

文章编号: 1000-0615(2007)增刊-0122-07

· 综述 ·

## 青蟹的营养需求研究及其配合饲料研制

艾春香, 刘建国, 林琼武, 李少菁, 王桂忠, 陈学雷  
(厦门大学海洋学系, 亚热带海洋研究所, 福建 厦门 361005)

关键词: 青蟹; 营养需求; 配合饲料

中图分类号: S 963

文献标识码: A

## Nutrient requirements and development of formulated diets of mud crab, *Scylla* sp

AI Chun-xiang, LIU Jian-guo, LIN Qiong-wu, LI Shao-jing, WANG Guizhong, CHEN Xue-lei  
(Department of Oceanography, Institute of Subtropical Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract** The mud crab *Scylla* sp., is an important crustacean species farmed on a commercial scale in China. They are polycultured with fish or shrimp, but mud crabs are now monocultured in increasing density to supply the growing market. This trend has made diet development more important. Information on the nutrients required for growth of mud crabs is vital for the formulation of an effective feed. This paper reviews the current knowledge on *Scylla* sp. nutrition with special reference to developments during the last decade. Biochemical studies and diet studies are discussed with the aim of identifying the nutrients that are important to sustain optimal *Scylla* sp. growth, health and reproduction, and development of a series of formulated diet for mud crab intensive culture. Additionally, several suggestions to further study fields on nutritional requirements and developing formulated diets for mud crab were put forward.

**Key words** *Scylla* sp.; nutrient requirements; formulated diet

青蟹属 (*Scylla*) 有锯缘青蟹 (*Scylla serrata*), 拟穴青蟹 (*S. paramamosain*), 紫螯青蟹 (*S. tranquebarica*) 和榄绿青蟹 (*S. olivacea*) 等 4 个种。我国以拟穴青蟹占绝对优势, 它有个体大、生长快、适应性强、肉味鲜美、营养丰富等特点, 已成为具有重要经济价值的海水养殖蟹类之一。

随着青蟹人工育苗技术的突破, 养殖技术的改进和多种养蟹形式的开发, 养蟹业得到了蓬勃发展, 其养殖规模不断扩大, 产量不断提高, 据统

计, 2004 年全国青蟹养殖产量已达 10.85 万吨。养蟹产业的形成和持续发展必然要走健康养殖的道路, 而健康养殖除了供应高质量苗种和保持良好的养殖环境外, 必须供应量足质优的饲料, 以满足青蟹的营养需求。然而, 尽管我国青蟹养殖已有 100 多年的历史, 但对其营养需求研究和配合饲料研发起步较晚, 国外的相关研究也较少, 故目前市场上尚未生产出能满足其正常生长发育所需营养需求的配合饲料, 养蟹所用的饲料主要是天

收稿日期: 2007-03-09

资助项目: 国家“八六三”计划项目 (2002AA603013); 厦门大学高层次人才引进科研启动项目; 厦门大学“九八五”计划科技创新项目“青蟹亲体脂肪酸营养与幼体发育关系研究”

作者简介: 艾春香 (1967-), 男, 江西永丰人, 博士, 副教授, 主要从事水生甲壳动物营养生理和生态毒理学等方面的研究。Tel: 0592-2188471, E-mail: chunxa@xmu.edu.cn

然低质鱼、虾、贝类等。鲜杂鱼等天然生物饵料资源有限,供应不稳定,使用不方便(需要冷冻保存),营养不全面,自身携带病原菌,且投喂后容易腐烂分解,败坏水质,易导致病害蔓延,难以满足日益扩大的养蟹业对饲料的需求,也不符合国家渔业增长方式转变的方向,开发安全高效配合饲料是青蟹规模化健康养殖的物质基础。虽然目前已有少数厂家小批量生产青蟹配合饲料,但使用效果不理想。其主要原因是青蟹营养需求了解甚少,饲料配方未按其营养需求来设计、优化,而是参照中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)和虾类的饲料配方,导致生产的饲料饲喂后青蟹生长缓慢,甚至不蜕壳而引起死亡。因此,在青蟹苗种供应问题得以解决以后,研发青蟹无公害系列配合饲料将是进一步推动其健康养殖的当务之急。

