

蟹类的营养需求研究及其配合饲料研制

艾春香, 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)

摘要: 概述了中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*)、青蟹 (*Scylla* sp) 和三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 等几种主要养殖蟹类的营养需求研究及其配合饲料研制的进展, 主要包括蟹类的蛋白质、氨基酸、脂类、脂肪酸、磷脂、胆固醇、碳水化合物、维生素、矿物质等营养需求研究及其配合饲料研制成果。最后, 对今后开展蟹类营养需求研究以及系列配合饲料研制提出了若干建议。

关键词: 中华绒螯蟹; 青蟹; 三疣梭子蟹; 营养需求; 配合饲料

中图分类号: Q 492

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2006)S2-0205-08

全世界虾类不到 1600 种, 却有许多经济价值很高的食用种类, 且养殖种类也较多, 已有 20 多种虾类开展了人工养殖; 而蟹类正相反, 共有 6000 种之多, 但其中个体大, 产量高的却不多, 进行养殖的种类也较少。目前, 已开展养殖的蟹类主要有中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*, 简称河蟹)、青蟹 (*Scylla* sp) 和三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 等几种。迄今, 有关蟹类养殖的基础研究工作远滞后于生产实践, 其营养生理、营养需求研究及其配合饲料研发起步较晚, 但进展较为迅速。蟹类规模化养殖生产的发展, 推进了其营养需求研究及其配合饲料研制工作。本文简要地概述国内外该领域的研究成果, 以期为蟹类健康养殖提供质优量足的系列配合饲料, 推进养蟹业持续发展。

1 蟹类的营养需求

1.1 蛋白质和氨基酸

1.1.1 蛋白质

蛋白质对于维持蟹类健康生长、发育与繁殖具有重要的意义, 它不仅是构成蟹类机体组织、器官不可缺少的物质, 且是许多生物活性物质, 如酶、激素等的组成成分, 同时也是饲料成本中比例最大的成分。此外, 饲料中蛋白质作为能量利用时将伴随着氮的分泌而影响水质, 故生产出一种能满足其最适生长, 低蛋

白质环保型蟹类配合饲料市场前景看好。国内外学者均将蟹类蛋白质营养需求作为首选的重要课题进行研究。蟹类蛋白质需求, 因种类、生长发育阶段、饲养模式、养殖环境条件、蛋白源和评价指标等不同而异。迄今, 蟹类蛋白质需求已取得了一系列研究成果 (见表 1)。

综合研究资料表明, 河蟹各生长阶段蛋白质需求量不同, 溞状幼体 (Zoea Z) 至大眼幼体 (megabpa M) 为 45% ~ 55%, M 至 0.1g 幼蟹为 48.6%, 0.1g 以上的河蟹为 35% ~ 45%, 生长发育前期对饲料蛋白质需求较高, 后期较前期低。

饲料蛋白源影响蟹类的生长发育。朱雅珠等^[20]认为河蟹不能有效地利用过量的鱼粉, 并指出动物蛋白含量过高, 河蟹性早熟比例增加; 动物蛋白含量减少, 性早熟现象被抑制或消除, 7g 左右的河蟹饲料中鱼粉最适含量为 18%, 动植物蛋白适宜比为 1: 2.7. 4g 左右的河蟹配饵中适宜动植物蛋白比为 1: 1.5 时, 河蟹的生长发育良好, 且对饲料的利用率提高^[21]。

蟹类的消化酶活性受饲料蛋白源的影响。随着饲料中大豆浓缩蛋白含量升高, 河蟹胃蛋白酶和胰蛋白酶活性均降低; 当大豆浓缩蛋白含量达到 44% 时, 与全鱼粉组相比, 河蟹胃蛋白酶和胰蛋白酶活性显著性降低 ($p < 0.05$), 淀粉酶稍升高, 纤维素酶则稍降低; Amylase/Trypsin (A/T) 比例呈显著上升, 说明河蟹对植物蛋白有很强的适应性^[22]。

1.1.2 氨基酸

蟹类对蛋白质的需求, 实质是对氨基酸 (AA) 和寡肽的需求, 各种氨基酸的重要性, 可以通过生长试验和放射同位素标记测定法加以确定。有关蟹类氨基酸和寡肽的营养需求研究很少, 分析蟹类各生长阶段机体氨基酸组成与含量可为确定其配合饲料中氨基酸含

收稿日期: 2006-11-20

基金项目: 国家“863”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 985 计划科技创新项目“锯缘青蟹亲体脂肪酸营养与幼体发育关系研究”资助

