

南美白对虾微量营养素需求的研究进展*

PROGRESS ON THE MICRONUTRIENT REQUIREMENT OF *Penaeus vannamei*

刘振波 王维娜 王安利 王军霞 张亦陈

(河北大学生命科学学院 保定 071002)

中图分类号 S963.16;S968.22 文献标识码 A 文章编号 1000-3096(2003)10-0028-04

南美白对虾(*Penaeus vannamei*)又称万氏对虾,主要分布于美洲太平洋沿岸,是世界三大养殖虾类之一。我国大陆地区自1998年开始大规模养殖,因其肉质鲜美,具有耐粗饲、生长速度快、对环境适应能力强、抗病力强等特点,适于人工高密度养殖,并且经驯化可在淡水池塘中养殖,因此近几年来养殖规模迅速扩大。在半精养、精养系统中,虾饵——主要是人工配合饲料,占到生产成本的50%以上,为使对虾养殖获得最大经济效益,迫切需要营养全面而价格低廉的饵料。本文仅就近年来关于*P. vannamei*对微量营养素需求的研究进展作一概述,为高质量饵料的研制提供有益的参考。

1 脂肪酸

脂肪酸(FA)在促进虾体生长、变态^[1]、繁殖过程中有重要作用,高水平的高不饱和脂肪酸(HUFA)还能增加幼体抗逆能力。虾体不能有效地合成18:3(n 3)或18:2(n 6),必需从饵料中获得;并且延长碳链的能力及去饱和能力有限,因此二十碳五烯酸(EPA),二十二碳六烯酸(DHA)等长链HUFA的促生长效果优于短链低不饱和FA(如18:3(n 3)),而 n 3的促生长作用又强于 n 6^[2]。

Wouters等^[1]以富集了不同浓度 n 3HUFA(DHA/EPA也不同)的轮虫和卤虫投喂zoea2-PL II幼体,发现在生长特性方面各组间无显著差异,只是对照组虾的抗逆能力明显较低。随后又进行了第2组实验,即以含不同浓度 n 3HUFA(DHA/EPA不同)的半纯化饵料投喂PE10仔虾25 d,结果对照组虾的干质量却明显低于实验组。就促生长而言, n 3HUFA的有无在前两组实验中之所以存在差异,可能是由于前组中轮虫和卤虫自身含有的HUFA即可满足幼体生长的基本需求。

不饱和FA,尤其是HUFA在雌虾卵巢成熟过程中有重要作用,某种HUFA可能参与卵巢成熟的启动。Wouters等^[3]发现处于不同性成熟阶段野生雌虾的卵巢以及无节幼体中都具有 n 3 > n 6和EPA > DHA的关系,并含有高比例的 n 3 HUFA。但是仅在饵料中添加大量 n 3不饱和脂肪酸是不够的,二者间的平衡可能更为重要^[4]。Lytle等^[4]已经建议用各种饵料的FA图谱(profile)预测哪些可用于南美白对虾(*Penaeus vannamei*)的促成熟饵料。

2 磷脂和胆固醇

磷脂(PL)和胆固醇参与构成生物膜,对维持细胞结构和功能有重要作用。磷脂主要包括磷脂酰胆碱(PC)、磷脂酰乙醇胺(PE)、磷脂酰肌醇(PI)等,是脂类物质转运和代谢的重要中介物,又可供给虾体能量,亦具有抗氧化剂和诱食剂的功效。胆固醇是各种甾类激素前体。虾类不能从头合成胆固醇,且合成PL的能力不能满足幼体和稚虾快速生长的需求,因此向饵料中添加PL和胆固醇可有效地提高其生长率和存活率。但文献报道的数据常有不同,这可能是受虾种、发育阶段、饵料成分及实验条件的影响,另外,PL的构成和纯度,PL与胆固醇间的相互作用的影响亦不容忽视。

Coutteau等^[5,6]比较了在半纯化饵料中添加不同水平,不同来源的PC对*P. vannamei*仔虾的影响。使

* 河北省重点科技成果推广计划项目98-117号。

第一作者:刘振波,出生于1976年,硕士,通讯地址:河北大学生命科学院水生生物室,保定,071002, E-mail: Zhenboliu@hotmail.com