迄今,国内外有关青蟹营养需求研究工作已取得了一定的成绩。本文简述青蟹营养需求研究及其系列配合饲料研发的进展,以期为进一步开展相关研究积累基础资料。

## 1 青蟹的营养需求

### 1.1 青蟹对蛋白质及氨基酸的营养需求

蛋白质是构成生物体细胞原质的主要成分,并在生命过程中起着极其重要的生理作用。青蟹的蛋白质及氨基酸营养需求研究发现,青蟹对蛋白质的需求与其种类、生长发育阶段、养殖模式、蛋白源、饲料组成和实验条件等密切相关。研究表明,青蟹幼体在整个发育过程中蛋白质是组成幼体的主要有机成分,随着蚤状幼体(zoea, Z)从 Z<sub>1</sub> 到 Z<sub>5</sub>,其蛋白含量逐渐增加,从 Z<sub>1</sub> 的 32.50% 增至 Z<sub>5</sub> 的 43.92%,其中 Z<sub>2</sub> 到 Z<sub>3</sub> 期的蛋白质增幅最大,而当发育变态为大眼幼体(megalopa, M)后,其蛋白含量却略有下降,为 41.13%<sup>[1]</sup>;饲料中粗蛋白含量在 35%~40%之间,青蟹幼蟹生长差异不明显<sup>[2]</sup>;初始均重为(9.15±0.46)g的青蟹饲料中粗蛋白含量为 32%~40%时能满足其正常生长的营养需求<sup>[3]</sup>;配合饲料中蛋白质含量为 38.0%~45.9%能满足青蟹从 Z<sub>5</sub> 到成蟹的蛋白质需求<sup>[4]</sup>。

青蟹各期幼体之间的氨基酸组成差异不显著,基本趋于一致<sup>[1]</sup>。Z 总氨基酸含量随着其发育而逐渐增加,变态后减少。必需氨基酸(essential amino acids, EAA)中,以赖氨酸(Lys)

含量增幅最大,亮氨酸(Leu)的比例最高;非必需氨基酸(nonessential amino acids, NEAA)中,含量增幅最大的是谷氨酸(Glu),占比例最高的也是 Glu 比例最低的则是半胱氨酸(Cys)(3.26%);幼体需要较高水平的蛋氨酸 Met 和 Leu,且后期幼体对组氨酸需求有所减少<sup>[1]</sup>。氨基酸组成和含量,各期幼体期间均差异不显著,表明氨基酸作为机体的重要成分,能够保持在体内的恒定,并维持其正常功能<sup>[1]</sup>。研究表明,甲壳动物氨基酸组成并不随饥饿时间延长而明显发生变化<sup>[5-6]</sup>,而青蟹饥饿的 Z<sub>1</sub> 的 EAA 中 Met 和 Leu 含量却随饥饿时间延长而略有增加,NEAA 中只是脯氨酸(Pro)有所减少;Met 和 Leu 的明显减少则出现在饥饿 Z<sub>1</sub> 的死亡阶段,表明它们对维持幼体生存具有特殊的生理学意义<sup>[1]</sup>,这还有待于进一步研究。

### 1.2 青蟹对脂类及脂肪酸的营养需求

脂类在海洋无脊椎动物的幼体发育过程中具有重要生理功能,特别是甲壳动物幼体,在蜕皮及变态的关键时期,脂类含量及其组成发生显著的变化,因此,青蟹对脂类营养需求的研究特别受到重视。虾蟹幼体的脂类含量及组成与摄食条件密切相关,可将脂类组成作为幼体生理状态的指标<sup>[7]</sup>。研究发现,随着青蟹幼体从 Z<sub>1</sub> 发育到 Z<sub>5</sub>,幼体脂类含量呈逐渐增加的趋势,从 Z<sub>1</sub> 的 12.18% 增至 Z<sub>5</sub> 的 16.73%,其中 Z<sub>3</sub>、Z<sub>5</sub> 期,幼体脂类含量的增加较明显,但从 Z<sub>5</sub> 变态为 M,脂类含量则显著减少,M 期幼体的含脂量为 12.19%;同时在幼体发育过程中,甘油三酯(TAG)和磷脂(LP)是主要的脂类组成,两者之和达总脂的 70%以上,且两者在总脂中的比例呈现出相反的变化趋势<sup>[1]</sup>。

