

· 综述 ·

玉米蛋白粉在水产饲料中应用的研究进展

华雪铭, 王军, 韩斌, 周洪琪*, 黄旭雄,
陈然, 程媛媛, 胡盼

(上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点开放实验室, 上海 201306)

摘要: 介绍了玉米蛋白粉的营养价值, 综述了在饲料中使用玉米蛋白粉对水产动物生长、原料表观消化率、饲料适口性、饲料氨基酸平衡、鱼体生化指标、肌肉成分以及养殖水环境的影响, 初步探讨了改善水产动物对玉米蛋白粉利用率的途径, 提出应加强不同水产动物就玉米蛋白粉在体内的代谢、对养殖水环境的影响、对机体抗病免疫力和肌肉风味的影响以及玉米蛋白粉对除鱼粉外的动物蛋白源的替代研究。

关键词: 玉米蛋白粉; 水产动物; 利用

中图分类号: S 963

文献标识码: A

我国水产养殖业正朝着集约化和规模化迈进。由于饲料费用占养殖成本的50%左右^[1], 所以水产饲料的生产便成了水产养殖发展的关键。原料的选取直接影响着饲料的价格和质量, 目前, 在水产饲料中大量使用鱼粉, 其主要原因是因为鱼粉是水产饲料中不可或缺的优质蛋白源, 其必需氨基酸和脂肪酸含量高, 碳水化合物含量低, 适口性好, 抗营养因子少以及能够被养殖动物很好的消化吸收^[2]。然而近年来, 由于鱼粉产量的下降以及需求量的增加, 鱼粉的价格持续走高, 随之饲料的价格也急剧上涨, 严重影响着水产养殖的成本。受资源与技术条件的限制, 目前我国所使用的鱼粉大多依赖进口解决, 找到能够部分或完全替代鱼粉的动植物蛋白源成为当前我国水产养殖业和水产饲料业非常紧迫的任务。玉米蛋白粉是一种优质的植物蛋白源, 具有蛋白含量高、纤维素含量低、富含维生素B和E、不含抗营养因子等诸多优点^[2]。国外已经对玉米蛋白粉作了较多的研究, 并已应用到水产饲料生产中去。本文结合国内外相关研究成果, 对玉米蛋白粉在水产饲料中的应用作一概述。

1 玉米蛋白粉的基本营养成分

通常所说的玉米蛋白粉(corn gluten meal, CGM)是玉米淀粉加工中的副产物, 它是由玉米籽粒经湿磨法工艺制得的粗淀粉乳经淀粉分离机分出的蛋白质水, 即麸质水, 用浓缩离心机或沉淀池浓缩后, 再经脱水干燥制成, 俗称黄粉子^[3]; 亦有玉米蛋白粉为玉米提取赖氨酸后的加工副产品^[4]。

玉米是三大粮食作物之一, 目前我国的玉米总产量已达 1.2×10^8 t以上, 居世界第二位, 占世界总产量的22%^[5]。每年玉米籽粒经加工后产生大量的玉米蛋白粉, 因为其具有特殊的味道和色泽, 一般只作饲料使用。随着玉米深加工技术的不断发展, 玉米蛋白粉生产规模不断扩大质量不断提高, 作为蛋白质饲料源, 已被广泛应用于鸡、猪和牛的养殖生产。与饲料工业中常用的鱼粉、豆饼和豆粕相比, 资源优势明显, 饲用价值高, 不含有毒有害物质, 玉米和豆类的蛋白混合使用, 可改善氨基酸营养价值。玉米蛋白粉作为饲料可开发的优势还在于工业化规模产量在扩大, 产品

收稿日期:2010-10-08 修回日期:2011-01-31

资助项目:上海市科委地方院校能力建设项目(073205111);上海市重点学科建设项目(Y1101)

通讯作者:周洪琪, E-mail:hqzhou@shou.edu.cn

的抗营养因子含量少,潜在的开发性大,饲料的安全性好^[6]。随着加工工艺的不断改进,玉米蛋白多肽和改性玉米蛋白的应运而生,也将使常规玉米蛋白粉体现出更多的功能和优势。

按照常规生产工艺生产的玉米蛋白粉其总蛋白质含量高达65%,碳水化合物15%,脂肪7%,纤维2%,灰分1%,还含有玉米黄素、叶黄素等。蛋白质中玉米醇溶蛋白约占68%,谷蛋白约占28%,还含有少量的球蛋白和白蛋白^[7]、无机盐及多种维生素^[8];其必需氨基酸含量高于大豆和小麦,其中亮氨酸、异亮氨酸、丙氨酸、缬氨酸等氨基酸含量较高,但赖氨酸和色氨酸含量低^[9]。

2 玉米蛋白粉在水产饲料中的应用

2.1 玉米蛋白粉对水产动物生长的影响及其在饲料中的适宜用量

在以往对植物蛋白源替代鱼粉的研究中发现,植物蛋白源部分或者完全替代饲料中的鱼粉,水产动物的生长将受到不同程度的影响。通常情况下,随着饲料中植物蛋白源替代水平的升高,水产动物的生长率逐渐下降,死亡率逐渐上升,而在适宜的替代范围内,水产动物的生长并不受到显著影响^[10]。

