

植物蛋白替代鱼粉对克氏原螯虾生长和繁殖的影响

姚俊鹏 谭青松 朱艳红 徐迎燕 朱文欢

EFFECTS OF DIETARY FISH MEAL REPLACEMENT WITH VEGETABLE PROTEIN ON REPRODUCTION PERFORMANCE OF RED SWAMP CRAYFISH, *PROCAMBARUS CLARKII*

YAO Jun-Peng, TAN Qing-Song, ZHU Yan-Hong, XU Ying-Yan, ZHU Wen-Huan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2020.058>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

洞庭湖克氏原螯虾肌肉成分分析及品质特性分析

THE MUSCLE COMPOSITION ANALYSIS AND FLESH QUALITY OF *PROCAMBARUS CLARKIA* IN THE DONGTING LAKE

水生生物学报. 2017, 41(4): 870–877 <https://doi.org/10.7541/2017.108>

克氏原螯虾两种养殖模式的食物网结构及其食性比较

FEEDING HABITS OF *PROCAMBARUS CLARKIA* AND FOOD WEB STRUCTURE IN TWO DIFFERENT AQUACULTURE SYSTEMS

水生生物学报. 2020, 44(1): 133–142 <https://doi.org/10.7541/2020.016>

四种植物蛋白对中华绒螯蟹幼蟹生长性能、氨基酸沉积率和抗氧化酶活性的影响

EFFECTS OF FOUR COMMONLY USED PLANT PROTEIN SOURCES ON GROWTH PERFORMANCE, AMINO ACIDS RETENTION AND ANTIOXIDANT ENZYME ACTIVITIES IN JUVENILE CHINESE MITTEN CRAB, *ERIOCHIER SINENSIS*

水生生物学报. 2017, 41(1): 146–154 <https://doi.org/10.7541/2017.19>

克氏原螯虾源维氏气单胞菌的分离鉴定及组织病理学观察

ISOLATION, IDENTIFICATION AND PATHOHISTOLOGICAL OBSERVATION OF *AEROMONAS VERONII* FROM *PROCAMBARUS CLARKII*

水生生物学报. 2020, (): – <https://doi.org/{suggestArticle.doi}>

发酵豆粕替代鱼粉和豆粕对罗氏沼虾生长、血清生化及免疫基因表达的影响

THE REPLACEMENT OF FISH MEAL AND SOYBEAN MEAL TO FERMENTED SOYBEAN MEAL AND ITS EFFECTS ON THE GROWTH PERFORMANCE, SERUM BIOCHEMICAL INDICES, AND IMMUNE GENE EXPRESSION IN GIANT RIVER PRAWN, *MACROBRACHIUM ROSENBERGII*

水生生物学报. 2018, 42(4): 719–727 <https://doi.org/10.7541/2018.088>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2020.058

植物蛋白替代鱼粉对克氏原螯虾生长和繁殖的影响

姚俊鹏¹ 谭青松^{1,3} 朱艳红¹ 徐迎燕¹ 朱文欢²

(1. 华中农业大学水产学院, 农业部淡水生物繁育重点实验室, 武汉 430070; 2. 武汉渔业技术推广和指导中心, 武汉 430012; 3. 池塘健康养殖湖北省工程实验室, 武汉 430070)

摘要: 为了探究复合植物性蛋白(豆粕:菜粕=1:1)替代鱼粉对克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)生长以及繁殖性能的影响, 实验以豆粕和菜粕为植物性蛋白源配制了6组不同替代水平的等氮等能的饲料并选取其中替代水平较高的3组添加蛋氨酸和赖氨酸, 进行为期10周的养殖实验。实验结果表明: 随着饲料中植物蛋白水平的提高, 克氏原螯虾增重率和绝对繁殖力均显著下降($P<0.05$)。与对照组相比, 添加适量的植物性蛋白(33.8%)能显著提高克氏原螯虾的生长性能的同时对其绝对繁殖力和性腺指数无明显影响($P<0.05$)。此外, 在饲料中添加高水平的植物蛋白抑制克氏原螯虾的生长并且降低其繁殖能力, 而在饲料中补充赖氨酸和蛋氨酸可以很好地改善这一状况。另外, 尽管每组饲料的处理方式不同, 但是克氏原螯虾性腺指数与绝对繁殖力变化一致。