采用鳕鱼肝油与玉米油以 2:1 配比为脂肪源,配制 7 种含脂量不同的等氮等能半纯化饲料饲喂体重为 35.8~48.8g 的锯缘青蟹幼蟹 63 d 结果表明,不含脂肪或含脂量为 2.0% 的饲料组,幼蟹的增重率显著低于其它饲料组,蜕皮频率以不含脂类组最低,采用折线拐点法得出,饲料中脂肪含量在 5.3%~13.8% 范围内能满足幼蟹对脂肪的营养的需求<sup>[8]</sup>。饲料中脂肪含量为 6%~12%,能量为 14.7~18.7 MJ·kg<sup>-1</sup> 时能满足初始均重为(9.15±0.46)mg 的幼蟹的生理需求<sup>[3]</sup>。系列配合饲料中脂肪含量为 6.0%~

10.0%就能满足青蟹从  $Z_5$  到成蟹的脂肪需求<sup>[4]</sup>。

青蟹蚤状幼体在发育过程中不断积累 TAG, 表明幼体摄入的外源能量除了满足自身的代谢需求外, 还能以 TAG 形式储存在体内; 而变态为大眼幼体时, TAG 的比例明显下降, 表明 TAG 是幼体变态时的能量来源<sup>[1]</sup>。青蟹  $Z_1$  蜕皮周期开始 1.5 d 内, 脂类是青蟹幼体饥饿条件下的主要代谢底物, TAG 明显地减少, 而其他中性脂却增加; 与此相反, 幼体在摄食条件下, TAG 含量则逐渐增加, 这也表明 TAG 是主要的代谢能源<sup>[1]</sup>。

LP 是动物体细胞膜不可缺少的结构物质, 也是甲壳动物体液中最主要的运输型脂质。甲壳动物幼体阶段自身不能合成足够的 LP 供应机体快速生长期新细胞膜形成的需要, 必须通过外源提供才能满足其对 LP 的需求。目前, 甲壳动物幼体对 LP 营养需求, 主要研究对象集中在对虾类, 而有关蟹类幼体磷脂的需要至今尚未见报道<sup>[9]</sup>。青蟹幼体 LP 含量随着蚤状幼体发育而降低, 变态后增加, 这是因为 TAG 含量的增加, 使得总脂中 LP 含量相对减少, 但各期幼体的 LP 含量 (% 干重) 却基本保持恒定<sup>[1]</sup>, 这充分体现了 LP 作为膜结构脂的角色。

胆固醇对于维持甲壳动物正常的生长发育、内分泌和生殖是非常重要的, 它是性激素、蜕皮激素、肾上腺皮质类固醇激素以及维生素 D (vitamin D,  $V_D$ ) 等生物活性物质生物合成的前体, 在机体的性别分化、营养代谢、性腺发育, 以及卵、胚胎发育和幼体发育过程中发挥着重要的生理功能<sup>[10]</sup>。而甲壳动物自身却不能合成胆固醇, 需依靠外源饲料供应。青蟹各期幼体胆固醇占干重的比例基本恒定 (1.12% ~ 1.40%)<sup>[1]</sup>, 表明幼体的胆固醇含量是表征其个体大小的指标之一<sup>[7]</sup>。此外, 在青蟹幼体的脂类成分中还有胆固醇酯、游离脂肪酸。胆固醇酯可能是胆固醇的储存库, 而游离脂肪酸是 TAG 代谢过程的中间产物, 在青蟹大眼幼体时期, 游离脂肪酸组成增加, 是因为在变态期间 TAG 大量分解代谢, 使得组织中游离脂肪酸水平升高的缘故。饥饿条件下青蟹  $Z_1$  的磷脂和胆固醇酯组成及含量逐渐减少, 表明它们也参与饥饿幼体的能量代谢; 胆固醇酯被分解为胆固醇和脂肪酸, 前者运转到胆固醇库中, 后者则可能参加能量代谢, 因此无论摄食或饥饿, 青蟹  $Z_1$  的胆固醇含量都略有增加。第二种的解释