收稿日期:2001-11-23;修回日期:2002-07-16

用的 PC 源分别是: 纯化大豆磷脂酰胆碱 (SPC, 纯度 95%)、脱油大豆卵磷脂 (de-oil soybean lecithin, DSL, 23%PC)、鸡蛋磷脂酰胆碱 (EPC, 纯度 94%) 和从海鱼卵中提取的磷脂酰胆碱 (MPC, 纯度 92%)。结果表明, 分别添加 1.5%SPC、1.5%EPC 和 6.5%DSL 可显著促进虾体生长。添加 1.5%MPC 组虾的生长虽然相对较差, 但生长和存活率仍好于无 PC 组。而当 SPC 增加到 3% 时体质量增长则明显下降, 说明过量 PC 不仅无益而且有害。摄取 1.5%PC 分别来源于 SPC、EPC 和 DSL 的 3 组虾间生长无差异, 但体质量增长明显优于投喂 1.5%DSL 的虾, 说明大豆卵磷脂 (lecithin) 不等同于 PC, 1.5% 的量不足以补偿饵料中 PC 的不足。以富含 n-3HUFA 的 MPC (14%EPA, 29%DHA) 代替 SPC (18:2n-6 > 50%) 反而减弱了虾的生长, Coutteau 认为这并非由于 HUFA 的毒性氧化产物造成的, 而可能是因为与 SPC 相比, 1.5% 的 MPC 已经过量。随着饵料中 SPC 含量的增加, 虾体总脂中的 20:1(n-9)、总(n-6)多不饱和脂肪酸 (PUFA)、EPA 的水平显著升高, 特别是当 SPC 增加到 1.5% 以上时, 虾体中(n-3)/(n-6) PUFA 升高, 饱和 FA/单烯 FA 下降^[5], 而虾体 PL 的 FA 图谱很保守, 较少受饵料 PL 中 FA 构成的影响^[6]。

P. vannamei 稚虾对 PL 的营养需求量是 3%~5%^[7-9]。Gong 等^[8]研究了大豆卵磷脂中的活性成分。饵料 PC 由 0% 升至 4.2% 时, 对虾的生长和饵料转化率 (FCR) 无影响^[8], PC 与 PE 及 PI 间也无相互作用。饵料中 PE 和 PI (25:22) 能明显促进稚虾生长, 降低 FCR (此时饵料中含有不超过 0.52% 的 PC)^[8], 饵料中 PE 和 PI 含量相似而 PC 水平不同的 3 种商品卵磷脂对稚虾的促生长作用无明显差异^[9]。Gong 等^[8,9]认为就生长和存活而言, 稚虾似乎不需 PC, 这与 Coutteau 等^[5,6]从仔虾得出的结论有矛盾, 这可能由于处于不同发育阶段的 *P. vannamei* 需求磷脂的种类不同^[8]。就成活率、生长、FCR 而言, PC 与胆固醇间也无相互作用, 与饵料胆固醇明显的促生长作用相比, 纯 PC 的影响可以忽略不计。当用脱油豆卵磷脂代替纯 PC 时, 更有益于虾的生长, 这可归因于饵料 PL 中非 PC 组份的存在^[8]。使稚虾处于最佳生长状态的 PC、PI、PE 的最小量分别为 0.53%~1.1%, 0.26%~0.45% 和 0.76%~1.3%^[9]。随饵料中 PC 含量的升高, 稚虾肝胰腺总脂、FAA 和其它 PL 的含量则下降, 同时肌肉中 PC 含量上升, 因此饵料中的 PC 可能使脂类物质易于调动并通过血淋巴从肝胰腺转运至肌肉中加以利用^[8]。

PL 的商业制品由于制备工艺不同, 导致 PL 的构

成、质量和形态也不相同, Gong^[9]等比较了粉状脱油卵磷脂 (I)、半塑状粗制卵磷脂 (II) 和添加 FA 的液体卵磷脂 (III) 的饵料。三者对稚虾的存活、瞬时生长率的影响无显著差异, 而 II 的价格只是 I 的 1/5, 可大大降低成成本。

对虾对胆固醇的需求量受诸多因素影响, 其中饵料 PL 对胆固醇需求量的影响相当突出。当饵料中不含 PL 时, 0.4% 的胆固醇使稚虾达最佳生长; 饵料中 PL 为 1.5%~3% 时, 胆固醇需要 0.2%; PL 为 5% 时, 胆固醇需要 0.1%。当 PL 含量再增加时, 对生长有明显促进作用, 如同时增加胆固醇则会削弱 PL 的促生长效果, 但不影响成活率^[7]。这与室外养殖实验所得需求量 0.2%~0.4% 大体相当 (饵料含 1% 卵磷脂)^[10]。肌肉中胆固醇含量受饵料 PL 的影响^[7]。

