

# 克氏原螯虾营养与饲料的研究进展

史振鹏<sup>1,2</sup>,王爱民<sup>2</sup>,陈开健<sup>1</sup>,胡毅<sup>1</sup>,刘飞<sup>2</sup>,於叶兵<sup>2</sup>,田红艳<sup>2</sup>,刘波<sup>3</sup>

- (1. 湖南农业大学 动物科学技术学院,湖南 长沙 410128;  
2. 盐城工学院 海洋与生物工程学院 江苏省沿海池塘养殖生态重点实验室,江苏 盐城 224051;  
3. 中国水产科学研究院 淡水渔业研究中心,江苏 无锡 214081)

**摘要:**克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)是我国重要的水产养殖品种之一,具有较高的经济价值和营养价值。综述近几年克氏原螯虾蛋白质、脂质、维生素、微量元素等营养素需求及饲料开发研究进展,为全面、深入开展克氏原螯虾营养需求研究,高效环保饲料开发及其产业化提供重要的科学依据。

**关键词:**克氏原螯虾;营养需求;饲料;研究进展

**中图分类号:**S963 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2019)02-0052-05

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)属节肢动物门、甲壳纲、十足目、螯虾科、原螯虾属,又称作小龙虾、红螯虾。克氏原螯虾原产于美国东部以及巴西、墨西哥等地,20世纪30年代从日本引进到南京。克氏原螯虾的食性为杂食性偏肉食性,适应力强,广泛分布于我国大部分省市,是重要的水产养殖品种。我国克氏原螯虾食用量大,养殖规模逐年递增,对其营养与饲料需求的研究越来越迫切。

## 1 克氏原螯虾的营养价值

封功能等<sup>[1]</sup>研究发现,克氏原螯虾腹部肌肉含肉率以及干物质中粗蛋白含量分别高达21.65%和83.60%,富含脂肪酸,尤其是二十二碳六烯酸和二十碳五烯酸,占脂肪酸总量的22.27%。丁建英等<sup>[2]</sup>研究发现,克氏原螯虾肌肉中含有8种人体所必需的氨基酸,必需氨基酸的含量占氨基酸总量的48.86%。克氏原螯虾不仅高蛋白、低脂肪,而且其肌肉中富含人体所需的氨基酸和脂肪酸,营养价值高于一般水产品,例如与罗氏沼虾相比,两者粗蛋白含量相仿,但克氏原螯

虾的粗脂肪含量更低<sup>[3]</sup>;与日本沼虾和青鱼相比,克氏原螯虾具有较高的蛋白含量和较低的脂肪含量<sup>[4-5]</sup>。

## 2 克氏原螯虾对蛋白质需求的研究进展

蛋白质是动物所必需的营养物质,在动物生长发育中起着至关重要的作用。蛋白质缺乏会降低水产动物的生长速度、存活率和免疫力,蛋白质含量过高则会引起一些营养过剩的疾病,并造成养殖水体的氨氮超标,因此研究最适蛋白需求量对克氏原螯虾饲料生产有着至关重要的作用。

李强<sup>[6]</sup>以初始体重在6.5g左右的克氏原螯虾幼虾为研究对象,以鱼粉、豆粕、菜粕为蛋白源,设置了8组不同蛋白水平的饲料(26.14%、28.23%、30.02%、31.98%、33.95%、36.08%、37.95%和40.37%)研究最适蛋白需求量。实验发现当饲料中蛋白质含量为33.95%时,克氏原螯虾的增重率、特定生长率以及消化酶的活性最高,当蛋白水平为33.95%~37.95%时,蛋白酶和脂肪酶的活性最高,并且随着饲料中蛋白水平的提高,克氏原螯虾肌肉中的蛋白含量增加,脂肪含量降低。

收稿日期:2018-12-01

基金项目:江苏省现代农业产业技术体系项目(JFRS-03);农业部现代农业产业技术体系专项资金项目(CARS-48);江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(17)2007-01)