或机理可能是饥饿条件下由于胆固醇酯的分解, 导致胆固醇增加, 使蜕皮激素提前达到峰值, 从而导致这种饥饿幼体提前蜕皮。TAG 游离胆固醇可作为幼体营养状态的指标<sup>[4]</sup>, 称为条件指数, 摄食和饥饿条件下其发生相反变化, 即摄食幼体逐渐增加, 而饥饿幼体逐渐变小、营养状况越来越差。条件指数可作为判断某一批次幼体营养状况的指标, 条件指数高时, 表明幼体处于良好的生理状态, 这对指导育苗生产有一定的意义。

均重为 (84.4 ± 30.9) mg 的锯缘青蟹幼蟹胆固醇的营养需求表明, 饲喂胆固醇含量为 0.50% 和 0.79% 饲料的幼蟹增重率显著高于其他饲料组, 而饲喂未添加胆固醇的饲料的幼蟹存活率和蜕皮频率最低; 饲喂添加了胆固醇饲料的幼蟹存活率达 73% ~ 93%, 但当饲料中胆固醇含量达到 1.12% 时对幼蟹的生长有抑制作用, 以增重率为评价指标, 采用折线拐点分析法得出, 幼蟹饲料中胆固醇的适宜含量约为 0.51%<sup>[11]</sup>。饲喂添加了 0.8% 胆固醇配合饲料的锯缘青蟹大眼幼体发育成第 I 期幼蟹 ( $C_1$ ) 的成活率 (73.3%) 显著高于饲喂卤虫组 (53.3%), 饲喂分别添加了 0.2% 和 0.4% 胆固醇配合饲料的大眼幼体发育成  $C_1$  的成活率分别为 (60.0% 和 53.3%), 与卤虫组差异不显著, 且这几组大眼幼体发育较为同步, 变态为  $C_1$  平均为 8.9 d 而饲喂分别添加了 0.14% 和 1.0% 胆固醇配合饲料的大眼幼体发育成  $C_1$  的成活率分别为 26.7% 和 46.7%, 发育变态为  $C_1$  时间均为 11 d 大眼幼体饲料中胆固醇含量为 0.8% 时能很好地满足其生长发育的营养需求<sup>[12]</sup>。

随着青蟹幼体发育, 机体中二十碳五烯酸 (EPA) 和花生四烯酸 (ARA) 一直保持着稳定的比例, 表明其有调控 EPA 和 ARA 代谢的能力, 而二十二碳六烯酸 (DHA) 却随着幼体的发育而持续不断地减少, 一方面可能表明幼体对 DHA 有较高的需求, 另一方面也可能表明幼体对 DHA 的调控能力极为有限<sup>[1]</sup>, 且发现饲料中 DHA 含量不足是影响青蟹幼体存活、发育和变态的关键因子之一<sup>[13]</sup>。采用营养强化生物饵料的方法探讨青蟹幼体的 EPA 和 DHA 营养需求的结果表明, EPA 和 DHA 对幼体的生长发育、存活有显著的影响, 幼体需要 EPA 维持其较高的存活率, 而 DHA 则有助于幼体身体的生长, 尤其是对体宽增长明显, 但它对维持幼体的存活效果则不明显, 相

反,较高剂量的 DHA 还会抑制幼体的存活,并得出从  $Z_3$  开始投喂卤虫无节幼体,卤虫中 EPA 和 DHA 的适宜含量分别为 1.2% ~ 2.5% 和 0.46% 时,能满足幼体的 EPA 和 DHA 营养需求,提高幼体的存活率和促进其生长发育<sup>[14]</sup>。刚孵化的青蟹  $Z_1$ ,无论摄食与否,其多不饱和脂肪酸(HUFA)组成均增加,而饱和脂肪酸(SFA)和单不饱和脂肪酸(MUFA)均减少;HUFA(主要是 20:4 和 20:5)在脂肪酸代谢中被优先保留,不作为能量来源的代谢底物,表明其具有重要的生理作用;而幼体 SFA(主要是 16:0)和 MUFA(主要是 16:1 和 18:1)则是能量代谢的主要来源<sup>[11]</sup>。投喂强化了 HUFA 的轮虫和卤虫无节幼体,青蟹幼体的能值显著提高,证实 HUFA 不仅是一种重要的生理活性物质,同时也可能是能源物质,只不过其代谢的保守性在不同物种及各发育阶段存在差异而已<sup>[11]</sup>。因此,有关“HUFA 不直接提供能量,仅通过影响饲料利用效率使更多的能量用于生长和发育,从而提高存活率”的观点<sup>[15]</sup>有待商榷。