3 维生素

维生素是维持动物健康, 促进动物生长发育所必需的一类低分子有机化合物。这类物质中有些是虾体不能合成或合成能力有限的, 因此必需从饵料中获得。关于 *P. vannamei* 对维生素需求的定性和定量研究还不够深入。

抗坏血酸, 即 V_c , 参与胶原合成和细胞氧化还原体系。当饵料中缺乏 V_c 时, 养殖对虾会出现黑死病^[11]等症, 而足量 V_c 的摄入则会提高虾体抗应激、抗感染能力^[12]。 V_c 对卵的发育和孵化亦有重要作用^[13]。由于 V_c 易氧化, 大多以 V_c 的稳定形式向饵料中添加, 如: 乙基纤维素包膜、氢化植物油包膜、硅酮包膜等包膜 V_c 和 V_c -2-硫酸酯、 V_c -2-多聚磷酸钠、 V_c -2-单磷酸钠、 V_c -2-单磷酸镁及 V_c 脂肪酸酯等 V_c 酯。但目前人们对这些 V_c 稳定形式的生物利用度和稳定性尚未完全清楚, 还需进一步研究。

对于仔虾, 当向半纯化饵料中添加 V_c -2-单磷酸时, 对生物量作 brokenline 回归所得最适量是 130 mg 抗坏血酸当量 (AAE) / kg 饵料, 各实验组间对盐度突变的抗性无差异^[13]。而 Kontara 等^[12]的结果与之有所差异, 当以 V_c -2-聚磷酸酯 (APP) 为添加形式时, 各组间生长无显著差异, 但只有投喂 AAE $2\,000 \times 10^{-6}$ 饵料的虾可以抵抗弧菌的感染; 同时抗应激能力随饵料 V_c 增加而增加。

以 APP 为添加形式时, 初始体质量为 0.1 g 稚虾的最低需要量为 120×10^{-6} 饵料, 初始体质量 0.5 g 的稚虾则为 41×10^{-6} , 全虾 V_c 含量随饵料 V_c 的增加而增加, 而饵料中缺乏 V_c 时, 虾的成活率则大大下降^[14]。若保证初始体质量 1.1 g 左右的虾有较高存活率并预防 V_c 缺乏症 (如黑死病) 的出现, 饵料中最低

应添加 100×10^{-6} 的 V_{E-2} 磷酸镁^[11]。

作为饵料和组织中不饱和脂肪酸的抗氧化剂,脂溶性的维生素 E 在虾的营养学研究中具有重要作用。 V_E 是饵料中必需的营养素,可以保证 *P. vannamei* 的正常生长和存活^[15],并且可能在卵巢成熟和幼体发育过程中发挥重要作用^[13]。当饵料中含脂 8% 时,稚虾对饵料中 V_E 的需求量为 99×10^{-6} 。 $He^{[15]}$ 的研究还证明, V_E 可防止胰腺和肌肉中,由抗坏血酸激发的线粒体和微粒体膜的脂质过氧化,其最小需要量分别为 25×10^{-6} 和 100×10^{-6} 饵料。

V_A 、 V_B 是 *P. vannamei* 饵料中必需的营养素,二者的缺乏会对虾的生长有一定影响,但不影响成活率。 V_K 为一种非必需营养素^[16]。

4 矿物质元素

矿物质元素是甲壳动物外骨骼结构的必要成分,在渗透调节和 pH 值调控中起关键作用,又是相当重要的辅酶。由于虾类可直接从海水中吸收矿物质元素,使得特定元素缺乏症的研究难度较大,并且制备纯化饵料既困难又昂贵,因此仅对少量元素作了初步研究。

虽然 Fe 在野生 *P. vannamei* 体内的含量高于大多数矿物质元素^[17],但并非必需元素^[18],因此当实际饵料中的蛋白由富含铁质的动物提供时,就可满足虾的需要。胰腺和甲壳中 Fe 的水平随饵料中 Fe 的增加而线性增加,但肌肉中 Fe 的含量不受影响。稚虾对饵料中 Cu 的需求量为 34×10^{-6} ,缺 Cu 会造成虾的生长缓慢,心脏增大,血淋巴、甲壳和胰腺中 Cu 的含量降低^[19]。Zn 作为重要的辅酶,在虾体内的含量会随个体的增大而升高^[17]。稚虾饵料中 Zn 的含量为 33×10^{-6} 时,胰腺中的 Zn 达到最高浓度。饵料中的肌醇六磷酸会降低 Zn 的生物利用度,虽然 1.5% 的肌醇六磷酸不致影响生长和甲壳中 Zn 的浓度,但会导致胰腺中 Zn 浓度的下降,为弥补这一损失饵料中的 Zn 须达到 200×10^{-6} ^[20]。 Mg 、 Mn 、 Fe 、 Zn 、 Cu 的缺乏还会导致组织矿化程度下降,缺 Se 则会使甲壳灰分显著增加^[21]。