作者简介:史振鹏(1994—),男,江苏南通人,硕士生,主要研究方向为水产动物营养与饲料。

通信作者:王爱民(1975—),男,湖南武冈人,教授,博士,主要研究方向为水产动物营养与饲料。

其实验结果表明克氏原螯虾饲料中的最适蛋白含量为 33.44% ~ 37.95%。苏时萍等<sup>[7]</sup>用 4 种不同质量分数的蛋白质饲料饲喂初始体重为 5.46 g 左右的克氏原螯虾幼虾 28 d。研究结果表明,克氏原螯虾饲料中最适蛋白水平为 40%。于宁<sup>[8]</sup>用 5 种不同蛋白水平的饲料投喂初始体重为 (8.41 ± 1.12) g 的克氏原螯虾。研究表明,饲料的最适蛋白含量在 33% ~ 36% 之间。张家宏等<sup>[9]</sup>在不同蛋白和脂肪含量的正交实验中发现当饲料中蛋白含量为 24% 时,克氏原螯虾幼虾 (1.5 g 左右) 的必需氨基酸和总氨基酸含量最高,建议饲料中的蛋白水平在 24% ~ 28% 为宜。

何吉祥等<sup>[10]</sup>用 3 种蛋白水平和能蛋比的饲料饲喂初始体重为 2.39 g 左右的野生克氏原螯虾。在 26% ~ 32% 蛋白水平范围内,随着蛋白水平的提高,肝胰脏、胃蛋白酶活性显著提高。研究结果表明,饲料中最适蛋白含量为 31.86%,最适能蛋比为 35.85 kJ/g。于宁等<sup>[11]</sup>用 5 种不同能蛋比的饲料投喂初始体重为 (8.41 ± 1.12) g 的克氏原螯虾 60 d。研究结果表明,克氏原螯虾饲料中最适能蛋比为 34 ~ 36 kJ/g。王桂芹等<sup>[12]</sup>设置 9 组不同蛋白含量的饲料研究蛋白和能量水平对克氏原螯虾幼虾 (12.49 ± 1.52) g 生长和蛋白代谢的影响。研究表明,随着饲料蛋白水平的升高,特定生长率、肠蛋白酶、肝胰蛋白酶活性显著升高,克氏原螯虾养成期最适蛋能比为 16.63 ~ 17.59 g/MJ。

朱杰<sup>[13]</sup>用蛋氨酸含量分别为 0.39%、0.53%、0.71%、0.86%、0.98% 和 1.13% 的饲料饲喂克氏原螯虾幼虾 (9.80 ± 0.15) g 发现,当饲料中蛋氨酸水平达到 0.86% 时,克氏原螯虾增重率、特定生长率、存活率达到最高,全虾粗蛋白含量也最高,但是蛋氨酸对水分、脂肪、灰分无显著影响,以增重率为评价标准认为克氏原螯虾最适蛋氨酸含量为 0.94%。张微微等<sup>[14]</sup>以克氏原螯虾幼虾 (7.60 ± 0.01) g 为研究对象,设置了 7 种不同水平的赖氨酸饲料,研究赖氨酸对克氏原螯虾的影响。实验发现,当赖氨酸含量为 1.69%、1.22% 时,克氏原螯虾增重率、特定生长率、存活率达到最高,饲料中最适赖氨酸含量为 1.69%。

程东海等<sup>[15]</sup>以昆虫粉作为主要饲料蛋白,研究蛋白源对克氏原螯虾幼虾 (6.9 ± 1.5) g 生长、脱壳的影响。研究指出克氏原螯虾的蛋白需求量仅为 25%,同时该实验指出昆虫粉替代部分鱼粉

会降低克氏原螯虾的存活率和脱壳率。Paul L. Jones 等<sup>[16]</sup>在澳洲小龙虾幼虾 (*Cherax destructor*) 不同蛋白源 (猪肉、大豆、浮游动物、蜗牛、鱼肉) 的研究中发现,不同蛋白源对澳洲小龙虾的生长率、增重率没有显著影响,但是在甲壳色上有显著的差异,以浮游动物为主要蛋白源的饲料组甲壳色更深。Wan 等<sup>[17]</sup>以豆粕、添加植酸酶豆粕、膨化豆粕、发酵豆粕为不同蛋白源,研究其对克氏原螯虾幼虾 (5.56 ± 0.05) g 生长性能、氮磷排放的影响。结果显示添加了植酸酶的豆粕能够提高克氏原螯虾的增重率和特定生长率,并且降低氮磷的排放。Tan 等<sup>[18]</sup>在研究豆粕和菜籽粕对克氏原螯虾幼虾影响的实验中发现,饲料中替代 338 g/kg 的植物蛋白可以提高克氏原螯虾幼虾生长性能,并且补充氨基酸。