作者简介: 艾春香 (1967-), 男, 博士, 副教授。

* 通讯作者: chunxa@126.com

表 1 蟹类的蛋白质营养需求
Tab. 1 The protein requirements of the crabs

种类	生长发育阶段	需求量 /%	指标	资料来源
中华绒螯蟹	溞状幼体	45	成活率	徐新章 ^[1]
	0.075~0.115 g的幼蟹	41.2	成活率	徐新章 ^[1]
	0.09~0.1 g的幼蟹	41.7	成活率	徐新章 ^[4]
	0.115 g的幼蟹	20~25	增长率	张云贵等 ^[2]
	大眼幼体至④期幼蟹阶段	45	成活率和增长率	韩小莲 ^[3]
	幼蟹-成蟹	35~40	成活率和增长率	陈立侨 ^[4]
	6~10 g蟹种	34.05~46.50	成活率和增长率	陈立侨等 ^[5]
	幼蟹	39.78	生长发育	中国科学院植物研究所 ^[6]
	幼蟹-成蟹	前期 41, 中后期为 36	生长发育	刘学军等 ^[7]
		40~44	成活率和增长率	钱国英和朱秋华 ^[8]
	幼蟹-成蟹	35~40	成活率和增长率	马健等 ^[9]
	体质量 7~10 g	40.37	生长	石文雷 ^[10]
	溞状幼体	55.28	成活率	张家国等 ^[11]
	大眼幼体至④期幼蟹	35.5~45.5	成活率	张家国等 ^[11]
	1.06±0.17 g幼蟹	39.0~42.5	成活率和增长率	M uY等 ^[12]
1.5 g幼蟹	29.46	生长	谭德清等 ^[13]	
6 g蟹种	40.03	增长倍数、饵料系数、成活率	吴曰杰 ^[14]	
仔蟹	35	成活率和增长率	江洪波 ^[15]	
青蟹	幼蟹-成蟹	35~40	成活率和增长率	Ch in等 ^[16]
	9.15幼蟹	32~40	成活率和增长率	Catacutan ^[17]
	⑦期溞状幼体-成蟹	38.0~45.9	成活、蜕皮、增长	艾春香 ^[18]
梭子蟹	18.5 g幼蟹	41	蜕皮、增长	丁雪燕等 ^[19]

量提供参考。

陈立侨等^[4]研究发现,河蟹蟹种配饵中豆饼的添加量超过 43% 时会引起某些氨基酸缺乏;当豆饼添加量低于 29%、鱼粉超过 40% 时,则造成精氨酸(Arg)、组氨酸(His)缺乏。张云贵等^[23]研究表明,河蟹蟹种阶段低蛋白饵料中需添加蛋氨酸(Met)、苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、异亮氨酸(Ile)、赖氨酸(Lys),成蟹阶段低蛋白饵料中则需添加 Met、Thr、Ile、色氨酸(Trp)。添加氨基酸可使河蟹饵料蛋白质含量降低 3%~4% 时获得较高的成活率和理想的增长效果。

目前多以单因素浓度梯度法来研究蟹类对某种必需氨基酸(EAA)适宜需求量。陈立侨^[4]报道了河蟹种蟹体 EAA 含量(%) 为 Lys 1.879、Ile 1.290、亮氨酸(Leu) 2.110、Val 1.404、Arg 2.400、His 0.630、Thr 1.145、Met 0.680、苯丙氨酸(Phe) 1.860。以存活率和蜕皮频率为判据,河蟹仔蟹其对 Arg 的适宜需求量为 2.0 g/100 g 饲料(或 3.3 g/100 g 蛋白质),对 Lys 的适宜需求量为 2.55 g/100 g 饲料(或 4.25 g/100 g 蛋白质)^[15]。

青蟹各期幼体之间的氨基酸组成基本一致,而 Z

期总氨基酸(TAA)含量则随着其发育而逐渐增加,变态后减少,其中 EAA 以 Lys 含量增幅最大,Leu 的比例最高。在非必需氨基酸(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);幼体需要较高水平的 Met 和 Leu,且后期幼体对 His 需求有所减少。氨基酸组成和含量,各期幼体之间均没有显著差异,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。青蟹各期幼体的 AA 组成与轮虫、卤虫无节幼体基本相似,但幼体的 Met、Gly 比例明显高于饵料,而 Pro 比例则明显较低^[24]。

三疣梭子蟹幼体的 TAA 随着幼体的发育而逐渐增加,EAA 中以 Leu 含量为最高,Trp 含量为最低;NEAA 中以 Glu 含量为最高,胱氨酸(Cys)含量为最低。单个必需氨基酸含量与总必需氨基酸含量之比(A/E)在幼体不同发育阶段略有差异,但基本趋于一致^[25]。

1.2 能量及能量蛋白比

1.2.1 能量

蟹类作为变温动物,其体温随水温的变化而变

化, 故其对维持体温的能量需求较恒温动物低. 陈立侨等^[26]报道河蟹对脂肪的消化率达 85.69% ~ 88.39%, 且河蟹还能利用适量的碳水化合物作为能量源. Catacutan^[17]研究表明, 初始均质量为 9.15 ± 0.46 g 青蟹饲料中的能量范围为 14.7 ~ 17.6 MJ/kg 饲料时, 能满足青蟹生长发育的能量需求.

1.2.2 能量蛋白比

蛋白含量和蛋白能量比 (P/E) 在饲料的配制上具有重要的意义, 饲料中适宜的蛋白能量比既有利于能量的利用, 又有利于蛋白质的利用, 可提高饲料利用效率, 降低饲料成本, 改善养殖效果. 有关蟹类的蛋白能量比研究成果见表 2.

徐新章等^[27]认为, 体质量 3 g 的幼蟹, 以增长率为指标, 配饵中适宜能蛋比为 8.5; 以成活率为指标, 配饵适宜能蛋比为 11.98. 林仕梅等^[28]研究表明, 体质量为 8 ~ 10.5 g 的河蟹总氮 (TN)、氨态氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 排泄率随饲料中蛋白能量比 (P/E) 的增加而升高; 其肌肉、肝胰脏内谷草转氨酶 (GOT) 和谷丙转氨酶 (GPT) 活力受饲料 P/E 不同程度的影响, 表现出随饲料 P/E 增加而升高的趋势.