采用先饲喂强化脂肪酸的饵料(亚油酸 linoleic acid 18:2n-6 LA) 1.38% ~ 2.85%, 亚麻酸(linolenic acid 18:3n-3 LNA) 0.43% ~ 1.49%, 然后投喂未营养强化的卤虫( $\Sigma n-6FA$  1.6%,  $\Sigma n-3FA$  5.98%) 青蟹幼体的饲养实验表明,幼体出现幼体蜕皮期延长,存活率低,游动能力弱等必需脂肪酸(EFA)缺乏症,这表明饵料中的 LA 和 LNA 不能满足幼体对 EFA 的营养需求<sup>[16]</sup>。从  $Z_3$  开始投喂未营养强化的卤虫(含 EPA 0.43%) 不能维持高存活率,且蜕皮变态为 C1 的时间缩短,投喂 n-3HUFA 含量低的轮虫的青蟹幼体存活率低,蜕皮期延长<sup>[17]</sup>;从  $Z_1$  开始饲喂未营养强化的卤虫(EPA 含量为 0.33%), 几乎所有的幼体不能变态成 M, 且绝大多数由于无法变态发育到  $Z_5$  时就死亡<sup>[18]</sup>。从  $Z_3$  开始先饲喂强化 EPA 和 DHA 轮虫, 然后投喂未营养强化的卤虫, 结果幼体发育到 C<sub>1</sub> 的存活率低<sup>[16]</sup>。由此可见, C<sub>1</sub> 存活率显著受卤虫中 EPA 含量的影响。

DHA 和 EPA 在青蟹幼体发育过程中发挥着重要的作用,从  $Z_2$  体中的 DHA(0.2~0.3 g) 和 EPA(0.4~0.6 g) 含量比刚孵化的  $Z_1$  体中的 DHA 和 EPA 含量(分别为 0.4 g 和 1.2 g) 下降中可以看出, 饲喂未营养强化卤虫  $Z_1$  发育到 C<sub>1</sub>

的存活率低、蜕皮周期延长、甲壳宽狭窄,这可能是由于饵料中缺乏 EPA 和 DHA, DHA 在甲壳宽的增长中发挥的作用大于 EPA, 饵料中的 DHA 对于幼体的成功蜕皮发挥着重要的作用<sup>[16]</sup>。甲壳动物蜕皮是由蜕皮固醇调节的,它是由位于眼柄处的 Y 器官分泌的,分泌后释放到血淋巴中,直接调节蜕皮活动<sup>[19]</sup>。3H 蜕皮酮在 *Ornithodoros moubata* 的胚胎和幼体体内能够代谢转化为 3 种不同的复合物,其中一种是 C-22 共轭脂肪酸,因此推测 C-22 脂肪酸,如 DHA 可能通过调控蜕皮固醇代谢而调节青蟹幼体的蜕皮<sup>[20]</sup>。

ARA 也是维持青蟹正常生长所必需的,但 ARA 并不能提高青蟹存活率或加速蜕皮, 卤虫 *Artemia* 中 ARA 含量 0.16% ~ 0.21% 可能就能满足锯缘青蟹幼体的营养需求<sup>[16]</sup>。

总之, n-3HUFA (EPA 和 DHA 发挥的作用比 LA 和 LNA 大) 对于维持锯缘青蟹幼体的正常存活、蜕皮和生长发育发挥着重要的作用,但过量的脂肪酸和 DHA/EPA 不平衡也严重影响幼体生长性能。