### 3 克氏原螯虾对脂质需求的研究进展

克氏原螯虾体内脂质水平很低,对饲料中脂质的需求也很低,饲料中的脂肪水平过高会影响克氏原螯虾生长并且降低存活率。目前关于克氏原螯虾脂质需求的研究还很少,有待进一步加强。

何亚丁等<sup>[19]</sup>的实验指出,饲料中适宜的脂肪含量能提高克氏原螯虾血清脂蛋白酶的活性,提高存活率,体重 8.15 g 左右的克氏原螯虾饲料中脂肪需求量在 7% 左右。孟晶等<sup>[20]</sup>设置了 6 组脂肪水平的饲料饲喂克氏原螯虾。研究结果表明,脂肪能促进克氏原螯虾的生长,随着饲料中脂肪含量的增加,克氏原螯虾肌肉内蛋白质水平降低,脂肪水平提高,克氏原螯虾饲料中适宜的脂肪水平应在 7.89% ~ 9.91% 之间。张家宏等<sup>[21]</sup>的蛋白和脂肪的正交实验发现,由于虾蟹类的脂肪酶活力很低,过高的脂肪水平会降低克氏原螯虾的增重率和存活率,饲料中适宜的脂肪水平在 6% 左右。宋光同等<sup>[22]</sup>在实验中发现,高度不饱和脂肪酸会降低克氏原螯虾的存活率和相对抱卵率。徐维娜等<sup>[23]</sup>的蛋白和脂肪的正交实验发现克氏原螯虾饲料中脂质需求量在 4% ~ 7% 为宜。

### 4 克氏原螯虾对维生素、矿物质等营养需求的研究进展

维生素是动物必需的一种营养素,但是不能通过自身合成,只能通过食物摄取;矿物质是动物必需的一种微量元素,可以调节机体的渗透压平衡,还有促进生长的功能。

邵光明等<sup>[24]</sup>的实验结果表明,饲料中维生素 A、维生素 C、维生素 E 的添加量为 0.006%、0.02% 和 0.04% 时最有利于克氏原螯虾存活、生长,以及提高免疫力。宋光同等<sup>[22]</sup>的实验结果表明,饲料中添加 0.02% 的维生素 E 和 0.5% 的维生素 C 比不添加维生素 E 和维生素 C 的抱卵率要高。李铭等<sup>[25]</sup>设置了 5 组不同维生素 E 水平的饲料,研究克氏原螯虾的生殖情况。研究表明饲料中维生素 E 含量为 0.02% 时,产卵雌虾的比例和产卵量最高。

在李强<sup>[6]</sup>的实验中,饲料中总磷含量达到 1.82% 时,克氏原螯虾的增重率和特定生长率最高,随着饲料中总磷含量的升高,克氏原螯虾粗脂肪含量降低,饲料中最适含磷量在 1.80% ~ 2.02% 之间。杨文平等<sup>[26]</sup>的实验指出,饲料中的钙磷水平对克氏原螯虾的增重率和表观消化率无影响,但是饲料中高水平的钙磷会造成水污染,所以饲料中最适钙水平为 1.5%,最适磷水平为 1.0%。