1.3 脂肪及脂肪酸

1.3.1 脂肪

脂肪是维持蟹类生长、发育、存活、健康和繁殖的能量物质和营养素, 在其生命活动过程发挥着重要的作用, 饲料中适量添加脂肪不仅可促进蟹类生长, 且具有节约蛋白质的效应. 但不同种类和同一种类不同生长发育阶段的蟹类对脂类、脂肪酸的营养需求各异, 脂肪源和饲料组成也影响蟹类脂肪需求量 (见表 3).

1.3.2 脂肪酸

饲料中脂类脂肪酸的组成, 特别是 C18:2 C20:5 (EPA) 和 C22:6 (DHA) 等长链多不饱和脂肪酸 (PUFA) 是蟹类的必需脂肪酸 (EFA), 对蟹类的蜕皮、生长和生殖均具有重要作用.

研究表明, 油酸和亚油酸 (LA) 很可能不是河蟹幼蟹的 EFA, 而 EPA、DHA 则是, 且它们的相对含量分别低于 0.03% 和 0.5% 时对其生长不利^[34]. 河蟹仔蟹对亚油酸、亚麻酸、EPA 和 DHA 的最适需求量分别为 2.79%, 0.95%, 0.28% 和 0.53%^[35]. 初始体质量为 1.37 ± 0.46 g 的河蟹幼蟹饲料中添加 0.30% 的 DHA 与 EPA 时, 其增长率和对饲料的利用率明显改善, 但当饲料中 DHA 与 EPA 的添加量增加到 0.60% 时, 虽然

表 2 蟹类的蛋白能量比

Tab 2 The rate of protein/energy of the crab feeds

种类	生长发育阶段	蛋白能量比 / (mg · kJ ⁻¹)	指标	资料来源
中华绒蟹	1.06 ± 0.17g 幼蟹	26.28 ~ 26.87	成活率和增长率	MuYY ^[12]
	9.75g 幼蟹	28.93	成活率和增长率	林仕梅等 ^[29]
	10.5 ~ 14.2g	28.46	成活率和增长率	林仕梅等 ^[30]
	19 ~ 25g 幼蟹	22.2	生长、SGR 和 PER	朱秋华和钱国英 ^[31]
锯缘青蟹	9.15 幼蟹	17.11 ~ 27.21	成活率和增长率	Catacutan ^[17]

表 3 蟹类的脂肪需求量

Tab 3 The lipid requirements of the crabs

生长阶段	脂肪适宜量 / %	评价指标	资料来源
河蟹溞状幼体	6	成活率	徐新章 ^[11]
0.09 ~ 0.1 g 河蟹幼蟹	6.8	成活率	徐新章 ^[11]
河蟹成蟹	5.2	生长	刘学军等 ^[7]
	8.7	生长、成活率	中科院植物所 ^[6]
5 ~ 10 g 的河蟹蟹种	3	生长和饵料转化率	陈立侨等 ^[4]
河蟹	4 ~ 6	生长	钱国英和朱秋华 ^[8]
0.85 ± 0.09 g 的河蟹幼蟹	6.61 ~ 9.96	生长	汪留全等 ^[32]
35.8 ~ 48.8 g 青蟹幼蟹	5.3 ~ 13.8	生长	Sheen 和 Wu ^[33]
9.15 ± 0.46 g 的青蟹幼蟹	6 ~ 12	生长	Catacutan ^[17]
(9) 期青蟹溞状幼体-成蟹	6 ~ 10	成活、蜕皮、增长	艾春香 ^[18]
18.5g 梭子蟹幼蟹	6	蜕皮、增长	丁雪燕等 ^[19]

能有效地促进幼蟹摄食,但对幼蟹的体质质量增长和饲料的利用均表现出抑制;饲料中适量添加 DHA 与 EPA 能有效地促进河蟹幼蟹生长,然而饲料中 DHA 与 EPA 水平与幼蟹蜕壳则呈现负相关。由此可见,饲料中适量添加 DHA 与 EPA,并不是增加幼蟹蜕壳率,而是有效地提高幼蟹的蜕壳质量,从而促进幼蟹生长,这也说明蟹体体质量的增长并不完全由蜕壳率的高低所决定^[36]。

随着青蟹幼体发育,机体中 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 DHA 却随着幼体的发育而持续不断地减少,这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^[37]。EPA 和 DHA 对青蟹幼体的生长发育、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,他们得出从 Z₃ 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,能满足幼体的营养需求,提高幼体的存活率和促进其生长发育^[38];饲料中 HUFA 含量适宜,并保持高的 DHA/EPA 值时,有助于促进青蟹幼体蜕皮,饲料中 DHA/EPA/ARA 平衡,能有效地改善幼体的生长^[38]。