玉米蛋白粉在饲料中的适宜用量与水产动物的种类有关。用21.08%的玉米蛋白粉在金头鲷(*Sparus aurata*) [初重为(35~40)g]饲料中代替部分鱼粉不影响其生长、饲料效率和蛋白质效率^[11];在褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*) (初重为8g)饲料中玉米蛋白粉对鱼粉的替代量不超过40%时,对增重率、饲料系数、蛋白质效率等无显著影响^[12];在短鳍幼鳗[*Anguilla australis australis* (Richardson)] [初重为(2.23±0.4)g]饲料中,用玉米蛋白粉完全替代23%的鱼粉蛋白,不影响生长^[13]。对罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)而言,摄食以玉米蛋白粉为唯一蛋白源的饲料(蛋白质含量32%和36%),其增重率、蛋白质效率和饲料转化率不亚于同等蛋白水平以鱼粉为蛋白源的饲料^[14]和含有29%~36%的大豆粉并添加赖氨酸、色氨酸和苏氨酸的饲料^[15]。用玉米蛋白部分替代鱼粉饲养罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)^[16] [(1.35±0.06)g]和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[17] [(0.0136±0.0010)g],认为适宜的替代量分别为9.10%~18.2%和17.2%。而在

室外养殖系统和池塘中养殖的凡纳滨对虾[初重分别为(31.2±0.5)mg、(0.7343±0.031)g],饲料中含有16%的畜禽下脚料粉时,饲料中的鱼粉可以完全被植物蛋白取代(4.84%的玉米蛋白粉和大豆蛋白混合物),同时不影响其生长和产量^[18-19]。

当玉米蛋白粉在黄尾鲷(*Seriola quinqueradiata*)饲料中用量超过10%时,出现生长缓慢,饲料效率降低^[20];镜鲤(*Cyprinus carpio*) (初重12.6g)摄食含玉米蛋白饲料后,与鱼粉饲料相比,蛋白质摄入量无显著差异,但蛋白质生物价明显下降^[21];用含有30%玉米蛋白粉为唯一蛋白源的饲料投喂鲍(*Haliotis discus*)40d其生长率和蛋白质利用率(23%,1.2%)要低于等水平的豆粕饲料(63%,2.6%)和白鱼粉饲料(35%,1.7%)^[22]。REGOST^[23]用不同水平的玉米蛋白粉和8%可溶性鱼蛋白浓缩物部分替代或完全替代鱼粉养殖大菱鲆(初重65g),20%玉米蛋白粉组的生长与对照组无显著差异,认为大菱鲆饲料中替代鱼粉的最大比例为1/3,否则影响生长和营养物质的消化吸收。

玉米蛋白粉的利用程度与水产动物的大小规格有关。TAKAGI^[24]利用玉米蛋白作为替代鱼粉的蛋白源养殖日本真鲷(*Pagrus major*)幼鱼(体重53g)和成鱼(体重280g)40d、232d(玉米蛋白粉使用量为0%~52%,鱼粉的替代水平为0%~100%)。当成鱼饲料中玉米蛋白含量小于36%时对生长无影响,超过47%时生长显著降低;饲料效率在小于47%时无显著差异,达到52%即完全替代鱼粉时出现显著差异。就幼鱼而言,虽然玉米蛋白含量低于15%时无差异,但随着玉米蛋白使用量的增加,生长及饲料转化相应降低。因此,在不添加游离必需氨基酸时,日本真鲷成鱼饲料中玉米蛋白的最大使用量为36%,即替代量70%的鱼粉,幼鱼饲料中玉米蛋白的最大使用量为15%,即替代30%的鱼粉。以大豆蛋白浓缩物、脱脂豆粕、肉粉和玉米蛋白粉混合物作为蛋白源的饲料喂养平均体重分别为13g和130g的虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)52d、75d,试验鱼的生长显著不如以鱼粉作为蛋白源的饲料,在小规格虹鳟中尤为明显,而大规格虹鳟前期摄食相对活跃,生长也相对正常,但在46d之后就出现生长缓慢甚至停滞,死亡率高,饲料回报率^[25]。

由此说明,小规格的水产动物对玉米蛋白粉的利用能力较差,这可能与水产动物的早期发育阶段对植物蛋白的适应性要低于后期有关^[26],但并不意味着在大规格水产动物的饲料中玉米蛋白粉就可以完全替代鱼粉。EL-EBIARY^[27]以玉米蛋白粉替代鱼粉养殖狼鲈(*Dicentrarchus labrax*),在不影响生长、饲料转化率和营养物质的消化吸收情况下,狼鲈鱼苗[体重(0.58 ± 0.002) g]饲料中玉米蛋白粉对鱼粉的最大替代量是40%;而用45%玉米蛋白粉和10%的可溶性鱼蛋白混合物完全替代欧洲狼鲈[体重(116 ± 2) g]饲料中的鱼粉(40%)时,生长率低于鱼粉组,氨基酸指数和化学评分也显著低于鱼粉组和大豆蛋白浓缩物组^[28]。