关于 *P. vannamei* 对 Ca、P 需求的研究较为深入。Davis 等^[22]研究了稚虾对 Ca、P 含量及 Ca/P 的反应。Ca、P 含量及其相互作用明显影响虾的存活和生长:不添加 Ca,含有 0.35% P 的基础饵料足以维持对虾较好的生长和存活;在 P 充足的情况下,若再添加 1.0% ~ 2.0% 的 Ca 则虾的存活率皆降低,表明在 Davis 等的实验条件下无需添加 Ca。当添加 1.0% 和 2.0% 的 Ca 时,为保证虾的正常生长须分别添加

0.5% ~ 1% 和 1% ~ 2% 的 P,表明 Ca 和 P 之间存在拮抗作用。

不同磷源的营养效果是不同的。与日本对虾 (*P. japonicus*) 不同的是 *P. vannamei* 不仅不能利用肌醇六磷酸中的磷,生长率还会因其存在而强烈降低^[23],这显示了对虾营养需求的种间差异。Davis 和 Arnold^[24]以磷的表观利用率 (APA) 评价了不同无机磷源的效果,发现 $Ca(H_2PO_4)_2$ 、 $CaHPO_4$ 、 $Ca_3(PO_4)_2$ 、 KH_2PO_4 、 NaH_2PO_4 的 APA 值分别是 46.3%、19.1%、9.9%、68.1%、68.2%。以 NaH_2PO_4 为磷源的 APA 值因乳酸盐的存在而显著下降 (APA 值为 50%),而不受 $CaCO_3$ (65.5% APA) 和 $CaCl_2$ (68.2% APA) 的影响。 $Ve-lasco$ 等^[25]的结果则显示当饵料中含 0.4% ~ 1.2% 的 $CaHPO_4$ 、 Na_2HPO_4 、 NaH_2PO_4 时,仔虾的成活和生长都较高。尽管饵料溶解损失不影响 APA^[24],但溶解的磷会影响水质,造成水体污染,水中活性磷总积累量会随饵料磷水平的增加显著增加。分别以 $CaHPO_4$ 、 Na_2HPO_4 、 NaH_2PO_4 为磷源时水中活性磷总积累量以 $CaHPO_4$ 为最低^[25]。因此选择既经济又环保的磷源是配合饵料生产中需要注意的问题。

5 结语

关于 *P. vannamei* 对 HUFA、维生素、矿物质等微量营养素需求的研究还远未完善,尤其是各营养素间的相互作用,还应继续探索新的微量营养素如核苷酸等的生理功能和需要量。与三大有机营养素相比,微量营养素不仅是能量和组织构建的来源,更多的是作为代谢调控物发挥作用的。微量营养素与疾病、抗逆性的关系,盐度、温度、pH 和光等环境因子对其代谢及需求的影响的研究亦应得到加强。除此之外还需要综合考虑气候、地理环境、水文、遗传、原材料等因素,并结合对虾生理状况做到因地制宜,科学投饵,才能获得良好的效果。

参考文献

- 1 Wouters R, Van Hauwaert A, Naessens E, et al. The effect of dietary n3 HUFA and 22:6n3/20:5n3 ratio on white shrimp larvae and postlarvae. *Aquaculture International*, 1997, 5(2): 113-126
- 2 Lim C, Ako H, Brown C L, et al. Growth response and fatty acid composition of juvenile *Penaeus vannamei* fed different sources of dietary lipid. *Aquaculture*, 1997, 151(1-4): 143-153
- 3 Wouter R, Molina C, Lavens P, et al. Lipid composition and vitamin content of wild female *Penaeus vannamei* in different stages of sexual maturation. *Aquaculture*, 2001,