Suprayudi 等^[39] 研究表明,先饲喂强化脂肪酸的轮虫[LA 和亚麻酸(LNA)含量分别为 1.38% ~ 2.85%, 0.43% ~ 1.49%],然后投喂未营养强化的卤虫($\Sigma n \sim 6FA 1.6\%$, $\Sigma n \sim 3FA 5.98\%$)的青蟹幼体出现 EFA 缺乏症,如蜕皮期延长,存活率低,且游动能力弱。这表明饲料中的 LA 和 LNA 不能满足青蟹幼体对 EFA 的需求。此外,从 Z₃ 开始投喂未营养强化的卤虫(含 EPA 0.43%)不能维持高的存活率,且蜕皮变态为 iv 期幼蟹的时间缩短。Suprayudi 等^[40] 研究表明,投喂 n-3HUFA 含量低的轮虫,幼体存活率低,蜕皮期延长,饲料中 n-3HUFA 含量对三疣梭子蟹幼体的影响也相似^[41-43]。此外,Suprayudi 等^[44] 从 Z₁ 开始饲喂未营养强化卤虫(EPA 含量为 0.33%),几乎所有的幼体不能变态成大眼幼体,且绝大多数无法变态发育到 Z₅ 时就死亡。Suprayudi 等^[39] 从 Z₃ 开始先饲喂强化 EPA 和 DHA 轮虫,然后投喂未营养强化的卤虫,结果青蟹幼体发育到 iv 期幼蟹的存活率低。由此可见,iv 期幼蟹的存活率显著受卤虫中 EPA 含量而不是受轮虫数量的影响。

Suprayudi 等^[39] 研究显示, DHA 和 EPA 在青蟹幼体发育过程中发挥着重要的作用,饲喂未营养强化卤

虫发育到 iv 期幼蟹表现出存活率低、蜕皮周期延长和甲壳宽狭窄可能是由于饵料中缺乏 EPA 和 DHA。饵料中的 DHA 对于幼体的蜕皮发挥着重要的作用。甲壳动物蜕皮是由蜕皮固醇调节的,它是由 Y 器官分泌的,分泌后释放到血淋巴中,直接调节蜕皮活动^[45]。[3H]-蜕皮酮在 *Ornithodoros moubata* 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 C₂₂ 共轭脂肪酸,因此推测 C₂₂ 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, DHA 在甲壳宽的增长中发挥的作用大于 EPA^[46]。

Suprayud 等^[39] 发现,所有处理组 Z₂ 的 ARA 含量下降(从 0.9 降至 0.3~0.6 g),这表明 ARA 对于青蟹是必需的,然而 ARA 并不能提高青蟹存活率或加速蜕皮,卤虫中 ARA 含量为 0.16% ~ 0.21% 可能就能满足青蟹幼体的营养需求。

磷脂对蟹类的蜕皮、生长、成活和生殖等均具有重要作用,它在蟹类体内转运和利用脂肪的过程中发挥了重要生理功能,其在蟹类体内不能合成或合成量过少,不能满足蟹类生长发育的需要,饲料中添加一定量的磷脂可促进蟹类的生长和成活,并直接影响蟹类体磷脂的含量。成永旭等^[47] 研究表明,饲料中添加磷脂可提高河蟹 M 至 III 期仔蟹的成活率,而 PUFA 的作用不明显,但可提高 M 至 I 期仔蟹的成活率。初始体质量为 1.23 ± 0.36g 幼蟹的增长率和饲料转化率随饲料中磷脂水平的上升而提高。饲料中磷脂有效促进河蟹幼蟹生长的适宜添加量应为 2% ~ 4%^[48]。

蟹类饲料中蛋白质与磷脂的配比不当,比如,蛋白质含量过高,由于磷脂的缺乏,可能造成吸收的蛋白质转换为组织蛋白的效率降低,不得不将多余的蛋白质转换为脂肪储存在肝胰腺中,肝胰腺中储存脂肪在短时期内显著升高,从而引起提早蜕皮。

胆固醇对于维持蟹类正常的生长发育、内分泌和生殖是非常重要的,但蟹类自身却不能合成胆固醇或合成能力极为有限,需依靠外源饲料供应。初始体质量为 1.5 g 的仔蟹饲料中添加 0.5% ~ 1.5% 的胆固醇能起到促进其生长发育的作用,添加量过高,仔蟹蜕壳频率加快,会促使蟹发生性早熟,胆固醇添加量为 1.5% ~ 3.0% 范围内,随着其添加量的增加,蟹性早熟比率增大,综合分析得出,仔蟹饲料中胆固醇添加量为 0.5% ~ 1.0% 比较合适^[49]。初始体质量为 1.13 ± 0.35g 的河蟹幼蟹饲料中的胆固醇水平对其生长性能及其饲料利用率指标差异不显著 ($p > 0.05$),但幼蟹的增长率和对饲料的利用率,添加 0.2% 胆固醇的饲料组明显优于添加 0.4% 和未添加胆固醇的饲料组。这表明,饲料中添加 0.2% 胆固醇可促进幼蟹生长,过

高反而抑制幼蟹生长和饲料利用率^[50]。

体质量为 84.4 ± 30.9 mg 的青蟹饲料中胆固醇含量超过 1.12% 则会抑制其生长, 采用折线分析法得出, 其胆固醇适宜营养需求量大约为 0.51%。这有助于促进青蟹大眼幼体和仔蟹的生长发育和存活^[51]。