关键词: 克氏原螯虾; 氨基酸; 植物性蛋白; 繁殖性能; 生长状况

中图分类号: S968.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)03-0479-06

植物蛋白源替代鱼粉是缓解饲料用鱼粉资源紧缺的重要手段之一。其中豆粕和菜粕因价格低廉、蛋白含量高、富含维生素和矿物盐而作为常用植物性蛋白源被广泛应用于虾类饲料中^[1-3]。不过与鱼粉相比, 植物性蛋白源中氨基酸不均衡、赖氨酸和蛋氨酸等必需氨基酸缺乏及抗营养因子(蛋白酶抑制剂、葡萄糖苷、皂甙等)的存在使得其对于鱼粉的替代率不高^[4-6]。另外, Hua等^[7]研究发现植物蛋白源替代鱼粉会降低克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)饲料的诱食性和适口性。在植物性蛋白为基础的饲料中添加一些限制性氨基酸(蛋氨酸、赖氨酸等), 有利于饲料中的氨基酸平衡, 提高饲料中的植物蛋白水平促进水产动物的生长发育。Biswas等^[8]发现, 在饲料中补充赖氨酸可以促进斑节对虾(*Penaeus monodon*)的生长及饲料利用率。

克氏原螯虾俗称小龙虾, 其肉质鲜美、营养丰富、市场需求大, 在全国各地广泛养殖, 是一种重要的经济养殖对象^[9, 10]。在最近的十几年中, 随着养殖规模的不断扩大, 克氏原螯虾苗种的需求量也

在日益增大^[7]。小龙虾的繁殖性能、苗种的产量及质量是限制小龙虾产业化发展的关键因素。在生产实践中, 饲料中的蛋白质水平、氨基酸的种类以及蛋白源的比例对亲本的产卵量、受精率及胚后发育至关重要^[11]。不过, Xu等^[12]研究发现, 当饲料中鱼粉在15%、20%和24%时, 鱼粉和豆粕的比例对克氏原螯虾的性腺指数、产卵量及孵化率没有显著影响。克氏原螯虾的繁殖及生长性能对较高的植物蛋白水平以及补充限制性氨基酸的反应尚不清楚。本研究旨在初步探究豆粕和菜粕替代鱼粉以及在饲料中添加限制性氨基酸(蛋氨酸和赖氨酸)对克氏原螯虾繁殖及生长性能的影响。

1 材料与方法

1.1 实验用的克氏原螯虾及其养殖条件

实验用的克氏原螯虾购于湖北省仙桃市排湖渔场。实验前驯养2周以适应新的养殖环境。在驯养期间, 每天投喂2次, 投喂时间分别为09:00和18:00。将9种实验饲料按同等比例混合后进行驯化投喂。

收稿日期: 2019-04-28; 修订日期: 2019-09-17

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目(2007BAD37B01); 华中农业大学博士科研基金(52204-08003)资助 [Supported by the Key Projects in the National Science & Technology Pillar Program (2007BAD37B01); the Scientific Research Foundation for Doctor of Huazhong Agricultural University (52204-08003)]

作者简介: 姚俊鹏(1991—), 男, 硕士研究生; 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: yaojunpeng@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 谭青松(1971—), 副教授, 硕士生导师; E-mail: tanqs2000@163.com

在驯养后,分别选择15尾发育良好、规格一致(初始体重:25—30 g)的实验虾按照雌雄比例2:1随机分配到27个68 cm×53 cm×37 cm的玻璃钢水族箱中。在每个箱中放置15根直径5 cm、长15 cm的PVC管作为克氏原螯虾的栖息地,以防止互食行为的发生。在试验过程中,每个水族箱的水深为25 cm,以虹吸的方式进行水流交换,使水中的溶解氧大于5.0 mg/L, pH为7.0—7.6,总氨氮小于0.5 mg/L。

