养鲤鱼 (*Cyprinus carpio*) 仔鱼,发现磷脂酰肌醇 (PI) 能降低仔鱼骨骼畸形率。用添加 1.3% PI 的饲料投喂鲤鱼仔鱼,只有 2% 的仔鱼表现出骨骼畸形,而添加 1.3% PC 时骨骼畸形率高达 32%。Cahu 等^[7]研究发现投喂添加 12% PL (相当于 1.6% PI) 的饲料,欧洲鲈仔鱼骨骼畸形发病率最低,只有 2% 仔鱼表现、种或多种骨骼畸形而在添加 3% PL (其中包括 0.2% PI) 的试验组中,却有 33.3% 的仔鱼表现出畸形。PI 对仔鱼发育的影响机制尚不十分清楚,磷脂酰肌醇与控制脊椎动物早期发育生物过程的信号系统有关,其可能是作为调控钙进入细胞的第二信使前来影响仔鱼的骨骼发育^[17]。

Kjørsvik 等^[18]用添加 PL 或中性脂肪 (NL) 并添加二十碳五烯酸 (Eicosapentaenoic acid, EPA) 和二十二碳六烯酸

(Docosahexaenoic acid, DHA) 的饲料投喂鳕鱼仔鱼,观察鳕鱼仔鱼脊椎骨的骨化,在孵化后 21 d 的鱼中发现了神经弓。饲喂 PL 的仔鱼在孵化后 31 d 可以观察到 15 个骨化神经弓和 13 个骨化椎骨,而饲喂添加 NL 的仔鱼只有 6 个神经弓和 4 个椎骨,表明添加 PL 能够使仔鱼的骨化代谢明显提前。此外,PL 中 EPA + DHA 的含量对鳕条的发育有显著影响。

另外有研究表明,PL 中高不饱和脂肪酸 (Highly unsaturated fatty acids, HUFA) 对欧洲鲈骨骼发育有较大影响。HUFA 可能具有促进骨骼正常发育作用,抑或表现出致畸作用,这主要取决于 PL 中 HUFA 的含量。Villeneuve 等^[19]用添加 13% PL 并分别添加 1.1%、2.5% 和 5% 的 EPA + DHA 的饲料饲喂欧洲鲈仔鱼,发现在 HUFA 含量低的试验组只有不到 7% 仔鱼的骨骼发育出现畸形,比正常孵化畸形率还低,而含 2.5% HUFA 的试验组鱼中,有 13% 的仔鱼表现出畸形。最高 HUFA 含量饲料组中仔鱼的畸形率较高;近一半仔鱼表现出不同程度的骨骼畸形。此外,还发现脊柱最容易产生畸形,在出现骨骼畸形的仔鱼中大约 80% 的仔鱼有脊柱前凸、侧弯和后凸现象。

4 磷脂对鱼体脂肪组成的影响

已有许多试验表明,添加磷脂可以使饲料中 EFA 能够更有效被利用。用添加大豆卵磷脂的饲料投喂草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*),可使其肝脏中 C18:2 (n-6) 和 n-3HUFA 水平显著提高,而 C18:3 (n-3) 的含量下降,导致 C20:4 (n-6)/C18:2 (n-6) 比值降低和 n-3HUFA /C18:3 (n-3) 比值升高^[20]。麻艳群等^[21]发现饲料磷脂水平显著影响巴丁鱼 (*Pangasius sutchi*) 的肥满度、肝脏脂肪含量和肌肉脂肪含量。投喂 4% 磷脂组的肥满度显著高于其他组;肌肉和肝脏脂肪含量则随着饲料磷脂添加水平的增加呈下降趋势。卢素芳^[5]研究表明饲料中添加磷脂能够促进黄颡鱼仔稚鱼体内脂类蓄积,改善饲料中的 EFA 的有效吸收与利用;随着饲料中磷脂添加量的上升和日龄的增长,黄颡鱼鱼体总脂肪含量有升高的趋势。

5 小结

磷脂对仔稚鱼的营养生理功能所起的有益作用已经大量被证实,然而仍存在以下方面需要进一步研究:①加强对鱼类消化功能、新陈代谢和骨骼发育的观察实验,从而对磷脂的综合影响做出更加准确、全面的解释;②研究营养因子对基因表达的作用将有助于研究 PL 和 HUFA 对仔鱼发育影响的分子机理;③水产动物对不同来源及存在形式的 PL 的需要量也有所不同。确保饲料中 PL 的稳定来源对水产养殖业的发展具有重大意义,可为解决水产养殖苗种生产中的成活率和生长提供依据。