1.4 碳水化合物

糖类物质可以作为主要能源物质, 并且能够节约蛋白质, 在神经代谢中也起着非常重要的作用, 因为中枢神经只能利用血糖供代谢所需。

徐新章等^[11]以成活率为指标, 发现河蟹蚤状幼体配饵中糖的适宜含量为 20%; 0.09~0.1 g 的幼蟹配饵中糖适宜含量为 31%。

蟹类体内纤维分解酶活性较低, 但适量添加纤维素 (3%~7%), 对维持正常的消化功能是必需的, 有助于消化道的蠕动和消化酶的分泌, 促进饲料中蛋白质等营养物质的消化吸收, 但添加量过高, 则影响蟹类的正常生长。中国科学院植物研究所^[6]试验表明, 河蟹饵料中含 6.11% 粗纤维时对蟹的生长发育有利。河蟹蚤状幼体配饵中纤维素适宜含量为 4%, 体质量为 0.09~0.1 g 的幼蟹配饵中纤维素适宜含量为 7.8%^[11]。钱国英等^[8]研究认为, 河蟹配饵中纤维素适宜含量为 3%、5% 和 7% 纤维素均显著地降低了生长比率、蛋白质效率、蛋白质表观消化率, 使饲料系数极显著升高 ($p < 0.01$)^[8]。刘学军等^[7]认为河蟹饵料粗纤维适宜含量为 6.5%。

1.5 维生素

维生素是维持蟹类正常生理功能必需的营养素。蟹类对维生素需求量受种类、发育阶段、生理状态、饲料组成和品质、环境因素以及营养素间的相互关系等影响, 较难准确地确定。有关这方面报道极少。

林仕梅等^[52]采用 L9(34) 正交实验得出河蟹配饵中几种维生素的适宜需求量分别为 V_C 100 mg/kg, V_E 45 mg/kg, 肌醇 400 mg/kg, 胆碱 400 mg/kg, V_E 对仔蟹的正常生长发育、存活和蜕皮是必需的, 其适宜添加量为每 100 g 饲料中添加 20~40 mg^[53]; V_C 是维持河蟹正常生长、存活、蜕壳频率及抗逆性所必需的, 保持幼蟹良好生产性能的维生素 C 多聚磷酸酯 (LAPP) 营养需求量为 200~400 mg/100 g 饲料^[54]。

有关青蟹和三疣梭子蟹的维生素营养需求量尚未见报道。

1.6 矿物质

矿物质 (常量元素与微量元素) 是维持蟹类生长发育、健康和繁殖不可缺少的营养物质。

河蟹对矿物质的需要, 目前主要是关于配饵中钙磷适宜含量的报道。钙离子不仅参与构成蟹体的外

壳, 且是许多酶的激活剂, 对激素、神经和肌肉的正常功能发挥起着非常重要的作用; 磷除了构成蟹体外壳和细胞膜的组分外, 以磷酸根形式参与氧化磷酸化等过程, 与 RNA 与 $Coiv$ 、 Co^{2+} 的合成有关, 因而对蟹类的蛋白质合成、饲料转化率等有重要的影响。徐新章^[11]认为河蟹蚤状幼体配饵中钙磷总量为 3%, 钙磷比为 2:1 时大眼幼体的成活率最高; 通过河蟹在定量的钙磷水体中摄食含定量钙磷的配饵试验, 发现水体供钙比配饵大, 由此得出河蟹配饵中可以不加钙盐, 而必须加入磷盐的结论; 并提出幼蟹配饵中钙含量要比成蟹配饵高, 而成蟹配饵中磷含量要比幼蟹配饵高的观点。水中钙硬度为 50 mg/L, 配饵中含钙 0.5%, 钙磷比为 1:1.9 时河蟹获得最大生长率和较高的蛋白质利用率^[55]。配饵中钙磷比调至 1:1.2 并配以适量的蛋白质、脂肪等进行成蟹养殖, 获得了日增长平均达 0.75 g 的较快生长速率^[7]。河蟹配合饲料中钙磷含量的变化对蟹体增长、生长比率、蛋白质效率和饲料系数均有显著影响 ($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$), 钙磷含量分别为 2.9% 和 1.7% 时, 钙磷比为 1.7:1 时, 获得最大的生长比率、最佳蛋白质效率和饲料效益^[56]。

河蟹仔蟹饲料中铜添加量为 30~45 mg/100 g 饲料或锌添加量为 100 mg/100 g 饲料时, 其增长率、存活率和蜕皮频率高, 同时体内细胞色素 C 氧化酶活性和羧肽酶 A 活性较强。同时发现饲料中铜的添加量为 $50 \sim 80 \times 10^{-2}$ (mg/mg), 锌添加量为 $(1.0 \sim 4.0) \times 10^{-6}$ (mg/mg), 随着铜或锌添加量的增加, 河蟹血淋巴中酚氧化酶 (PO)、超氧化物歧化酶 (SOD)、碱性磷酸酶 (AKP) 和酸性磷酸酶 (ACP) 活性增强, 其非特异性免疫力提高^[57]。

迄今, 有关青蟹和三疣梭子蟹的矿物质营养需求尚未见报道。

2 蟹类的配合饲料研制

配合饲料是蟹类集约化、规模化和产业化养殖的物质基础。安全性、环保性和高效性是配合饲料的基本要求, 蟹类配合饲料除了必须满足蟹类对蛋白质、脂类、碳水化合物和能量的需求, 更重要的是要能满足其对氨基酸、脂肪酸、维生素和矿物质的营养需求, 同时适量使用黏合剂、诱食剂、促长剂 (蜕壳素), 并充分考虑各生长阶段 (稚、幼、成蟹) 的营养需求及摄食习性, 研制出适口性、营养性、消化性、稳定性和诱食性良好的系列高效环保型配合饲料, 以推进蟹类健康养殖持续发展。

蟹类配合饲料大体可以分蟹类幼体用的微粒饵料、微膜饵料、微囊饵料以及幼蟹、成蟹系列配合饲

料. 现将蟹类配合饲料研制的几个关键环节介绍.