- 198 (3-4) : 307-323
- 4 Lytle J S, Lytle T F, Ogle J T. Polyunsaturated fatty acid profiles as a comparative tool in assessing maturation diets of *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 1990, 89(3-4) : 287-300
- 5 Coutteau P, Camana M R, Sorgeloos P. The effect of different levels and sources of dietary phosphatidylcholine on the growth, survival, stress resistance, and fatty acid composition of postlarval *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 1996, 147 (3-4) : 261-273
- 6 Coutteau P, Kontara E K M, Sorgeloos P. Comparison of phosphatidylcholine purified from soybean and marine fish roe in the diet of postlarval *Penaeus vannamei* Boone. *Aquaculture*, 2000, 181 (3-4) : 331-345
- 7 Gong H, Lawrence A L, Jiang D H, et al. Lipid nutrition of juvenile *Lito Penaeus vannamei* I. Dietary cholesterol and de-oiled soy lecithin requirements and their interaction. *Aquaculture*, 2000, 190 (3-4) : 305-324
- 8 Gong H, Lawrence A L, Jiang D H, et al. Lipid nutrition of juvenile *Lito Penaeus vannamei* II. Active components of soybean lecithin. *Aquaculture*, 2000, 190 (3-4) : 325-342
- 9 Gong H, Lawrence A L, Gatlin III D M, et al. Comparison of different types and levels of commercial soybean lecithin supplemented in semi-purified diets for juvenile *Lito Penaeus vannamei* Boone. *Aquaculture Nutrition*, 2001, 7 (1) : 11-17
- 10 Dierr E O, Walsh W A. Evaluation of cholesterol addition to a soybean meal-based diet for juvenile Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* Boone, in an outdoor growth trial. *Aquacult Nutr*, 1996, 2:111-116
- 11 Montoya N, Molina C. Optimum supplemental level of L-ascorbyl-2-phosphate-Mg to diet for white shrimp *Penaeus vannamei*. *Fisheries Science (Tokyo)*, 1995, 61(6) : 1 045-1 046
- 12 Kontara E K, Merchie G, Lavens P, et al. Improved production of postlarval white shrimp through supplementation of L-ascorbyl-2-polyphosphate in their diet. *Aquaculture International*, 1997, 5(2) : 127-136
- 13 Lavens P, Merchie G, Ramos X. et al. Supplementation of ascorbic acid 2-monophosphate during the early postlarval stages of the shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 1999, 5 (3) : 205-209
- 14 He H, Lawrence A L. Vitamin C requirements of the shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 1993, 114(3-4) : 305-316
- 15 He H, Lawrence A L. Vitamin E requirement of *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 1993, 118(3-4) : 245-255
- 16 He H, Lawrence A L, Liu R. Evaluation of dietary essentiality of fat-soluble vitamins, A, D, E and K for penaeid shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*, 1992, 103(2) : 177-185
- 17 Paez O F, Ruiz F C. Trace metals in the Mexican shrimp *Penaeus vannamei* from estuarine and marine environments. *Environmental Pollution*, 1995, 87(2) : 243-247
- 18 Davis D A, Lawrence A L, Gatlin D M III. Evaluation of the dietary iron requirement of *Penaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1992, 23(1) : 15-22
- 19 Davis D A, Lawrence A L, Gatlin D M III. Dietary copper requirements of *Penaeus vannamei*. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 1993, 59(1) : 117-122
- 20 Davis D A, Lawrence A L, Gatlin D M III. Evaluation of the dietary zinc requirement of *Penaeus vannamei* and effects of phytic acid on zinc and phosphorus bioavailability. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1993, 24(1) : 40-47
- 21 Davis D A, Lawrence A L, Gatlin D M III. Mineral requirements of *Penaeus vannamei*: A preliminary examination of the dietary essentiality for thirteen minerals. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1992, 23(1) : 8-14
- 22 Davis D A, Lawrence A L, Gatlin D M III. Response of *Penaeus vannamei* to dietary calcium, phosphorus and calcium: Phosphorus ratio. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1993, 24(4) : 504-515
- 23 Civera R, Guillaume J. Effect of sodium phytate on growth and tissue mineralization of *Penaeus japonicus* and *Penaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture*, 1989, 77(2-3) : 145-156
- 24 Davis D A, Arnold C R. Estimation of apparent phosphorus availability from inorganic phosphorus sources for *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 1994, 127(2-3) : 245-254
- 25 Velasco M, Lawrence A L, Neill W H. Effects of dietary phosphorus level and inorganic source on survival and growth of *Penaeus vannamei* postlarvae in zero water exchange culture tanks. *Aquatic Living Resources*, 1998, 11 (1) : 29-33

(本文编辑:刘珊珊)