养殖用水盐度差异对玉米蛋白粉利用的影响 当虹鳟(体重23 g)在淡水中饲养时,饲料中任何水平的玉米蛋白粉对生长和营养物质的利用均无负面影响;当鲑(*Salmo trutta*)(体重21 g)饲养于淡水中时,饲料中玉米蛋白粉的使用量达到20%时,对生长有负面影响;但对于海水性虹鳟(300 g)和鲑(190 g)而言,摄食任何水平的玉米蛋白粉对鱼体的生长和蛋白质储留均有负面影响^[29]。

2.2 玉米蛋白粉在水产饲料中应用存在的问题

植物性蛋白全部或部分替代动物性蛋白后,会对饲料适口性、表观消化率和氨基酸平衡产生影响。因为植物蛋白中必需氨基酸含量较低,甚至可能缺乏一种或几种必需氨基酸,其中赖氨酸和蛋氨酸是最主要的限制性氨基酸。随着饲料中植物蛋白含量的增加,氨基酸的不平衡性愈加明显,从而对水产动物的生长产生负面影响;同时水生动物的生理状态、各项生理指标和肌肉成分含量也可能发生变化。

玉米蛋白粉对适口性的影响 鱼粉的适口性较好,是因为鱼粉中存在较多的促摄食物质^[30],而植物蛋白源不含有这些物质,不仅如此,植物蛋白源中还常常含有一些抑制水产动物摄食的物质,于是随着饲料中植物蛋白源使用量的增加,其中的促摄食物质逐渐减少,饲料的适口性降低,从而影响水产动物的食欲,使摄食量减少,生长受阻。MORALES等^[31]发现在虹鳟饲料中使用23.41%的玉米蛋白粉代替40%的鱼粉时,虹鳟的摄食量显著下降;TAKAGI等^[24]通过对真鲷

仔鱼的研究发现,随着饲料中玉米蛋白粉用量的增加,其摄食量相应减少,但是在使用量不超过15%时,并没有显著差异;以大豆蛋白浓缩物、脱脂豆粕、肉粉和玉米蛋白粉混合物作为蛋白源的饲料对平均体重分别为13 g和130 g的黄尾鲈而言,其适口性远不如以鱼粉作为蛋白源的饲料^[25]。然而ROBAINA等^[11]则认为大西洋鲷能较好的适应玉米蛋白粉,随着饲料中玉米蛋白粉含量的增加(最大使用量21.08%),其摄食量也在增加;同样,饲料中含有50%的玉米蛋白粉也不影响斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)(体重50 g)饲料的适口性^[32]。由此看来,饲料中使用玉米蛋白粉对饲料的适口性通常有着消极的影响,尤其在饲料中的使用量超过一定的范围时,就会大大降低饲料的适口性,但不同的水产动物对于玉米蛋白适应程度存在一定的差异。

玉米蛋白粉对表观消化率的影响 植物蛋白中存在许多抗营养因子(包括胰蛋白酶抑制因子、红细胞凝集素、植酸、皂苷、生物碱、类棉酚、环丙脂肪酸、硫葡萄糖苷、芥子酸、黄曲霉素和硫胺素酶等)^[33]。这些抗营养因子会阻碍水产动物对植物蛋白的消化吸收。然而,玉米蛋白粉中仅含有少量纤维素,几乎不含抗营养因子,因此,水产动物对其能够很好的消化吸收。银鲑鱼和虹鳟对玉米蛋白粉原料干物质和蛋白质的表观消化率分别达到88.0%、91.9%和87.7%、97.3%^[34],军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[35]、许氏平鲷(*Sebastes schlegeli*)[体重(30 ± 0.5) g, (300 ± 4.2) g]^[36]、罗非鱼^[37]和大西洋鲑(*Gadus morhua*)^[38]对玉米蛋白粉的蛋白质表观消化率分别为94.4%、92.0%、89.0%和86.3%,金头鲷对玉米蛋白粉的蛋白质表观消化率为90%,要高于鱼粉(86%)^[39]。凡纳滨对虾对玉米蛋白的干物质和蛋白质表观消化率分别为82.61%和90.4%,高于对鱼粉的干物质和蛋白质表观消化率78.94%和89.88%^[40]。

与鱼粉相比,也有部分鱼类对玉米蛋白粉的表观消化率较低。许氏平鲷[体重(3.1 ± 0.03) g]对红鱼粉和玉米蛋白粉的蛋白质表观消化率分别为87.5%和79.1%,磷表观消化率22.2%和12.6%^[41];分别以鱼粉、两种大豆蛋白浓缩物和玉米蛋白粉作为欧洲狼鲈[体重(116 ± 2) g]的饲料蛋白源,玉米蛋白组的蛋白质表观消化率为87%,显著低于鱼粉和大豆蛋白浓缩物;磷、淀粉