2 1 蟹类营养标准的确定及配方设计

根据蟹类营养需求研究成果、机体生化成分及其喜食食物的营养分析, 确定蟹类配合饲料的营养标准, 并依据蟹类的营养标准以及原料的营养特性, 设计并优化系列饲料配方.

2 2 原料选择

应选择资源量丰富、营养含量高、新鲜、活性好、营养生物利用率高、无特殊加工要求和安全卫生的原料.

2 3 原料粉碎粒度

蟹类消化器官简单, 消化腺不发达, 各种消化酶活性均不高, 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, 蟹饲料原料要求具有更细的粉碎粒度, 通常情况下, 蟹饲料要求 95% 以上通过 80 目. 较细的粉碎粒度有利于提高河蟹对营养物质的消化吸收, 也有利于提高饲料的混合均匀性和颗粒成型率, 提高饲料颗粒在水中的稳定性.

2 4 饲料生产中原料混合

蟹类配合饲料生产过程中各种原料混合均匀与否直接影响饲料的质量, 如果所有的原料不能混合完全, 就不能获得营养平衡的饲料. 影响饲料混合均匀度的因素主要有混合机的类型、混合时间以及饲料生产中原料的混合添加顺序.

2 5 饲料加工工艺的制定

根据蟹类的摄食习性及其原料的加工特性, 制定并改进饲料加工工艺. 一般采取如下工艺: 原料的筛选、合理配比 → 微粉碎 → 调配 → 混合 → 调质 → 制粒 → 冷却与干燥 → 包装. 由于蟹类独特的摄食习性, 可以开发沉性膨化颗粒饲料, 以提高饲料效率, 这对饲料加工设备和工艺均有较高的高求.

2 6 提高蟹类饲料水中稳定性

蟹类利用两只大螯抱食. 因此, 要求蟹类饲料在水中溶散时间必须在 2.5 h 以上. 采取下列措施提高蟹类配合饲料水中稳定性: 1) 注意增加含淀粉多的原料, 如次粉、小麦等用量; 2) 添加非营养性的专用粘合剂; 3) 改进加工工艺. 蟹类饲料需要较高的糊化度和水中稳定性. 为此, 一是加大环模的压缩比, 可在 20 以上; 二是采用三级调质器, 调质温度在 90℃ 以上, 充分的调质使淀粉糊化, 蛋白质变性, 提高了饲料的可消化性和耐水性. 另外, 可采用后熟化工艺, 让刚出模的热颗粒在高温高湿下持续一段时间, 使淀粉进一步糊化, 经过后熟化的颗粒饲料可提高耐水性.

蟹类饲料在生产实践中已经取得了良好的效果, 相信不断完善后的系列蟹类配合饲料的大批量应用将会有力地推进蟹类规模化健康养殖.

3 展 望

研发出蟹类系列配合饲料是规模化生产蟹类苗种和商品蟹的物质基础. 然而, 迄今蟹类的营养需求、营养生理、代谢规律及有害物质的危害量等研究及其系列配合饲料研发尚不完善. 今后应在蟹类摄食行为学、营养需求、代谢生理、原料营养特性等研究的基础上, 加大进行高效饲料配方的研究, 提高饲料的转化率, 减少养殖水体环境的污染, 以推进蟹类养殖产业的健康发展应注意:

(1) 研究蟹类各生长发育阶段的消化生理、营养生理, 探讨其最佳的质能代谢的模式和适宜营养需求量; 确定有害物质的危害量, 以明确蟹类饲料的安全卫生指标;

(2) 加强蟹类营养相互作用以及营养免疫学、营养生态学、营养品质学、营养内分泌学、生殖营养学和分子营养学等分支学科的研究;

(3) 建立蟹类配合饲料质量评价体系, 在完成其营养、安全卫生评价的基础上, 开发高能量、低蛋白、高利用率、低污染的绿色环保型高效配合饲料;

(4) 系统开展蟹类幼体生物饵料营养强化研究工作, 并积极开发蟹类幼体微粒饵料、微膜饵料、微囊饵料, 以推进蟹类育苗产业化发展;

(5) 加强蟹类配合饲料生产工艺的和投饲技术的研究.