### 1.3 青蟹对碳水化合物的营养需求

青蟹幼体的发育过程中,各期幼体的碳水化合物干重的比例与含量保持着稳定的低水平(仅占幼体干重的 2% ~ 4%), 从  $Z_1$  发育到  $Z_4$  碳水化合物的含量亦呈增加趋势,其中  $Z_3$  期增加最多,但随后幼体的碳水化合物的含量连续减少<sup>[11]</sup>;而糖元则是  $Z_1$  含量很低,  $Z_3$ 、 $Z_5$  期增加,  $Z_5$  和 M 期明显高于其他各期幼体,且以  $Z_5$  期为最高<sup>[17]</sup>。与糖类代谢有关的醛氧化酶,乳酸脱氢酶和  $\alpha$ -淀粉酶则随着发育期不同,其同工酶谱有明显的变化,说明青蟹糖类代谢因发育期而异。幼体消化道组织化学观察结果也表明:消化道中所含的糖原比较少,而且各发育期的含量不一样。糖原含量不是随着发育期而递增,而是  $Z_3$ 、 $Z_5$  和 M 这 3 个发育期增加量比较明显。

有关青蟹的维生素和矿物质的营养需求至今尚属空白,今后应加强这方面的研究工作,为青蟹系列配合饲料配方研发提供营养学支持。

## 2 青蟹配合饲料研制

配合饲料是青蟹集约化、规模化和产业化养殖的物质基础,其除了满足青蟹对蛋白质、脂类、碳水化合物和能量的需求,更重要是要能满足青

蟹对氨基酸、脂肪酸、维生素和矿物质的营养需求,并充分考虑不同生长阶段(幼体、幼蟹、成蟹、亲蟹)的营养差别及摄食习性差异,应具备安全、环保、高效的特点。

目前,青蟹配合饲料大体可以分青蟹幼体用的微粒饵料、微膜饵料、微囊饵料<sup>[21]</sup>以及幼蟹、成蟹、亲蟹系列配合饲料<sup>[22-23]</sup>。现将青蟹配合饲料研制的几个关键环节介绍如下:

### 2.1 青蟹营养标准的确定及配方设计

根据青蟹营养需求研究成果、青蟹机体生化成分以及喜食食物的营养分析,确定青蟹配合饲料的营养标准,并依据青蟹的营养标准、原料的营养特性以及养殖模式,设计并优化系列饲料配方。

### 2.2 原料选择

应选择资源充足、营养丰富、营养素生物利用率高、新鲜、无特殊加工要求和安全卫生的原料。已有学者开展了青蟹对饲料原料消化率的研究。青蟹对鱼粉、乌贼粉、毛虾粉、肉骨粉、干椰子肉粉、小麦粉、米糠、玉米粉和去脂大豆粉等9种原料的表观消化率表明,除肉骨粉外,青蟹对其它原料的干物质的消化率高,乌贼粉、玉米粉和去脂大豆粉中营养素的消化率高于肉骨粉的,且碳水化合物丰富的植物性原料的粗脂肪的表观消化率显著高于蛋白质含量丰富的动物性原料<sup>[24]</sup>。锯缘青蟹幼蟹对纤维素、鱼粉、虾粉、血粉、大豆粉、小麦粉和鳕鱼油等7种原料的干物质、能量和蛋白质表观消化率分别为70.0%~95.7%,77.4%~97.1%和57.7%~97.9%。大豆粉的能量表观消化率最大,面粉最低;鱼粉、虾粉、血粉的蛋白质表观消化率差异不显著,均比大豆粉的表观消化率低,而高于面粉,表明青蟹能较好地利用植物性饲料原料<sup>[25]</sup>。因此配合饲料中应该尽可能多地使用植物性原料,降低其生产成本。

### 2.3 原料粉碎

青蟹消化器官简单,消化腺不发达,各种消化酶因青蟹体温低,所以活性均不高<sup>[26-28]</sup>,肠道中起消化作用的细菌种类和数量均较少,食物在消化道内停留的时间较短。因此,在饲料加工中,青蟹饲料原料要求具有更细的粉碎粒度,要求95%以上通过80目,以提高饲料的混合均匀性、颗粒成型率和水中的稳定性以及青蟹对营养物质的消化吸收。

## 2.4 饲料加工工艺的制定

根据青蟹系列饲料配方、摄食习性及原料的加工特性,制定并改进饲料加工工艺,使生产的青蟹饲料具有一定的韧弹性。一般采取如下工艺:原料的筛选、合理配比→混合→粉碎→调质→制粒→冷却与干燥→包装。