实验期间,克氏原螯虾每天投喂2次,投喂时间分别是09:00和18:00,投喂2h后用虹吸的方法收集未吃完的饲料并在60℃的烘箱中烘干,记录每个缸中小龙虾的摄食量并校正投喂量。在蜕皮过程中,蜕皮中的小龙虾分别饲养30 cm×18 cm×20 cm塑料缸中(水深:10 cm),防止捕食的发生。繁殖试验为期10周,水温为22.8—26.4℃,光照为自然光照。

1.2 实验饲料

实验饲料以鱼粉(武汉高龙饲料工业有限公司)为动物性蛋白源,以1:1混合的豆粕和菜籽粕(中粮祥瑞粮油工业(荆门)有限公司)为植物蛋白源;以豆油(南海油脂工业(赤湾)有限公司)为脂质来源;以玉米淀粉(河南省大程面粉实业(集团)有限公司)和微晶纤维素(山东聊城阿华制药股份有限公司)为糖源;以羧甲基纤维素为黏合剂。并根据Reigh等^[13]对克氏原螯虾营养需求的描述设计出的9组不同的饲料,每组饲料含有30%的粗蛋白和7%的脂肪。V0、V34、V50、V65、V73和V81组饲料中含有6种不同水平的植物蛋白源;在V50、V65和V81饲料的基础上中分别添加晶体赖氨酸和蛋氨酸后得到VA48、VA63和VA78饲料。基础饲料的组成及主要营养成分见表1,饲料的氨基酸成分见表2。结晶氨基酸混合物在60℃下用羧甲基纤维素预涂以防止浸出损失,然后与其他成分混合。将所有饲料原料粉碎后通过60目筛,彻底混合后用实验室饲料制粒机制成直径为2.5 mm的颗粒饲料。饲料颗粒在60℃下烘干,并在-20℃下储存。

1.3 样品采集

经过10周的养殖实验,所有的克氏原螯虾在样品采集前停食24h,随机从每个缸中选取4尾雌性的克氏原螯虾个体,分别测量体重。通过破坏中枢神经系统杀死个体并在冰上解剖出性腺,单独称重,然后计算产卵数。另外再从每个缸中随机选取三尾雌性个体放于-20℃条件下保存,用于后续的全身常规体成分分析。

1.4 样品及数据分析

采用标准方法(AOAC, 1995)测定饲料和实验克氏原螯虾全虾的水分、粗蛋白、粗脂肪和灰

份。另外,将饲料样品送至华中农业大学动物科技学院采用柱前衍生高效液相色谱法(HPLC)测定其中的氨基酸含量。

体重增长率(WGR)、性腺指数(GSI)和成活率(SR)计算如下: $WGR(\%/d)=100\times(W_2-W_1)/W_1$, $GSI(\%)=100\times W_G/W_2$, $SR(\%)=100\times N_t/N_0$;其中 W_1 和 W_2 分别是克氏原螯虾在实验开始前和实验结束时的体质量(g), W_G 是雌性克氏原螯虾在实验结束时性腺的质量(g), N_0 和 N_t 分别是实验开始前和实验结束时克氏原螯虾的数量。

实验数据表示为平均值±标准差,并通过Kolmogorov-Smirnov检验以及Bartlett检验对数据进行正态性和方差齐性检验。用SPSS 19.0软件对实验数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),以测定实验因子对测定指标的影响。当实验因子影响显著时,用Duncan's多重比较来比较组间平均值的差异,当 $P<0.05$ 时,表示有显著性差异。

2 结果

2.1 植物蛋白源替代鱼粉对克氏原螯虾生长状况的影响

如表3所示,在没有氨基酸添加的组中,克氏原螯虾的增重率随着植物蛋白替代量的增加而减少,V81组的增重率最低($P<0.05$)。在同一鱼粉替代水平下,添加晶体氨基酸实验组中克氏原螯虾的生长状况和对照组相比没有显著差异($P>0.05$)。

2.2 植物蛋白源替代鱼粉对克氏原螯虾繁殖状况的影响

如图1所示,当饲料中的植物蛋白的替代水平增加时,克氏原螯虾的繁殖力显著下降($P<0.05$)。其中V34组的产卵量最高,平均每个个体的产卵量为624个;V81组的产卵量最低,平均每个个体的产卵量为119个。另外,添加晶体氨基酸的组别(VA48、VA63和VA78)和对照组相比,克氏原螯虾的繁殖力没有显著降低($P>0.05$)。此外,雌性克氏原螯虾 GSI 随饲料处理的变化情况和绝对繁殖力的变化情况相似。