参考文献

- [1] KANAZAWA A, TESHIMA S, INAMORI S, et al. Effects of phospholipids on survival rate and incidence of malformation in the larval ayu [J]. *Memoirs of Faculty of Fisheries Kagoshima University*, 1981, 30:301-309.
- [2] COUTTEAU P, GEURDEN I, CAMARA M R, et al. Review on the dietary effects of phospholipids in fish and crustacean larviculture [J]. *Aquaculture*, 1997, 155:149-164.
- [3] 刘镜恪,周利. 国外仔稚鱼营养研究进展 [J]. *海洋科学集刊*, 1996(37):

189-193.

- [4] NIU J, LIU Y J, MAI K S, et al. Effects of dietary phospholipids level in cobia larvae: growth, survival, plasma lipids and enzymes of lipid metabolism [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2008, 34: 9-17.
- [5] 卢素芳. 磷脂在黄颡鱼仔稚鱼人工微粒饲料中应用及其作用机理的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [6] 陈晓琳, 刘镜格. 真鲷仔稚鱼对实验微粒饲料中卵磷脂适宜需要量的研究[J]. *海洋水产研究*, 2004(1): 15-19.
- [7] CAHU C L, ZAMBONINOINFANTEJ L, BARBOSAV, et al. Effect of dietary phospholipids level and phospholipids; neutral lipid value on the development of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae fed a compound diet [J]. *British Journal of Nutrition*, 2003, 90: 21-28.
- [8] HAMZA N, MHETLI M, BEN KHEMIS L, et al. Effect of dietary phospholipid levels on performance, enzyme activities and fatty acid composition of pikeperch (*Sander lucioperca*) larvae [J]. *Aquaculture*, 2008, 275: 274-282.
- [9] WOLD P A, HOEHNE-REITAN K, CAHU C L, et al. Phospholipids vs. neutral lipids: effects on digestive enzymes in Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae [J]. *Aquaculture*, 2007, 272: 502-513.
- [10] IZQUIERDO M S, SOCORRO J, ARANTZAMENDI L, et al. Recent advances in lipid nutrition in fish larvae [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2000, 22: 97-107.
- [11] FONTAGNE S, GEURDEN I, ESCAFFRE A M, et al. Histological changes induced by dietary phospholipids in intestine and liver of common carp larvae [J]. *Aquaculture*, 1998, 161: 213-223.
- [12] KJØRSVIK E, VAN DER MEEREN T, KRYVI H, et al. Early development of the digestive tract of cod (*Gadus morhua*) larvae during start-feeding and starvation [J]. *Fish Biology*, 1991, 38: 1-15.

- [13] DEPLANO M, DIAZ J P, CONNES R, et al. Appearance of lipid absorption capacities in larvae of the sea bass (*Dicentrarchus labrax*) during transition to the exotrophic phase [J]. *Marine Biology*, 1991, 108: 361-381.
- [14] DEPLANO M, CONNES R, PARIS J, et al. Intestinal steatosis in the farm-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Diseases of Aquatic Organisms*, 1989, 6: 121-130.
- [15] SEGNER H, WITT U. Weaning experiments with turbot (*Scophthalmus maximus*); electron microscopy of liver [J]. *Marine Biology*, 1990, 105: 353-361.
- [16] GEURDEN I, MARION D, CHARLON N, et al. Comparison of different phospholipidic fractions as dietary supplements for common carp (*Cyprinus carpio*) larvae [J]. *Aquaculture*, 1998, 161: 225-235.
- [17] BERRIDGE M J, IRVINE R F. Inositol phosphates and cell signaling [J]. *Nature*, 1989, 341: 197-205.
- [18] KJØRSVIK E, CECILIA OLSENA, PER-ARVID WOLD, et al. Comparison of dietary phospholipids and neutral lipids on skeletal development and fatty acid composition in Atlantic cod (*Gadus morhua*) [J]. *Aquaculture*, 2009, 294: 246-255.
- [19] VILLENEUVE L, GISBERT E, LE DELLIU H, et al. Dietary Levels of all-trans retinoid affect retinoid receptors expression and skeletal development in European sea bass larvae [J]. *British Journal of Nutrition*, 2005, 93: 791-801.
- [20] 曹俊明, 林鼎, 劳彩玲, 等. 饲料中添加大豆卵磷脂对草鱼肝脏脏脂脂肪酶组成的影响 [J]. *水产学报*, 1997, 21(1): 32-38.
- [21] 麻艳群, 黄凯, 肖新, 等. 饲料磷脂水平对巴丁鱼生长的影响 [J]. *水产科学*, 2011, 30(7): 383-386.