## 5 克氏原螯虾饲料的研究进展

在饲料中添加免疫增强剂或者一些营养物质可以促进克氏原螯虾生长并且增强其免疫力。

洪徐鹏等<sup>[27]</sup>的实验结果表明,在饲料中添加黄芪多糖能够提高克氏原螯虾的存活率、脱壳率以及非特异性免疫力,建议在饲料中添加 0.4% ~ 0.8% 的黄芪多糖。樊冰心<sup>[28]</sup>的实验结果表明,低分子壳聚糖能够提高克氏原螯虾的消化酶活性、免疫力以及抗氧化能力,降低克氏原螯虾体内脂肪和胆固醇的含量,增加蛋白质的含量,饲料中的适宜添加量为 0.5%。任秀芳<sup>[29]</sup>的实验也发现,壳聚糖能够提高克氏原螯虾的生长性能、非特异性免疫力以及消化酶活性,饲料中的建议添加量在 0.5% ~ 1.5% 之间。唐宁等<sup>[30]</sup>的实验结果表明,饲料中添加复方中草药(玄参、忍冬、石斛、牛膝、薏苡仁、黄芪、板蓝根)能够明显缩短克氏原螯虾的脱壳周期、提高脱壳率和存活率。丁建英等<sup>[31]</sup>的实验发现,在饲料中添加复方中草药(金银花、黄芪等)能够提高克氏原螯虾的非特异性免疫力,饲料中适宜的复方中草药添加量在 1% 左右。郝忱等<sup>[32]</sup>在研究复方中草药饲料的实验中,在饲料中添加 0.3% 的大黄、0.3% 的淫羊藿、0.2% 的黄芪、0.2% 的板蓝根能有效提高克氏原螯虾的存活率、免疫力以及抗白斑病综合征病毒的能力。许巧情等<sup>[33]</sup>在研究中发现,饲料

中添加陈皮、甘草、淫羊藿的提取物能够有效抑制大肠杆菌、嗜水气单胞菌、金黄色葡萄球菌、溶壁微球菌,提高克氏原螯虾的免疫力。Zhang 等<sup>[34]</sup>在饲料中添加一种鱼类蛋白水解物  $\text{Fe}^{2+}$  复合物 ( $\text{PH-Fe}^{2+}$ ) 发现,在饲料中添加 400 ~ 1 000 mg/kg 的  $\text{PH-Fe}^{2+}$ ,克氏原螯虾存活率、特定生长率有显著提高,添加 800 ~ 1 000 mg/kg 的  $\text{PH-Fe}^{2+}$ ,克氏原螯虾血清中超氧化物歧化酶、酚氧化酶、溶菌酶和酸性磷酸酶活性显著提升。

## 6 克氏原螯虾营养与饲料研究现状及未来研究方向

目前我国克氏原螯虾养殖产业的发展依旧迅猛,但是相关营养饲料研究还不够系统、深入,存在一些问题,未来克氏原螯虾营养需求的研究应从以下几个方面进行。

(1)完善克氏原螯虾营养需求体系研究,建立其营养需求标准。尽管已开展克氏原螯虾蛋白质、脂肪等主要营养素的需求研究,但其氨基酸平衡、微量元素及维生素的需求研究甚少。此外,近年来稻虾养殖模式等逐渐成为克氏原螯虾的主导养殖模式,今后应积极开展稻虾养殖模式下的营养需求研究,深入开展氨基酸平衡、微量元素需求研究,完善并建立克氏原螯虾营养需求标准,为开发克氏原螯虾饲料及保障健康养殖提供科学依据。

(2)克氏原螯虾环境营养学研究。养殖与环境关系密切,克氏原螯虾养殖过程中,饲料中氮、磷的排放直接污染养殖水环境。今后应开展克氏原螯虾对氮磷的精准需求研究,提高饲料中氮、磷的利用,减少其在克氏原螯虾粪便中的排泄,保护养殖水环境。

(3)克氏原螯虾功能性饲料的研究及推广。克氏原螯虾规模化养殖过程中面临病害多、应激大、苗种免疫能力低、蜕壳不同步、自残现象较严重、成活率不高等问题,今后应从营养角度,开展预防病害、抗应激、提高免疫力、促蜕壳等功能性饲料研究,开发其功能性饲料产品,为克氏原螯虾产业健康有序发展提供保障。

(4)精准投喂研究及应用。目前克氏原螯虾规模化养殖过程中,饲料投喂时间,频率、投喂方法等存在问题,没有科学合理的投喂标准(投喂时间、频率、投喂率等),导致饲料浪费、污染环境、虾苗自残等,严重制约了克氏原螯虾产业健康