和能量表观消化率在各组间也有类似的趋势;而脂肪表观消化率在玉米蛋白粉和大豆蛋白浓缩物组之间无显著差异,但是,显著低于鱼粉组^[28]。黄尾鲮(98~109 g)对玉米蛋白粉的氨基酸利用率和蛋白质表观消化率仅有46.8%和49.7%,远低于褐鱼粉的83.8%、88.7%和大豆浓缩蛋白的87.8%、87.3%^[42]。草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)对玉米蛋白粉的表现消化率也远远低于国产鱼粉和豆粕,前者的干物质、蛋白质和脂肪表观消化率分别为63.36%、68.91%、57.09%,国产鱼粉分别为81.51%、84.04%、81.46%,豆粕分别为75.44%、87.53%、82.19%^[43]。南非网鲍(*Halivtis midae*)对玉米蛋白粉的表现消化率(76.08%)显著低于鱼粉(82.94%)和豆粕(96.34%),氨基酸表观消化率也具有类似的情况^[44]。

玉米蛋白粉对饲料氨基酸平衡的影响 玉米蛋白粉中缺乏水产动物的必需氨基酸赖氨酸,所以在水产饲料中使用玉米蛋白粉之后往往缺乏赖氨酸。在金头鲷饲料中用玉米蛋白粉替代80%的鱼粉^[45]、在黄尾鲮饲料中用30%的玉米蛋白粉配合20%脱脂豆粕替代鱼粉,均由于饲料的氨基酸不平衡,使得鱼的生长减缓,饲料效率降低^[46]。在摄食以玉米蛋白粉为唯一蛋白源的饲料时,黄尾鲮的生长、饲料效率、蛋白质表观消化率、PER、NPU和BV都较褐鱼粉和大豆蛋白浓缩物低,而蛋白质的利用率降低主要是因为消化吸收率低和氨基酸不平衡^[47]。又如鲤(*Cyprinus carpio*),尽管对玉米蛋白粉中的蛋白质表观消化率达95%,远远高于肉骨粉和白鱼粉(54%和87%),但是因为氨基酸组成差异引起了饲料利用率的差异,最终导致PER、NPU和BV都显著低于肉骨粉和鱼粉^[48]。因此,将玉米蛋白粉作为饲料的唯一蛋白源也非合理之举,只有将其与其它植物蛋白源配伍才可以部分甚至完全替代鱼粉^[39]。

玉米蛋白粉对机体生化指标和肌肉成分的影响 随着饲料中玉米蛋白粉用量的增加,水产动物的生理指标将逐渐受到影响。MOYANO等^[49]对虹鳟的研究表明,饲料中使用玉米蛋白粉可以降低其谷丙转氨酶活力,由于谷丙转氨酶是氨基酸进入三羧酸循环重要的酶,该酶活性的降低意味着虹鳟对玉米蛋白粉的营养成分有很好利

用能力。KIKUCHI^[12]报道,牙鲆饲料中玉米蛋白粉使用量超过40%时,其血红蛋白含量和红细胞数显著降低,血浆甘油三酯和葡萄糖含量升高^[12]。REGOST^[23]用玉米蛋白部分替代或完全替代鱼粉养殖大菱鲆(初重65 g)时,血浆中的胆固醇、甘油三酯和T₃的浓度随饲料中玉米蛋白粉对鱼粉替代量的增加而下降,甲状腺激素(T₄)并未受到此类影响^[23]。以大豆蛋白浓缩物、脱脂豆粕、肉粉和玉米蛋白粉混合物作为蛋白源的饲料喂养平均体重分别为13和130 g的黄尾鲮52、75 d,结果出现“绿肝”症状和血液指标差等不正常生理特性^[25]。如果玉米蛋白粉保存不当也可能受到黄曲霉毒素的污染,该毒素对人及动物肝脏组织有破坏作用,甚至也对水生生物的健康产生严重的不良后果,如肝细胞瘤流行病等^[50]。在实际使用中可以添加沸石粉或霉菌毒素吸附剂,减少黄曲霉毒素的负面影响。

玉米蛋白粉对鱼粉的替代量不超过40%时,对金头鲷的鱼体生化组成和肝组织结构无影响^[110],替代量为60%和80%时,金头鲷鱼体的水分和脂肪分别显著低于和高于对照组,其它指标则没有显著差异^[45]。当饲料中含有50%的玉米蛋白粉时,斑点叉尾鲷(体重50 g)鱼片脂肪含量和水分含量较鱼粉组显著降低^[32]。分别以鱼粉、大豆蛋白浓缩物和玉米蛋白粉作为欧洲狼鲈[体重(116±2) g]的饲料蛋白源,研究发现,植物蛋白不影响试验鱼的全鱼生化成分(干物质、脂肪、蛋白质和能量),但能增加背肌脂肪含量和肝脏胆固醇含量,降低内脏、肝脏脂肪含量和血浆胆固醇含量,尤其是玉米蛋白粉。玉米蛋白粉和大豆蛋白浓缩物能同时抑制肝脏葡萄糖-6-磷酸脱氢酶、苹果酸酶和ATP-柠檬酸裂解酶,但玉米蛋白粉又恰好与大豆蛋白浓缩物相反,它能提高肝脏脂肪酸合成酶。玉米蛋白粉影响脂肪代谢可能与玉米蛋白粉引起饲料可消化能/蛋白质比值下降、氨基酸不平衡,尤其是生酮氨基酸赖氨酸的缺乏,直接导致其它氨基酸的分解代谢,使得有更多的碳链和糖原生成底物用于脂肪的生成有关^[28]。