我们已经成功地开发出了青蟹系列配合饲料,在生产实践中已经取得了良好的效果<sup>[20]</sup>,相信不断完善后将会大批量应用到青蟹养殖生产中,推进青蟹的健康养殖。

## 3 展望

质优量足的配合饲料是规模化生产青蟹养殖生产的物质基础。然而迄今为止,有关青蟹的营养需求研究和配合饲料研制尚不完善。为此,系统开展青蟹营养需求研究及其配合饲料研发已势在必行。综合青蟹营养需求研究、饲料研发现状以及养殖生产实际情况,今后应重点加强如下方面的研究:

(1) 深入系统地研究青蟹消化生理、营养生理,探讨青蟹各生长发育阶段的物质与能量代谢的模式以及适宜营养需求量;同时,系统地开展青蟹对各类饲料原料消化率,研究为青蟹系列优质配合饲料的研制提供基础数据;

(2) 加强青蟹营养相互作用以及营养与免疫抗病力关系的研究;

(3) 强化青蟹营养需求与品质、环境因子之间的关系研究,推进青蟹营养品质学和青蟹营养生态学研究;

(4) 加强青蟹营养对生殖性能以及内分泌影响的研究,推进其生殖营养学和营养内分泌学研究,探讨饲料组成对青蟹生长生殖的调控作用,特别是防止青蟹性早熟的营养生理机制研究;

(5) 加强青蟹分子营养学研究,分离、克隆和表达与营养代谢密切相关的基因,并探讨其功能;

(6) 系统开展青蟹幼体生物饵料营养强化研究工作,不仅要强化HUFA(特别是EPA和DHA),而且还应强化其它必需营养素,如维生素C、必需氨基酸、微量元素等;

(7) 加强青蟹幼体的营养需求研究,积极开发出营养全面、适口性好、消化率高、水中稳定性好、低污染的青蟹幼体微粒饵料、微膜饵料、微囊

饵料. 生物饵料, 推进育苗产业化发展;