2.3 植物蛋白源替代鱼粉对克氏原螯虾体组成的影响

如表4所示,植物蛋白源替代鱼粉对性成熟克氏原螯虾全虾水分、灰分、粗脂肪以及粗蛋白的含量没有显著影响($P>0.05$)。

3 讨论

在本实验中,尽管克氏原螯虾在实验期间生长比较缓慢,但是饲料的处理对其生长状况还是产生

一定的影响。在非氨基酸添加组中V34组的增重率显著高于其他组别,而在V81组的增重率最低,这和Reigh等^[14]的报道类似。这说明在克氏原螯虾的饲料中加入适量的植物蛋白有利于其生长。这可能是因为克氏原螯虾是广食性的动物,能够接受并消化吸收植物性蛋白。蛋氨酸和赖氨酸是以植物性蛋白为蛋白源的饲料中最为主要的两种限制性氨基酸^[15]。本研究还表明,在含有高水平植物蛋白的饲料中添加合成氨基酸有利于克氏原螯虾的生长,

体现在饲料中含有高水平的植物蛋白(>49.5%)而不添加氨基酸会抑制克氏原螯虾的生长,而在饲料中添加晶体赖氨酸和蛋氨酸(VA48、VA63和VA78)则会减弱这种抑制作用。本研究中这种补充赖氨酸和蛋氨酸对生长产生有益影响的结果与斑节对虾(*P. monodon*)^[8]和日本对虾(*M. japonicus*)^[16]中的报道类似。

本研究中克氏原螯虾的体重增长率较低,这可能是因为其处于生殖发育阶段,摄食吸收的营养除

表 1 饲料的组成和营养成分(g/kg, 饲喂状态)

Tab. 1 Formulations and nutritional composition of experimental diets (g/kg as fed basis)

原料Ingredient	V0	V34	V50	V65	V73	V81	VA48	VA63	VA78
鱼粉Fish meal	516.0	300.0	200.0	100.0	50.0	0.0	200.0	100.0	0.0
植物蛋白 ¹ Vegetable protein		338.0	495.0	652.0	730.0	809.0	477.0	627.0	779.0
玉米淀粉Corn starch	308.0	207.0	160.0	113.0	89.0	66.0	165.0	120.0	75.0
大豆Soya oil	18.0	34.5	42.0	49.5	53.5	57.0	42.5	50.0	57.5
磷酸二氢钙Calcium biphosphate	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
50%氯化胆碱Choline chloride (50%)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
胆固醇Cholesterol	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
2%虾青素预混料2% Astaxanthin premix	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
小龙虾预混料Premix for crayfish ²	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
L-赖氨酸盐酸盐L-Lysine hydrochloride							6.0	8.0	9.5
DL-蛋氨酸DL-Methionine							2.5	3.5	4.0
包膜维生素C Vitamin C (Coated)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
氯化钠Sodium chloride	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
羧甲基纤维素Carboxymethyl cellulose	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
微晶纤维素Microcrystalline cellulose	94.8	57.3	39.8	22.3	14.3	4.8	43.8	28.3	11.8
营养成分Proximate composition (g/kg)									
水分Moisture	97.9	94.4	98.6	97.4	96.8	95.5	97.0	95.9	94.7
粗蛋白Crude protein	305.0	308.4	306.4	307.7	307.4	307.0	309.7	308.8	312.5
粗脂肪Crude lipid	69.4	66.7	65.7	67.3	70.1	69.5	64.9	67.8	64.6
粗灰分Ash	77.5	73.2	72.7	75.3	76.0	74.8	75.8	75.3	73.4