玉米蛋白粉对养殖水环境的影响 磷在植物性饲料中含量较高,但其中大部分以植酸及植酸盐的形式存在,难以被机体利用,易引起水产动物磷缺乏症;另一方面,未被利用的磷直接排出体

外,也容易造成对养殖水环境的污染。饲料蛋白质在分解代谢中不能为鱼体所利用的能量以排泄能的形式排出体外,其主要排泄产物为氨、尿素和氧化三甲胺。因此,玉米蛋白粉对水环境的影响也必将成为玉米蛋白粉能否成功应用到水产饲料中的重要影响因素。

在短鳍幼鳊(2.23 ± 0.4) g 饲料中,用玉米蛋白粉完全替代 23% 的鱼粉,不影响氨氮排泄^[13]。分别以鱼粉、两种大豆蛋白浓缩物和玉米蛋白粉作为欧洲狼鲈[体重(116 ± 2) g]的饲料蛋白源,研究发现,植物蛋白使氨氮排泄增加,对尿素氮排泄无影响;降低总磷和可溶性磷的排放,增加磷的储留,因此没有出现磷缺乏症^[28,51]; RUCHIMAT 等^[47]认为血液中的尿氮含量是评价蛋白源质量的重要指标,由于血液中的尿氮含量不受饲料中玉米蛋白粉含量的影响,因此从某种意义上讲,玉米蛋白粉也是黄尾鲈的优质蛋白源之一。但是在金头鲷(35 g)饲料中若玉米蛋白粉对鱼粉的替代量超过 40% 时,氮排泄就显著增加^[11]。

鉴于玉米蛋白粉影响水产动物的氮磷排泄,在确定玉米蛋白粉对鱼粉的适宜替代量时应兼顾玉米蛋白粉对养殖水环境的影响。

玉米蛋白粉对水产动物免疫功能的影响饲料中的不同蛋白源能够显著影响鱼类的免疫系统,从而使其免疫应答反应出现差异。BURRELLS 等^[52]研究发现,随大豆蛋白替代鱼粉蛋白水平的升高,虹鳟的吞噬指数和呼吸爆发活力显著下降。徐奇友等^[53]也发现随着大豆蛋白在饲料中的添加量加大,虹鳟的超氧化物歧化酶和溶菌酶的活性就越低。但是,凡纳滨对虾饲料中玉米蛋白粉使用量不超过 15% (替代 25.8% 鱼粉)时,不影响凡纳滨对虾抗病力及溶菌酶、超氧化物歧化酶活性^[4]。SITJA-BOBADILA 等^[54]对金头鲷的研究则认为当植物蛋白混合物(玉米蛋白占总干物质的 34%) 低于总蛋白源的 50% 时,可起到增强谷胱氨酸代谢和抗氧化作用,超过 75% 时免疫水平下降。

3 改善水产动物对玉米蛋白粉利用率的途径

3.1 添加诱食剂

在饲料中含有玉米蛋白粉往往会降低饲料的

适口性,添加诱食剂则可以促进水产动物对饲料的摄食量,AMAYA 等^[18]利用全植物蛋白(脱脂大豆粉,玉米蛋白粉等)饲养凡纳滨对虾,添加 1% 的鱿鱼粉作为诱食剂和必需营养源,促进了虾对饲料的摄食量,取得良好的生长效果。但是,传统的诱食剂种类繁多,而且不同的水产动物对诱食剂的喜好程度也不尽相同,因此增加了筛选诱食剂的难度。

3.2 平衡氨基酸

尽管对于水产动物能否真正利用游离氨基酸还存在争议,但是在玉米蛋白粉饲料中添加游离氨基酸起到了比较积极的效果。添加的游离氨基酸种类,较多地集中在赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、精氨酸、异亮氨酸和缬氨酸。