参考文献:

- [1] 徐新章. 中华绒螯蟹系列配合饵料研究综述及今后研究方向 [J]. 江西水产科技, 1998(4): 20-25.
- [2] 张云贵, 刘祥云, 顾景龄, 等. 河蟹蟹种(扣蟹)精养人工配合饵料的研究 [J]. 天津农学院学报, 1994, 1(1/2): 30-34.
- [3] 韩小莲. 河蟹幼体配合饵料的研究 [J]. 河北渔业, 1991, 1: 12-14.
- [4] 陈立侨. 中华绒螯蟹蟹种配饵中豆饼替代部分鱼粉的适宜含量 [J]. 水产学报, 1994, 14(1): 24-31.
- [5] 陈立侨, 周忠良. 中华绒螯蟹的摄食与营养生理研究 [J]. 上海水产大学学报, 1998, 7(S): 24-30.
- [6] 中国科学院植物研究所. 河蟹配合饲料配方和粘合剂的研究及应用(鉴定材料) [Z]. 1988.
- [7] 刘学军, 张丙群, 张玉兰. 人工配合饲料养殖河蟹高产技术试验 [J]. 淡水渔业, 1990(5): 20-22.
- [8] 钱国英, 朱秋华. 中华绒螯蟹配合饲料中蛋白质、脂肪、纤

- 维生素的适宜含量 [J]. 中国水产科学, 1999, 6(3): 61-65
- [9] 马健, 刘建平, 孙豹. 河蟹配合饲料的研制及饲喂技术 [J]. 饲料与畜牧, 1999, 1: 23-25
- [10] 石文雷. 鱼虾蟹高效益饲料配方 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [11] 张家国, 饶光慈, 王志忠, 等. 河蟹蚤状幼体对蛋白质、脂肪、复合矿物盐及维生素的适宜需求量研究 [J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2001, 20(增): 66-70
- [12] Mu Y Y, Shim K F, Guo J Y. Effects of protein level in isocaloric diets on growth performance of the juvenile Chinese hairy crab, *Eriocheir sinensis* [J]. Aquaculture, 1998, 165(1/2): 139-148
- [13] 谭德清, 孙建胎. 河蟹蟹种人工配合饲料中蛋白质适宜含量的研究 [C] // 鱼虾类营养研究进展 (第⑤集). 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1998
- [14] 吴曰杰. 河蟹的饲料配方筛选试验报告 [J]. 淡水渔业, 1991, 21(1): 27-28
- [15] 江洪波. 中华绒螯蟹蛋白质营养生理研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2003
- [16] Chin H C, Gunasekera U P D, Amankoon H P. Formulation of artificial feeds for mud crab culture: a preliminary biochemical, physical and biological evaluation [C] // Angell C A, ed. Report of the Seminar on the Mud Crab Culture and Trade, Bay of Bengal Programme for Fisheries Development Madras, India, 1992, 246
- [17] 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
- [18] 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
- [19] 丁雪燕, 何中央, 徐国辉, 等. 三疣梭子蟹配合饲料的初步研究 [J]. 海洋渔业, 2003, 3: 23-25
- [20] 朱雅珠, 张根玉, 王建军, 等. 饲料中适宜的动植物蛋白比与河蟹蟹种生长及性早熟的相关 [J]. 水产科技情报, 1999, 26(1): 21-25
- [21] 林仕梅, 叶元土, 罗莉, 等. 中华绒螯蟹配饵中适宜动植物蛋白比的研究 [J]. 科学养鱼, 2002, 6: 55
- [22] 李二超, 陈立侨, 蔡永久, 等. 配饵中不同大豆浓缩蛋白含量对中华绒螯蟹消化酶活力的影响 (英文) [J]. 湛江海洋大学学报, 2006, 26(14): 14-21
- [23] 张云贵, 刘祥云, 顾景龄, 等. 河蟹低蛋白质饵料添加氨基酸效果 [J]. 中国饲料, 1998(12): 22-23
- [24] 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: 厦门大学, 1999
- [25] 潘鲁青, 王奎琪. 三疣梭子蟹幼体消化酶活力及氨基酸组成的研究 [J]. 水产学报, 1997, 21(3): 249-254
- [26] 陈立侨, 堵南山, 赖伟. 中华绒螯蟹对蛋白质和脂肪消化率的初步研究 [J]. 水产养殖, 1993, 6: 15-18
- [27] 徐新章, 何珍秀. 幼蟹配饵适宜能量蛋白比的研究 [J]. 江西水产科技, 1998(2): 18-20
- [28] 林仕梅, 罗莉, 叶元土, 等. 饲料蛋白能量比、非植酸磷水平对中华绒螯蟹氮、磷排泄和转氨酶活力的影响 [J]. 中国水产科学, 2001, 8(4): 62-66
- [29] 林仕梅, 罗莉, 叶元土, 等. 中华绒螯蟹营养生理的研究④-蛋白质能量比对中华绒螯蟹蛋白酶活力和饲料消化率的影响 [J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2001, 20(增): 62-65
- [30] 林仕梅, 罗莉, 叶元土, 等. 中华绒螯蟹营养生理的研究iv-中华绒螯蟹配饵中最适蛋白质能量比的研究 [C] // 中国水产学会学术年会论文集. 北京: 海洋出版社, 2000, 600-605
- [31] 朱秋华, 钱国英. 中华绒螯蟹生长中适宜能量蛋白比的研究 [J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2000, 19(2): 134-138
- [32] 汪留全, 胡王, 李海洋, 等. 饲料中脂肪水平对幼蟹生长和饲料利用率的影响 [J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(1): 19-23
- [33] Sheen S Sh, Wu S W. The effects of dietary lipid levels on the growth response of juvenile mud crab *Scylla serrata* [J]. Aquaculture, 1999, 175: 143-153
- [34] 徐新章, 何珍秀, 付培峰. 不同脂肪源对幼蟹生长的影响 [J]. 饲料工业, 1997, 18(5): 16-18
- [35] 温小波, 陈立侨. 磷脂和胆固醇在虾蟹类营养中的研究进展 [J]. 淡水渔业, 2000, 30(5): 25-27
- [36] 汪留全, 胡王, 李海洋, 等. 饲料中 DHA 与 EPA 水平对幼蟹生长和饲料利用率的影响 [J]. 渔业现代化, 2003, 6: 39-41
- [37] 翁幼竹, 李少菁, 王桂忠. 从锯缘青蟹幼体及其饵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
- [38] 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
- [39] Suprayudi M A, Takeuchi T, Hanasaki 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
- [40] Suprayudi M A, Takeuchi T, Hanasaki K, et al. The effect of n-3HUFA content in rotifers on the development and survival of mud crab, *Scylla serrata*, larvae [J]. Suisan Zoshoku, 2002, 50: 205-212
- [41] Hanasaki K, Suprayudi M A, Takeuchi T. Effect of dietary n-3HUFA on larval morphogenesis and metamorphosis to megalops in the seed production of mud crab *Scylla serrata*