注: ¹植物性蛋白是由豆粕和菜粕按照1:1的比例混合而成。每千克豆粕和菜粕中的水分、粗蛋白、粗脂肪的含量分别是: 112 g、43 g、16 g 和 115 g、363 g、14 g; ²每千克虾料预混料含: 维生素 A 2000 IU, 维生素 D₃ 2400 IU; 维生素 K₃ 15 mg; 维生素E 100 mg; 维生素 B₁ 5 mg; 维生素 B₂ 15 mg; 维生素 B₆ 10 mg; 维生素B₁₂ 0.02 mg; 烟酸 150 mg; 叶酸 3 mg; D-泛酸钙 50 mg; 生物素 1 mg; 肌醇 200 mg; 镁 200 mg; 锰 80 mg; 铁 35 mg; 锌 50 mg; 铜 20 mg; 碘 1 mg; 钴 0.4 mg; 硒 0.225 mg

Note: ¹ Vegetable protein was compounded from soybean meal and rapeseed meal at a ratio of 1:1. The moisture, protein and lipid contents in soybean meal and rapeseed meal were (g/kg): 112, 43, 16 and 115, 363, 14, respectively; ² Premix for crayfish provided (/kg diet): vitamin A 2000 IU; vitamin D₃ 2400 IU; vitamin K₃ 15 mg; vitamin E 100 mg; vitamin B₁ 5 mg; vitamin B₂ 15 mg; vitamin B₆ 10 mg; vitamin B₁₂ 0.02 mg; niacin 150 mg; folic acid 3 mg; D-calcium pantothenate 50 mg; biotin 1 mg; inositol 200 mg; magnesium 200 mg; manganese 80 mg; iron 35 mg; zinc 50 mg; copper 20 mg; iodine 1 mg; cobalt 0.4 mg; selenium 0.225 mg

了少部分维持正常生命活动以外,绝大部分为性腺发育提供能量和物质基础^[17]。另外,随着饲料中植物蛋白水平的提高,雌性小龙虾的性腺指数和繁殖力均显著下降,这和Sink等^[18]在斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)中报道类似。然而,Xu等^[12]发现,当鱼粉水平为15%、20%或24%时,饲料中鱼粉和豆粕比例对克氏原螯虾的性腺指数、产卵量及孵化率没有显著影响。这表明,由于饲料中有少量鱼粉的存在,克氏原螯虾能够耐受饲料中的植物蛋白。但在植物蛋白较高的饲料中添加赖氨酸和蛋氨酸可改善其生长性能以及繁殖状况,这可能是因为植物蛋白

含量较高的饲料中存在必需氨基酸的缺乏,从而限制其生长和性腺发育。我们在克氏原螯虾幼虾的植物性蛋白源替代鱼粉的研究中也发现了类似的结果^[19]。此外,在哺乳动物中也有类似的结果,妊娠期间用高赖氨酸饲料喂养的母猪的平均产仔体重大于喂养低赖氨酸饲料的母猪的平均产仔体重^[20]。

综上所述,结合克氏原螯虾的生长及繁殖状况,饲料中植物蛋白的最佳添加量是33.8%。在饲料中添加高水平的植物蛋白抑制克氏原螯虾的生长并且降低其繁殖能力,而在饲料中补充赖氨酸和蛋氨酸可以很好地改善这一状况。

表 2 饲料氨基酸成分(g/kg 干物质)
Tab. 2 Analyzed amino acid composition of experimental diets (g/kg dry matter)

氨基酸Amino acid	V0	V34	V50	V65	V73	V81	VA48	VA63	VA78
赖氨酸Lys	25.2	22.0	19.8	19.2	18.5	17.7	25.4	24.7	24.9
蛋氨酸Met	8.5	7.3	6.4	5.8	5.0	4.7	8.6	8.9	8.7
精氨酸Arg	18.3	19.4	20.1	20.5	20.5	21.1	19.5	19.9	21.0
组氨酸His	8.4	8.6	8.7	8.8	8.9	8.6	8.5	8.4	8.3
异亮氨酸Ile	13.0	12.7	12.8	12.7	12.0	12.8	12.6	12.3	11.9
亮氨酸Leu	22.5	22.3	22.4	20.5	21.6	21.0	21.9	21.8	22.3
缬氨酸Val	15.0	14.8	14.2	15.3	14.9	14.8	14.5	14.9	14.3
苯丙氨酸Phe	12.2	13.0	13.3	13.7	13.9	13.3	13.0	13.2	13.5
苏氨酸Thr	13.5	13.0	13.3	13.4	13.6	12.9	13.0	12.8	13.2
胱氨酸Cys	3.3	3.9	4.8	4.9	5.2	5.1	4.3	4.8	4.7
酪氨酸Tyr	7.6	8.4	8.8	9.7	10.1	10.3	8.8	9.3	9.7
天门冬氨酸Asp	27.6	29.4	28.8	30.7	30.2	28.9	29.3	29.0	29.4
丝氨酸Ser	12.7	13.4	13.9	14.0	14.7	15.2	14.7	13.8	14.2
谷氨酸Glu	38.8	47.6	48.1	53.4	56.5	53.5	48.9	52.3	54.1
甘氨酸Gly	23.6	19.4	18.7	15.7	16.8	15.4	16.9	15.5	15.3
丙氨酸Ala	18.7	17.3	16.3	15.4	14.5	14.0	15.6	14.7	12.4
总氨基酸Total amino acid	268.9	272.5	270.4	273.7	276.8	269.3	275.5	276.3	277.9