用脱脂豆粕、肉粉和玉米蛋白粉混合物替代 56%、78%、89% 和 100% 的鱼粉投喂 4 ~ 6 g 的鲤,结果表明,在不添加晶体氨基酸的情况下,当替代量为 56% 时,饲料效率和蛋白质效率与鱼粉组无显著差异,但随着替代量的增加,鱼体生长和饲料利用率明显受到负面影响。对 100% 替代组的研究发现,添加晶体赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸可以使生长和饲料效率恢复到鱼粉组的 90%^[55]。REGOST^[23]用玉米蛋白粉部分替代或完全替代鱼粉养殖大菱鲆(初重 65 g)时,添加精氨酸和赖氨酸可以有效提高这两种氨基酸的利用率。在遮目鱼(*Chanos chanos*)(初重 8 mg)饲料中添加晶体赖氨酸能促进鱼的生长,提高饲料转化效率,但是,添加其它种类的晶体必需氨基酸,没有起到积极的作用^[56]。在以玉米蛋白粉和鱼粉为蛋白源的半精制饲料中添加晶体精氨酸 2.6%,可使虹鳟对精氨酸的表观消化率由 92% 提高到 97.5%^[57]。

研究发现,当玉米蛋白为醇溶蛋白(zein)而且为唯一蛋白源时,不添加或少量添加异亮氨酸和缬氨酸,因为摄食量和氮储留下降,使得虹鳟鱼体生长减缓;而当玉米蛋白为谷蛋白(CGM)而且同时含有浸提大豆蛋白和肉骨粉时,添加适量的异亮氨酸和缬氨酸,虹鳟的生长、饲料效率和氮储留均与鱼粉组无显著性差异;不添加异亮氨酸和缬氨酸同样导致生长、饲料效率和氮储留的下降,而且游离异亮氨酸和缬氨酸在血浆、肝脏和肌肉中的浓度也显著低于鱼粉组。究其原因主要是因为玉米蛋白中含量较高的亮氨酸对其它氨基酸产

生了拮抗作用。通过在饲料中添加异亮氨酸和缬氨酸的方法可以使浓度恢复甚至超过鱼粉组^[58]。

4 展望

国外就玉米蛋白粉在水产饲料中的应用进行了大量研究,而且已经证明玉米蛋白粉是一种优质的植物蛋白源,可以部分甚至一定条件下完全替代饲料中的鱼粉。而玉米蛋白粉在我国大多用于畜禽饲料,在水产饲料中很少使用,还主要集中在淡水鱼饲料中,对甲壳动物和软体动物饲料的研究几乎无人问津,因此有必要再进一步对不同种类的水产动物进行比较研究;其次关于评价指标,已有的研究主要根据试验鱼的生长、饲料利用情况以及养殖成本来判断玉米蛋白粉能否替代鱼粉并确定适宜替代量,而对组织学、病理学、植物蛋白在体内的代谢情况、对养殖水环境的影响、对机体抗病免疫力和水产品风味影响的研究较少。因此,如何综合评价玉米蛋白粉在水产饲料中的使用效果仍是一个值得探讨的问题;第三,在饲料原料价格居高不下的形势下,研究玉米蛋白粉对其它动物蛋白源的替代也显得很有必要。

参考文献:

- [1] HALVER J E, HARDY R W. Fish Nutrition (Third edition) [M]. New York: Academy Press, 2002.
- [2] 周歧存, 麦康森, 刘永坚, 等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展 [J]. 水产学报, 2005, 29 (3): 404-410.
- [3] 翟瑞文. 玉米蛋白在食品工业中的应用 [J]. 广州食品工业科技, 1997, 13 (3): 39-41.
- [4] 韩斌, 华雪铭, 周洪琪, 等. 玉米蛋白粉替代部分鱼粉对凡纳滨对虾抗病力及非特异性免疫力的影响 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (8): 3566-3569.
- [5] 吴亚梅, 陈健, 李维锋. 玉米蛋白粉深加工应用的新进展 [J]. 现代食品科技, 2007, 23 (4): 97-100.
- [6] 张艳铭. 复合蛋白饲料替代豆粕饲喂蛋鸡作用效果的研究 [D]. 石家庄: 河北农业大学, 2006: 3-4.
- [7] 尤新一. 玉米深加工技术 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 9-15.
- [8] 张立彬. 复合蛋白饲料全豆粕替代物饲喂生长育肥猪作用效果的研究 [D]. 石家庄: 河北农业大学, 2006: 5-6.
- [9] 张锋斌, 李维平. 玉米蛋白粉的营养成分与应用 [J]. 畜牧兽医学杂志, 1998, 17 (4): 26-28.
- [10] 艾庆辉, 谢小军. 水生动物对植物蛋白源利用的研究进展 [J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35 (6): 929-935.
- [11] ROBAINA L, MOYANO F J, IZQUIERDO M S, et al. Corn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. Aquaculture, 1997, 157 (3-4): 347-359.
- [12] KIKUCHI K. Partial Replacement of fish meal with corn gluten meal in diets for Japanese Flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. World Aquacult Soc, 1999, 30: 357-363.
- [13] ENGIN K, CARTER C G. Fish meal replacement by plant and animal by-products in diets for the Australian short-finned eel, *Anguilla australis australis* (Richardson) [J]. Aquaculture Research, 2005, 36 (5): 445-454.
- [14] WU Y V, ROSATI R R, SESSA D J, et al. Evaluation of corn gluten meal as a protein source in tilapia diets [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43 (6): 1585-1588.
- [15] WU Y V, TUDOR K W, BROWN P B, et al. Substitution of plant proteins or meat and bone meal for fish meal in diets of Nile Tilapia [J]. North American Journal of Aquaculture, 1999, 61 (1): 58-63.
- [16] 程媛媛, 周洪琪, 华雪铭, 等. 玉米蛋白部分替代鱼粉对罗氏沼虾生长、氨基酸沉积率和肌肉营养成分的影响 [J]. 中国水产科学, 2009, 16 (4): 572-574.
- [17] 韩斌, 黄旭雄, 华雪铭, 等. 玉米蛋白部分替代鱼粉对凡纳滨对虾摄食量、生长和肌肉成分的影响 [J]. 水产学报, 2009, 33 (4): 658-665.
- [18] AMAYA E, DAVIS D A, DAVID B R. Alternative diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2007, 262: 419-425.
- [19] ELKIN A, Davis D A, DAVID B R. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions [J]. Aquaculture, 2007, 262: 393-401.
- [20] SHIMENO S, MASUMOTO T, HUIJITA T, et al. Alternative protein sources for fish meal in diets of young yellowtail [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1993, 59 (1): 137-143.
- [21] GONGNET G P, MEYER-BURGDORFF K H, Becker K, et al. Influence of various protein sources on protein digestion and metabolism of growing mirror carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. Revue de Medecine Veterinaire, 1996, 147 (1): 63-68.
- [22] UKI N, KEMUYANA A, WATANABE T.