发展。因此,今后应开展克氏原螯虾投饲策略及体系研究,做到精准投喂,建立科学、合理、环保的投饲技术体系。

(5)克氏原螯虾专用配合饲料研究及其产业化。由于没有统一的克氏原螯虾营养需求标准,在市场上推广的克氏原螯虾配合饲料鱼龙混杂,

如蛋白质需求有高有低。配合饲料是克氏原螯虾产业健康发展的重要物质基础和保障,今后应在完善克氏原螯虾营养需求研究的基础上,建立克氏原螯虾配合饲料标准,为企业开发、生产、推广克氏原螯虾配合饲料提供科学依据。

## 参考文献:

- [1] 封功能,王爱民,邵荣,等. 克氏原螯虾不同生长阶段营养成分分析与评价[J]. 江苏农业科学,2011,39(4):383-385.
- [2] 丁建英,康璿,徐建荣. 克氏原螯虾肌肉营养成分分析与评价[J]. 水产科技情报,2010,37(6):298-301.
- [3] 姚根娣,李秀珍. 罗氏沼虾营养成分的测定[J]. 水产科技情报,1981,8(4):23,32.
- [4] 庄平,宋超,章龙珍. 长江口安氏白虾与日本沼虾营养成分比较[J]. 动物学报,2008,54(5):822-829.
- [5] 向兵,刘少军,张纯,等. 新型三倍体鲫鱼肌肉营养成分和氨基酸组成分析[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2006,29(4):85-88.
- [6] 李强. 克氏原螯虾对饲料中蛋白质与磷适宜需求量的研究[D]. 武汉:华中农业大学,2012.
- [7] 苏时萍,施培松,杨启超,等. 饲料蛋白质水平对克氏原螯虾幼体消化酶活性和肌肉成分的影响[J]. 安徽农业大学学报,2009,36(2):231-235.
- [8] 于宁. 克氏原螯虾对饲料中蛋白质和能蛋比需求的研究[D]. 上海:上海海洋大学,2011.
- [9] 张家宏,王守红,寇祥明,等. 饲料中蛋白质和脂肪水平对克氏原螯虾生长的影响研究[J]. 江西农业学报,2012,24(8):88-93.
- [10] 何吉祥,丁凤琴,宋光同,等. 蛋白质水平及能量蛋白比对克氏原螯虾生长与蛋白酶活力的影响[J]. 水产科学,2009,28(12):741-744.
- [11] 于宁,朱站英,冯文和,等. 克氏原螯虾饲料最适能量蛋白质比[J]. 动物营养学报,2014,26(4):1111-1119.
- [12] 王桂芹,赵朝阳,周鑫,等. 饲料蛋白和能量水平对克氏原螯虾生长和蛋白质代谢的影响[J]. 华南农业大学学报,2011,32(2):109-112.
- [13] 朱杰. 克氏原螯虾和日本沼虾对蛋氨酸需求量的研究[D]. 南京:南京农业大学,2014.
- [14] 张微微,徐维娜,王莹,等. 饲料中赖氨酸水平对克氏原螯虾生长、体组成与消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学,2013,20(2):402-410.
- [15] 程东海,颜志刚. 饲料蛋白水平和动物蛋白源对克氏原螯虾存活和生长的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(22):11311-11313.
- [16] JONES P L, DE SILVA S S, MITCHELL B D. The effect of dietary protein source on growth and carcass composition in juvenile Australian freshwater crayfish[J]. Aquaculture International, 1996,4(4):361-376.
- [17] WAN J J, SHEN M F, TANG J Q, et al. Effects of soybean meal processing treatments on growth performance, nutrient digestibility, nitrogen and phosphorus excretion in red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*[J]. Aquaculture International, 2017,25(2):543-554.
- [18] TAN Q, SONG D, CHEN X, et al. Replacing fish meal with vegetable protein sources in feed for juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*: Effects of amino acids supplementation on growth and feed utilization[J]. Aquaculture Nutrition, 2018,24(2):858-864.
- [19] 何亚丁,华雪铭,赵朝阳,等. 克氏原螯虾的脂肪需求量及饲料中脂肪与糖类适宜比例的研究[J]. 动物营养学报,2013,25(5):1017-1024.
- [20] 孟晶,王中霞,汪海卫. 日粮脂肪水平对克氏原螯虾的生长、体组成及脂肪酸组成的影响[J]. 水产养殖,2016,37(7):19-26.
- [21] 张家宏,王守红,寇祥明,等. 饲料中蛋白质和脂肪水平对克氏原螯虾生长的影响研究[J]. 江西农业学报,2012,24(8):88-93.
- [22] 宋光同,丁凤琴,武松,等. 维生素 C、E 及高度不饱和脂肪酸交互作用对克氏原螯虾繁殖性能的影响[J]. 水产科学,2015,34(1):43-47.