表 3 植物性蛋白源替代鱼粉对克氏原螯虾成虾生长性能的影响
Tab. 3 Effects of fish meal replacement by vegetable source on growth performance of adult *Procambarus clarkii**

组别Group	初始体重 Initial body weight (g)	终末体重 Final body weight (g)	增重率 Weight gain rate (%)	成活率Survival rate (%)
V0	28.72±0.41	32.0±0.46 ^{abc}	11.40±0.69 ^{bcd}	93.3±6.7
V34	28.52±0.18	32.13±0.15 ^{ab}	12.67±0.03 ^d	93.3±6.7
V50	28.02±0.07	30.95±0.02 ^{bc}	10.47±0.40 ^{abc}	91.1±3.8
V65	28.03±1.31	30.83±0.91 ^c	10.01±0.57 ^{ab}	86.7±11.5
V73	28.35±1.44	31.3±1.15 ^{abc}	10.42±0.16 ^{abc}	84.4±13.9
V81	28.05±0.82	30.81±0.63 ^c	9.85±0.06 ^a	84.4±15.4
VA48	28.56±0.63	32.07±0.63 ^{ab}	12.31±0.91 ^d	93.3±6.7
VA63	28.02±1.20	31.35±0.72 ^{abc}	11.93±1.16 ^d	86.7±6.7
VA78	28.76±0.30	32.16±0.27 ^a	11.82±0.19 ^{cd}	80.0±6.7

注: *数值用平均值±标准差(n=3)表示; 同列数值后不同的上标字母表示差异显著(P<0.05)
Note: * Values were expressed as Mean±SD (n=3). Values within each column that do not share a same superscript are significantly different from each other (P<0.05)

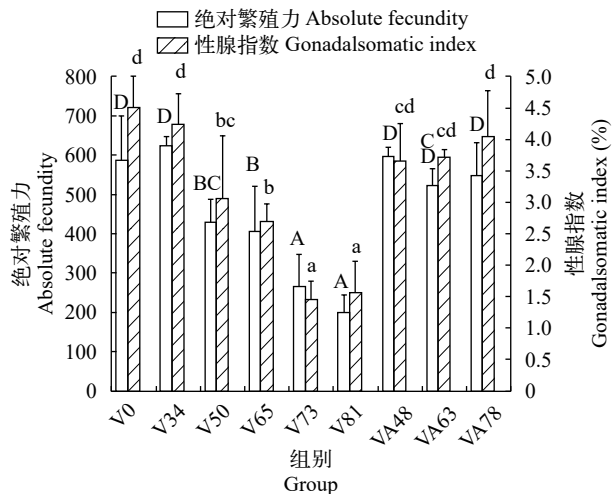


图1 植物蛋白源替代鱼粉对克氏原螯虾繁殖能力的影响

Fig. 1 Effects of fish meal replacement by plant-protein source on the reproduction performance of *Procambarus clarkii*

数值用平均值±标准差($n=12$)表示。在同一系列数据中, 不同的上标表示不同饲料组间差异显著($P<0.05$), 大写字母表示绝对繁殖力的差异性, 小写字母表示性腺指数的差异性