- Nutritional evaluation of several protein sources in diets for abalone *Haliotis discus hannai* [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1985, 51(11): 1835-1839.
- [23] REGOST C, ARZEL J, KAUSHIK S J. Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diet for turbot (*Psetta maxima*) [J]. Aquaculture, 1999, 180(1-2): 99-117.
- [24] TAKAGI S, HOSOKAWA H, SHIMENO S, et al. Utilization of corn gluten meal in a diet for red sea bream *Pagrus major* [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 2000, 66(3): 417-427.
- [25] WATANABE T, AOKO H, SHIMAMOTO K, et al. A trial to culture yellowtail with non-fishmeal diets [J]. Fisheries Science, 1998, 64(4): 505-512.
- [26] 李升福. 玉米蛋白水解的研究及其产物的应用 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2002: 3-4.
- [27] El-Ebiary E H, Zaki M A, Mabrook H A. The use of corn gluten meal as a partial replacement for fish meal in diets of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fry [J]. Bull Natl Inst Oceanogr Fish, 2001, 27: 373-386.
- [28] DIAS J, ALVAREZ M J, ARZAL J, et al. Dietary protein source affects lipid metabolism in the European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Comp Biochem Physiol A: Mol Integr Physiol, 2005, 142(1): 19-31.
- [29] ARZEL J, REGOST C, KAUSHIK S J. Incorporation of plant protein sources in fish diet. (INRA-Ifremer Workshop on fish nutrition, Brest, 9-10 march 1999. Collected papers). Journees Nutrition des poissons INRA-Ifremer, Brest, 9-10 mars 1999 [C]. Recueil Des Communications, 1999, 5.
- [30] LINDSAY R C. Flavour of fish [M] // Shahidi F, Botta J R, Eds. Seafoods Chemistry, Processing Technology and Quality. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1994.
- [31] MORALES A E, CARDENETE G, DE IA HIGUERA M, et al. Effects of dietary protein source on growth, feed conversion and energy utilization in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture, 1994, 24: 117-126.
- [32] ROBINSON E H, LI M H, MANNING B B. Evaluation of corn gluten feed as a dietary ingredient for pond-raised channel catfish *Ictalurus punctatus* [J]. J World Aquacult Soc, 2001, 32(1): 68-71.
- [33] FRANCIS G, MAKKAR H P S, BECKER K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish [J]. Aquaculture, 2001, 199: 197-227.
- [34] SHOZO H S, FAYE M D, CINDRA K R, et al. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds [J]. Aquaculture, 1998, 159: 177-202.
- [35] ZHOU Q C, TAN B P, MAI K S, et al. Apparent digestibility of selected feed ingredients for juvenile cobia *Rachycentron canadum* [J]. Aquaculture, 2004, 241: 441-451.
- [36] LEE S M. Apparent digestibility coefficients of various feeding ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. Aquaculture, 2002, 207: 79-95.
- [37] KOPRUCU K, OZDEMIR Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquaculture, 2005, 250: 308-316.
- [38] SEAN M T, Milley J E, SANTOSH P L. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758) [J]. Aquaculture, 2006, 261: 1314-1327.
- [39] KISSIL G W M, LUPATSCH I. Replacement of fishmeal by plant protein sources in gilthead seabream (*Sparus aurata*) diets [J]. Israeli Journal of Aquaculture/Bamidgeh, 2003, 55(4): 239.
- [40] 韩斌, 周洪琪, 华雪铭. 凡纳滨对虾对玉米蛋白粉表观消化率的研究 [J]. 饲料工业, 2009, 30(4): 24-25.
- [41] BAI S C, CHOI S, KIM K, et al. Apparent protein and phosphorus digestibilities of five different dietary protein sources in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf) [J]. Aquaculture Research, 2001, 32(s1): 99-105.
- [42] MASUMOTO T, RUCHIMAT T, ITO Y, et al. Amino acid availability values for several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) [J]. Aquaculture, 1996, 146(1-2): 109-119.
- [43] 林仕梅, 罗莉. 草鱼对 17 种饲料原料粗蛋白和粗脂肪的表观消化率 [J]. 中国水产科学, 2001, 8(3): 59-64.
- [44] SALES J, BRITZ P. Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for South African abalone (*Haliotis midae* L.) [J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9: 55-64.
- [45] PEREIRA T G, OLIVA-TELES A. Evaluation of corn gluten meal as a protein source in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) juveniles [J].