- (Brachyura Portunidae) [J]. *Suisan Zoshoku* 2002, 50: 333–340
- [42] Takeuchi T, Nakamoto Y, Hamasaki K, et al Requirement of n-3 highly unsaturated fatty acids for larval swimming crab *Portunus trituberculatus* [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1999, 65: 797–803
- [43] Takeuchi T, Satoh N, Sekiya S, et al The effect of dietary EPA and DHA on molting rate of larval swimming crab *Portunus trituberculatus* [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1999, 65: 988–1004
- [44] 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
- [45] Subramoniam T. Crustacean ecdysteroids in reproduction and embryogenesis [J]. *Comp Biochem and Physiol* 2000, 125 C: 135–156
- [46] Doston E M, Connat J L, Diehl P A. Metabolism of [3H]-ecdison in embryos and larvae of the tick *Ombiodorus moubata* [J]. *Arch Insect Biochem Physiol* 1993, 23: 67–78
- [47] 成永旭, 严生良, 王武, 等. 饲料中磷脂和多不饱和脂肪酸对中华绒螯蟹大眼幼体育成仔蟹的成活率和生长的影响 [J]. *水产学报*, 1998, 22(1): 9–15
- [48] 汪留全, 李海洋, 胡王, 等. 饲料中磷脂水平对幼蟹生长和饲料利用率的影响 [J]. *饲料研究*, 2004, 1: 8–10
- [49] 朱雅珠, 王建军, 张根玉, 等. 饲料中胆固醇的添加量及蛋白含量对蟹种生长及性早熟的影响 [J]. *渔业现代化*, 1999(3): 3–6
- [50] 汪留全, 李海洋, 胡王, 等. 饲料中胆固醇水平对幼蟹生长和饲料利用率影响的研究 [J]. *淡水渔业*, 2004, 34: 1
- [51] Sheen Shyn-Shin. Dietary cholesterol requirement of juvenile mud crab *Scylla serrata* [J]. *Aquaculture*, 2000, 189: 277–285
- [52] 林仕梅, 罗莉, 叶元土, 等. 中华绒螯蟹对 V_C 、 V_E 、肌醇和胆碱需要量的研究 [J]. *饲料工业*, 2000, 21(8): 21–23
- [53] 艾春香, 陈立桥, 温小波. 中华绒螯蟹仔蟹维生素 E 营养需求研究 [J]. *海洋科学*, 2002, 26(11): 1–5
- [54] 陈立桥, 艾春香, 温小波, 等. 中华绒螯蟹幼蟹维生素 C 营养需求研究 [J]. *海洋学报*, 2005, 27(1): 130–136
- [55] 陈立桥, 堵南山, 赖伟. 水体和配合饲料钙磷含量对河蟹生长的影响 [J]. *淡水渔业*, 1994, 24(1): 13–15
- [56] 钱国英, 朱秋华. 饲料中钙磷水平对中华绒螯蟹生长和饲料效率的影响 [J]. *中国水产科学*, 2000, 7(3): 110–112
- [57] 陈明. 中华绒螯蟹铜、锌营养需求研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2001

Reviews on Nutrient Requirements and Formulated Feed of Crabs *Eriocheir sinensis*, *Scylla* sp *Portunus trituberculatus*

A I Chun-xiang LI N Q iong-wu LI Shao-jing WANG Gu-zhong CHEN Xue-lei
(Department of Oceanography, Institute of Subtropical Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract This paper reviewed the recent advancements on the nutrient requirements of protein, amino acid, lipid, fat acid, phospholipids, cholesterol, carbohydrate, vitamin, mineral and formulated feed for the crabs *Eriocheir sinensis*, *Scylla* sp *Portunus trituberculatus* in recent years. In addition, several suggestions to further study fields on nutritional requirements and developing formulated feed for the crabs were put forward.

Key words *Eriocheir sinensis*, *Scylla* sp *Portunus trituberculatus*, nutrient requirements, formulated feed