Values were expressed as Mean±SD ($n=12$). Bars which do not share a same superscript are significantly different from each other ($P<0.05$). Upper cases and lower cases represent the significance of the absolute fecundity and GSI respectively

表4 植物性蛋白源替代鱼粉对克氏原螯虾体组成的影响

Tab. 4 Effects of fish meal replacement with vegetable protein source on body composition (g/kg) of *Procambarus clarkii*

组别 Group	水分 Moisture	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Crude ash
V0	797.9±6.5	103.5±3.9	35.1±1.3	50.8±0.8
V34	788.6±4.7	105.3±6.4	35.6±0.9	51.0±0.9
V50	789.9±12.3	103.2±7.1	33.7±1.4	50.7±0.4
V65	795.2±8.9	100.1±6.5	35.0±1.4	51.5±2.4
V73	793.3±13.0	96.5±9.0	33.7±1.3	52.3±0.9
V81	794.1±6.6	95.1±4.7	36.1±0.9	52.1±1.5
VA48	797.7±29.8	100.2±19.2	35.7±0.9	52.2±0.1
VA63	792.4±22.2	101.0±15.4	34.3±1.0	51.4±0.8
VA78	782.6±10.0	99.4±7.4	35.2±1.3	51.0±1.4

参考文献:

- [1] Bulbul M, Koshio S, Ishikawa M, *et al.* Performance of kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus* fed diets replacing fishmeal with a combination of plant protein meals [J]. *Aquaculture*, 2013, **372**: 45-51.
- [2] Richard L, Surget A, Rigolet V, *et al.* Availability of essential amino acids, nutrient utilisation and growth in juvenile black tiger shrimp, *Penaeus monodon*, following fishmeal replacement by plant protein [J]. *Aquaculture*, 2011, **322**: 109-116.
- [3] Yang J F, Hua X M, Guo Z H, *et al.* The replacement of

fish meal and soybean meal to fermented soybean meal and its effects on the growth performance, serum biochemical indices, and immune gene expression in giant river prawn, *Macrobrachium rosenberg* II [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, **42**(4): 719-727. [杨景丰, 华雪铭, 郭子好, 等. 发酵豆粕替代鱼粉和豆粕对罗氏沼虾生长、血清生化及免疫基因表达的影响 [J]. *水生生物学报*, 2018, **42**(4): 719-727.]

- [4] Cui Y Y, Zhang N N, Ma Q Q, *et al.* Effects of four commonly used plant protein sources on growth performance, amino acids retention and antioxidant enzyme activities in juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2017, **41**(1): 146-154. [崔燕燕, 张南南, 马倩倩, 等. 四种植物蛋白对中华绒螯蟹幼蟹生长性能、氨基酸沉积率和抗氧化酶活性的影响 [J]. *水生生物学报*, 2017, **41**(1): 146-154.]
- [5] Tacon A. Utilisation of conventional and unconventional protein sources in practical fish feeds [J]. *Nutrition and Feeding in Fish*, 1985: 119-145.
- [6] Higgs D A, McBride J R, Markert J R, *et al.* Evaluation of tower and candle rapeseed (canola) meal and Bronowski rapeseed protein concentrate as protein supplements in practical dry diets for juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) [J]. *Aquaculture*, 1982, **29**(1-2): 1-31.
- [7] Hua X, Shui C, He Y, *et al.* Effects of different feed stimulants on freshwater crayfish (*Procambarus clarkii*), fed diets with or without partial replacement of fish meal by biofeed [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, **21**(1): 113-120.
- [8] Biswas P, Pal A, Sahu N, *et al.* Lysine and/or phytase supplementation in the diet of *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles: effect on growth, body composition and lipid profile [J]. *Aquaculture*, 2007, **265**(1-4): 253-260.
- [9] Xu J T, Yan B L, Xu G C. Background, current situation and prospect of freshwater red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* industry [J]. *Aquatic Science and Technology Information*, 2011, **38**(4): 172-176. [徐加涛, 阎斌伦, 徐国成. 克氏原螯虾产业发展背景、现状与展望 [J]. *水产科技情报*, 2011, **38**(4): 172-176.]
- [10] Wang S C. Biological and ecological culture model of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2003, **33**(4): 59-61. [王顺昌. 克氏原螯虾的生物学和生态养殖模式 [J]. *淡水渔业*, 2003, **33**(4): 59-61.]
- [11] Harlioğlu M M, Farhadi A. Factors affecting the reproductive efficiency in crayfish: implications for aquaculture [J]. *Aquaculture Research*, 2017, **48**(5): 1983-1997.
- [12] Xu J Y, Wang T T, Wang Y F, *et al.* Effect of combined fish meal: soybean meal ratio, vitamin C and fish oil supplementations in diet on the growth and reproduction of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapoda) [J]. *Aquaculture Research*, 2010, **41**(9): 252-259.