(8) 加大青蟹系列配合饲料的研发力度, 推进其规模化健康养殖的发展。

### 参考文献:

- [1] 翁幼竹. 锯缘青蟹 *Scylla serrata* (Forsk.) 幼体物质代谢与营养需求的研究 [D]. 厦门大学博士学位论文, 1999.
- [2] Chin H C, Gunasekera U P D, Amandokoon H P. Formulation of artificial feeds for mud crab culture: a preliminary biochemical, physical and biological evaluation [C] // Angelica (Ed.), Report of the Seminar on the mud crab culture and trade, Thailand, 5 - 8 November 1991, Bay of Bengal Programme for Fisheries Development, Madras, India, 1992, 246.
- [3] Catacutan M R. Growth and body composition of juvenile mud crab *Scylla serrata*, fed different dietary protein and lipid levels and protein to energy ratios [J]. *Aquaculture*, 2002, 208(1-4): 113-123.
- [4] 艾春香. 锯缘青蟹养殖生物学特性及饲料与投喂 [J]. *渔业现代化*, 2004, 4: 19-20.
- [5] Dall W, Smith D M. Changes in protein-bound and free amino acids in the muscle of the tiger prawn *Penaeus esculentus* during starvation [J]. *Mar Biol*, 1987, 95: 509-520.
- [6] Fair P H, Sick L V. Serum amino acid concentrations during starvation in the prawn *Macrobrachium rosenbergii*, as an indicator of metabolic requirements [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1982, 73B: 195-200.
- [7] Fraser A J. Triacylglycerol content as a condition index for fish, bivalve and crustacean larvae [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1989, 46: 1868-1873.
- [8] Sheen Shynshin Wu Shengwei. The effects of dietary lipid levels on the growth response of juvenile mud crab *Scylla serrata* [J]. *Aquaculture*, 1999, 175(1-2): 143-153.
- [9] Coutteau P, Genéden I, Canara M R, et al. Review on the dietary effects of phospholipids in fish and crustacean larviculture [J]. *Aquaculture*, 1997, 155(1-2): 149-164.
- [10] Huberman A. Shrimp endocrinology. A review [J]. *Aquaculture*, 2000, 191(1-3): 191-208.
- [11] Sheen Shyrshin. Dietary cholesterol requirement of juvenile mud crab *Scylla serrata* [J]. *Aquaculture*, 189(3-4): 2000, 277-285.
- [12] Holme M H, Zeng C, Southgate P C. The effects of supplemental dietary cholesterol on growth, development and survival of mud crab, *Scylla serrata*, megabpa fed semipurified diets [J]. *Aquaculture*, 2006, 261(4): 1328-1334.
- [13] 翁幼竹, 李少菁, 王桂忠. 从锯缘青蟹幼体及其饲料的含脂情况探讨其脂营养需求 [J]. *海洋学报*, 2003, 25(Sup 2): 88-94.
- [14] Kobayashi T, Takeuchi T, Arai D, et al. Suitable dietary levels of EPA and DHA for larval mud crab during *Artemia* feeding period [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2000, 66(6): 1006-1013.
- [15] Pelet J J and McConaughy J R. The physiological and bioenergetic responses of blue crab larvae to diet and seasonality [J]. *Bull Mar Sci*, 1990, 146(1): 248-249.
- [16] Suprayudi M A, Takeuchi T, Hamasaki K. Essential fatty acids for larval mud crab *Scylla serrata*: implications of lack of the ability to bioconvert C18 unsaturated fatty acids to highly unsaturated fatty acids [J]. *Aquaculture*, 2004, 231(1-4): 403-416.
- [17] Suprayudi M A, Takeuchi T, Hamasaki K, et al. The effect of n-3HUFAs content in rotifers on the development and survival of mud crab, *Scylla serrata*, larvae [J]. *Suisan Zoshoku*, 2002, 50: 205-212.
- [18] Suprayudi M A, Takeuchi T, Hamasaki K, et al. Effect of *Artemia* feeding schedule and density on the survival and development of larval mud crab *Scylla serrata* [J]. *Fish Sci*, 2002, 68: 1295-1303.
- [19] Subramaniam T. Crustacean ecdysteroids in reproduction and embryogenesis [J]. *Comp Biochem Physiol*, 2000, 125 C: 135-156.
- [20] Doston E M, Connat J L, Diehl P A. Metabolism of [3H]-ecdison in embryos and larvae of the tick *Ornithodoros moubata* [J]. *Arch Insect Biochem Physiol*, 1993, 23: 67-78.
- [21] Holme M H, Zeng C S, Southgate P C. Use of microbound diets for larval culture of the mud crab, *Scylla serrata* [J]. *Aquaculture*, 2006, 257(1-4): 482-490.
- [22] 艾春香, 李少菁, 王桂忠, 等. 锯缘青蟹系列配合饲料饲养试验 [J]. *福建农业学报*, 2005, 20(4): 217-221.
- [23] Genodepa J, Southgate P C, Zeng C. Diet particle

- size preference and optimal ration for mud crab *Scylla serrata*, larvae fed microbound diets [ J ]. *Aquaculture*, 2004, 230(1-4): 493-505.
- [ 24 ] Catacutan M R, Eusebio P S, Teshima S I. Apparent digestibility of selected feedstuffs by mud crab *Scylla serrata* [ J ]. *Aquaculture*, 2003, 216(1-4): 253-261.
- [ 25 ] Tuan IV H, Anderson A, Jim L V, *et al*. Apparent digestibility of some nutrient sources by juvenile mud crab *Scylla serrata* (Forsk. 1775) [ J ]. *Aquaculture Research*, 2006, 37(4): 359-365.
- [ 26 ] Pavasovic M, Richardson N A, Anderson A J *et al*. Effect of pH, temperature and diet on digestive enzyme profiles in the mud crab *Scylla serrata* [ J ]. *Aquaculture*, 2004, 242(1-4): 641-654.
- [ 27 ] 汤 鸿, 李少菁, 王桂忠. 锯缘青蟹幼体消化酶活力 [ J ]. *厦门大学学报 (自然科学版)*, 1995, 34(1): 88-93.
- [ 28 ] 李少菁, 汤 鸿, 王桂忠. 锯缘青蟹幼体消化酶活力昼夜节律的实验研究 [ J ]. *厦门大学学报 (自然科学版)*, 2000, 39(6): 831-836.