- Aquaculture Research,2003,34(13):1111-1117.
- [46] SHIMENO S, MIMA T, IMANAGA T, *et al.* Inclusion of combination of defatted soybean meal, meat meal, and corn gluten meal to yellowtail diets [J]. Bull Jap Soc Sci Fish,1993,59:1889-1895.
- [47] RUCHIMAT T, MASUMOTO T, HOSOKAWA H, *et al.* Nutritional evaluation of several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) [J]. Bull Mar Sci Fish Kochi Univ,1997,17:69-78.
- [48] PONGMANEERAT J, WATANABE T. Nutritive value of protein of feed ingredients for carp *Cyprinus carpio* [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1991, 57 (3): 503-510.
- [49] MOYANO F J, CARDENETE G, HIGUERA M D. Nutritive and metabolic utilization of proteins with high glutamic acid content by the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1991,100:759-762.
- [50] 王银东,黄广明(译).水生动物中黄曲霉毒素的代谢及毒性研究(一)[J].中国畜牧杂志,2010,46(8):64-70.
- [51] BALLESTRAZZI R, LANARI D, D'AGARO E, *et al.* The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture,1994,127(2-3):197-206.
- [52] BURRELLS C, WILLAMS P D, SOUTHGATE P J, *et al.* Immunological, physiological and pathological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to increasing dietary concentrations of soybean proteins [J]. Veterinary Immunology and Immunopathology, 1999,72:277-288.
- [53] 徐奇友,李婵,杨萍,等.用大豆分离蛋白和肉骨粉代替鱼粉对虹鳟生产性能和非特异性免疫指标的影响[J].大连水产学院学报,2008,23(1):8-13.
- [54] SITJA-BOBADILLA A, PEÑA-LOPIS S, GÓMEZ-REQUENI P, *et al.* Effect of fish meal replacement by plant protein sources on non-specific defence mechanisms and oxidative stress in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. Aquaculture,2005,249:387-400.
- [55] PONGMANEERAT J, WATANABE T, TAKEUCHI T, *et al.* Use of different protein meals as partial or total substitution for fish meal in carp diets [J]. Bull Jap Soc Sci Fish,1993,59:1249-1257.
- [56] CHINU Y N, CAMACHOI A S, SASTRILLO M A S. Effect of amino acid supplementation and vitamin level on the growth and survival of milkfish (*Chanos chanos*) fry [M] // Meehan J L, Dizon L B and Hisillos L V, Eds. The First Asian Fisheries Forum. Asian Fisheries Society, Manila, 1986:543-546.
- [57] KAUSHIK S, LUQUET P. Study of the amino acids digestibility of zein diets in rainbow trout [J]. Ann HydrobiolInst Natl Rech Agron(Paris),1976,7(1):11-19.
- [58] YAMAMOTO T, SHIMA T, FURUTIA H. Antagonistic effects of branched-chain amino acids induced by excess protein-bound leucine in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture,2004,232,(1-4):539-550.

Study advance on corn gluten meal in aquatic feed

HUA Xue-ming, WANG Jun, HAN Bin, ZHOU Hong-qi^{*}, HUANG Xu-xiong,
CHEN Ran, CHENG Yuan-yuan, HU Pan

(*Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Resources Certificated by the
Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*)

Abstract: This paper introduces nutritional value of corn gluten meal (CGM), and reviews the effects of CGM on growth performance, palatability, apparent digestibility and balance of amino acids of the CGM or the feeds, body biochemical index, muscle composition and aquatic environment when the aquatic animals were fed with the diets containing CGM. The ways to improve the utilization of CGM by aquatic animals are also discussed. It should be further researched focusing on metabolism of CGM in different aquatic animals, effect of the replacement of fish meal by CGM on disease resistance, immunity and meat flavor. With rising raw material prices, the replacement of other animal proteins except fish meal by CGM will be of significance.

Key words: corn gluten meal; aquatic animals; utilization

Corresponding author: ZHOU Hong-qi. E-mail: hqzhou@shou.edu.cn