- [13] Reigh R C, Braden S L, Craig R J. Apparent digestibility coefficients for common feedstuffs in formulated diets for red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* [J]. *Aquaculture*, 1990, **84**(3-4): 321-334.
- [14] Reigh R C, Braden S L, Laprarie R J. Substitution of soybean protein for fish protein in formulated diets for red swamp crayfish *Procambarus clarkii* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1993, **24**(3): 329-338.
- [15] Nunes A J, Sá M V, Browdy C L, *et al.* Practical supplementation of shrimp and fish feeds with crystalline amino acids [J]. *Aquaculture*, 2014, **431**: 20-27.
- [16] Alam M S, Teshima S I, Koshio S, *et al.* Supplemental effects of coated methionine and/or lysine to soy protein isolate diet for juvenile kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus* [J]. *Aquaculture*, 2005, **248**(1-4): 13-19.
- [17] Bunnell D B, Marschall E A. Optimal energy allocation to ovaries after spawning [J]. *Evolutionary Ecology Research*, 2003, **5**(3): 439-457.
- [18] Sink T D, Lochmann R T, Pohlenz C, *et al.* Effects of dietary protein source and protein-lipid source interaction on channel catfish (*Ictalurus punctatus*) egg biochemical composition, egg production and quality, and fry hatching percentage and performance [J]. *Aquaculture*, 2010, **298**(3-4): 251-259.
- [19] 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.
- [20] Yang Y, Heo S, Jin Z, *et al.* Effects of lysine intake during late gestation and lactation on blood metabolites, hormones, milk composition and reproductive performance in primiparous and multiparous sows [J]. *Animal Reproduction Science*, 2009, **112**(3-4): 199-214.

EFFECTS OF DIETARY FISH MEAL REPLACEMENT WITH VEGETABLE PROTEIN ON REPRODUCTION PERFORMANCE OF RED SWAMP CRAYFISH, *PROCAMBARUS CLARKII*

YAO Jun-Peng¹, TAN Qing-Song^{1,3}, ZHU Yan-Hong¹, XU Ying-Yan¹ and ZHU Wen-Huan²

(1. Key Laboratory of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture, Freshwater Aquaculture Collaborative Innovation Center of Hubei Province, Fisheries College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Fisheries Technical Extension and Guidance Center of Wuhan, Wuhan 430012, China; 3. Hubei Provincial Engineering Laboratory for Pond Aquaculture, Wuhan 430070, China)

Abstract: To explore the effects of dietary fish meal replacement by mixed vegetable protein (equal amounts of soybean meal and rapeseed meal) on the growth and reproduction performance of adult red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*), nine diets including six levels of mixed vegetable protein and with/without crystalline lysine and methionine supplementation were formulated for a 10-week trial. The results indicated that the weight gain rate, absolute fecundity of adult crayfish, and *GSI* of female crayfish decreased significantly ($P < 0.05$) as the dietary vegetable protein level increased. Compared with the control group, proper inclusion (33.8%) of vegetable protein in the diet significantly ($P < 0.05$) improved the growth of crayfish without impacting the absolute fecundity and gonadosomatic index (*GSI*). Amino acids supplementation in the diets containing vegetable protein prevented the depression of growth and fecundity. In addition, high plant protein inhibited the growth of adult red swamp crayfish and reduced the reproductive capacity, and the addition of lysine and methionine reversed these defects. In addition, although the food formula of each group is different, the gland index of *Procambarus clarkii* is consistent with the change of absolute fecundity.

Key words: Red swamp crayfish; Amino acid; Vegetable protein; Reproduction performance; Growth performance