- [23] 徐维娜,刘文斌,沈美芳,等. 饲料中不同蛋白质和脂肪水平对克氏螯虾(*Procambarus clarkii*)生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. 海洋与湖沼, 2011,42(4):521-529.
- [24] 邵光明,谭红月,王玉凤. 饲料中添加维生素 A、C 和 E 对克氏原螯虾生长和免疫力的影响[J]. 水产养殖, 2017,38(4):46-52.
- [25] 李铭,董卫军,徐加元,等. 维生素 E 对克氏原螯虾生殖的影响[J]. 水产学报,2007,31(S1):65-68.
- [26] 杨文平,於叶兵,杨兴华,等. 饲料中钙磷水平对克氏原螯虾生长、营养物质表观消化率和水环境的影响[J]. 盐城工学院学报(自然科学版),2012,25(1):6-10.
- [27] 洪徐鹏,夏思瑶,唐嘉苾,等. 黄芪多糖对克氏原螯虾生长和非特异性免疫指标的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2013,22(4):571-576.
- [28] 樊冰心. 低分子量壳聚糖对克氏原螯虾生长代谢的研究[D]. 太原:山西大学,2013.
- [29] 任秀芳,周鑫,赵朝阳,等. 壳聚糖对克氏原螯虾生长、血清相关免疫因子、肌肉成分和消化酶的影响[J]. 大连海洋大学学报,2013,28(5):468-474.
- [30] 唐宁,何晓瑾,何晓冬,等. 复方中草药对克氏原螯虾生长和脱壳的影响[J]. 淡水渔业,2009,39(6):70-73.
- [31] 丁建英,邵菁,徐建荣,等. 复方中草药饲料添加剂对克氏原螯虾非特异性免疫功能的影响[J]. 安徽农业科学, 2012,40(31):15266-15267,15270.
- [32] 郝忱,万金娟,沈美芳,等. 中草药添加剂对克氏原螯虾生长及免疫力的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(2):363-369.
- [33] 许巧情,马念念,赵朝阳,等. 3 种中草药对克氏原螯虾抗菌活性的影响[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2011,30(6):507-510.
- [34] ZHANG B, SHI Z R, WANG X L, et al. The effects of hairtail protein hydrolysate-Fe<sup>2+</sup> complexes on growth and non-specific immune response of red swamp crayfish(*Procambarus clarkii*) [J]. Aquaculture International, 2016,24(4):1039-1048.

## Research Progress on nutrition and feed of *Procambarus clarkii*

SHI Zhenpeng<sup>1,2</sup>, WANG Aimin<sup>2</sup>, CHEN Kaijian<sup>1</sup>, HU Yi<sup>1</sup>, LIU Fei<sup>2</sup>, YU Yebin<sup>2</sup>, TIAN Hongyan<sup>2</sup>, LIU Bo<sup>3</sup>

- (1. College of Animal Science Technology, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan 410128, China;  
 2. Main Laboratory of Coastal Pond Culture in Jiangsu Province, College of Ocean And Bioengineering,  
 Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China;  
 3. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi Jiangsu 214081, China)

**Abstract:** *Procambarus clarkii* is one of the important aquaculture species in China. It has high economic value and nutritional value. The nutritional requirements of protein, lipid, vitamin and trace elements of *Procambarus clarkii* and the research progress of feed development in recent years were reviewed. It provides an important scientific basis for the comprehensive and in-depth research on the nutritional requirements, the development and industrialization of high efficiency and environmental protection feed of *Procambarus clarkii*.

**Keywords:** *Procambarus clarkii*; nutritional requirement; feed; research progress

(责任编辑:熊璐璐)