(上接第 10970 页)

档案, 对小班内的苗木来源、各项造林技术措施进行详细记载, 每一项技术措施、每一次施工都要对实施情况、用工量、投资、实施效果进行详细记载, 为今后的森林经营提供详细的技术资料。

4 全面转变植树造林方式的困境和建议

4.1 资金不足 资金不足是全面转变植树造林方式最大的困难。一方面, 开展乡土树种调查和优树选择、采用良种和大苗造林、加强监测和档案管理都会增加植树造林成本; 另一方面, 国家造林项目主要补助退耕还林和荒山荒地造林, 对林冠下造林、择伐迹地造林的补助很少, 而腾冲今后的植树造林将以林冠下造林和择伐迹地造林为主, 很难纳入国家财政补助项目计划。建议国家加大对林冠下造林和择伐迹地造林的补助力度, 提高补助标准, 促进植树造林方式的全面转变。

4.2 种苗生产滞后 腾冲良种繁育工作严重滞后, 一方面优良乡土树种的良种均未等到认证, 苗木培育的新技术、新理论也未得到应用; 另一方面临时苗圃多、固定苗圃少、苗圃经营规模小等因素增加了良种壮苗生产和育苗技术推广的难度。建议积极向上级争取项目资金, 扶持几个规模较大的固定苗圃, 加强管理, 为全面转变植树造林方式奠定种苗基础。

4.3 思想认识不到位 部分干部群众对全面转变造林方式的思想认识不到位, 不愿意转变, 究其原因, 一是没有站在生态文明和绿色经济的高度看待全面转变造林方式的重要性;

二是对新的造林技术认识不到位, 没有信心, 怕失败。建议一方面通过加强生态文明和绿色经济意识的宣传教育, 使广大干部群众认识到全面转变造林方式的重要性、紧迫性; 另一方面通过建设几个稳定的示范样板, 通过示范提高认识, 增强信心。

参考文献

- [1] 潘金志, 黄旺生. 关于林业生态环境保护的若干哲学思考 [J]. *林业经济问题*, 2013(2): 183-186, 192.
- [2] 陈建诚. 用生态文明理念统领造林绿化工作——学习贯彻党的十八大精神系列 [J]. *福建林业*, 2013(3): 9-10.
- [3] 翟福贤. 浅谈造林绿化在生态建设中的重要意义 [J]. *绿色科技*, 2013(6): 56-57.
- [4] 蔺瑞岚. 我国人工造林质量管理探讨 [J]. *林业资源管理*, 2013(2): 29-32.
- [5] 舒学平. 不同林地清理方式对杉木林土壤容重和速效养分含量的影响 [J]. *防护林科技*, 2013(8): 18-19.
- [6] 李星辰, 杨吉华, 于连家, 等. 石灰岩山地不同整地方式对侧柏林土壤蓄水保土功能的影响 [J]. *中国水土保持科学*, 2013(3): 59-65.
- [7] 李春玲. 整地规格对红花木莲人工造林早期长势的影响分析 [J]. *北京农业*, 2012(12): 185-186.
- [8] 张艳杰, 温佐吾. 不同造林密度马尾松人工林的根系生物量 [J]. *林业科学*, 2011(3): 75-81.
- [9] 李国雷, 祝燕, 李庆梅, 等. 红松苗龄型对苗木质量和造林效果的影响 [J]. *林业科学*, 2012(1): 35-41.
- [10] 王立, 邵殿坤, 王晓萍, 等. 改变人工林造林方式初探 [J]. *林业科技情报*, 2013(2): 18-20.
- [11] 蔺福祥. 浅谈吕梁林局营造林生产存在的问题和对策 [J]. *防护林科技*, 2013(10): 75-77.
- [12] 郭晨东. 人工造林工作存在问题及对策分析 [J]. *河南科技*, 2013(20): 207.
- [13] 韩加林. 我国造林更新工作存在的问题及对策分析 [J]. *民营科技*, 2013(10): 231.