

# 大豆中主要抗营养因子对鱼类的影响<sup>\*</sup>

吴莉芳 秦贵信 朱丹 孙玲

(吉林农业大学动物科技学院, 长春 130118)

**摘要** 大豆来源广、营养价值高、是鱼类主要的蛋白质来源之一。但大豆中含有抗营养因子, 不仅会降低鱼类对饲料的利用率, 而且会影响鱼类的生长, 甚至引起鱼类大批死亡。本文对大豆中主要抗营养因子—蛋白酶抑制因子、大豆凝集素、植酸、大豆抗原的作用机理及对鱼类的影响进行了综述, 并提出今后研究的重点和意义。旨在为合理开发利用植物蛋白饲料源提供理论依据。

**关键词** 大豆; 抗营养因子; 鱼类; 影响

中图分类号 S565.1 S816.4 文献标识码 A 文章编号 1000-9841(2006)04-0450-04

鱼粉一直是水产饲料中不可缺少的优质蛋白源<sup>[1]</sup>。近年来, 随着集约化水产养殖业的发展, 鱼用人工配合饲料的应用也日渐广泛, 鱼粉的生产供不应求, 价格不断上升。蛋白质资源紧缺问题日趋严重。用植物蛋白代替鱼粉作为饲料原料, 能降低养殖生产成本, 减少环境污染, 使水产养殖业持续发展<sup>[2]</sup>。大豆具有消化吸收率高、氨基酸组成较好、价格合理和资源丰富等特点, 一直以来是鱼类饲料利用最多的植物蛋白源之一。但大豆中含有不同类型的抗营养因子(antinutritional factor), 如: 蛋白酶抑制因子(protease inhibitors)、大豆凝集素(soybean agglutinin)、植酸(phytic acid)、大豆寡糖(soybean oligosaccharide)、大豆抗原(soybean antigen)、致甲状腺肿因子(goitrogens)、单宁(tannins)、皂苷(saponins)、异黄酮(isoflavones)抗维生素因子(antivitamin factors)等。各种抗营养因子在大豆中含量各不相同, 且抗营养作用亦有差异。总体上看蛋白酶抑制因子、植物凝集素、植酸、大豆抗原等的抗营养作用强<sup>[3]</sup>。其中蛋白酶抑制因子是大豆中最主要的一类抗营养因子。这几种抗营养因子的存在, 不仅会降低饲料的利用率, 而且会影响鱼类的生长, 甚至引起鱼类大批死亡。笔者对大豆这几种主要抗营养因子的作用机理及对鱼类的危害进行了综述。旨在为合理开发利用植物蛋白饲料源提供理论依据。

## 1 蛋白酶抑制因子

### 1.1 蛋白酶抑制因子的定义和分类

蛋白酶抑制因子是指能和蛋白酶的必需集团发生化学反应, 从而抑制蛋白酶与底物结合, 使蛋白酶的活力下降甚至丧失的一类物质。蛋白酶抑制因子是大豆中最主要的一类抗营养因子。生大豆中的蛋白酶抑制因子的含量约为 30 g/kg。鱼类摄食含蛋白酶抑制因子的饲料后, 摄食量和日增重下降, 饲料转化率降低; 降低鱼类对饲料中干物质、蛋白质和氨基酸等营养物质的消化率; 并引起内脏器官生理机能的改变。根据相对分子质量和二硫键的含量可以分为 Kunitz 类、Bowman-Birk 类和 Kazal 类; 根据化学组成的差异, 可以将蛋白酶抑制因子分为蛋白质类蛋白酶抑制因子和非蛋白质类蛋白酶抑制因子; 根据其结构组成可分为 KTI(kunitz trypsin inhibitor)和 BBI(bowman-bird inhibitor)两大类。大豆中含有 1.4%的 KTI 和 0.6%的 BBI, KTI 主要抑制胰蛋白酶, 而 BBI 则同时抑制胰蛋白酶和胰凝乳蛋白酶。

### 1.2 蛋白酶抑制因子作用机理及对鱼类的危害

在水产动物营养中具有重要意义的蛋白酶抑制因子是 KTI 和 BBI 两类。对鱼类影响较大的主要是胰蛋白酶抑制因子。胰蛋白酶抑制因子是一种结晶球蛋白, 可以和胰蛋白酶形成稳定的复合物, 使蛋

\* 收稿日期: 2006-06-15

作者简介: 吴莉芳(1970-), 女, 博士研究生, 副教授, 研究方向水产动物营养与饲料科学。

通讯作者: 秦贵信教授, 博士生导师。

白酶失活,从而使饲料中的蛋白质的消化率降低,可利用氨基酸减少,导致生长抑制。胰蛋白酶抑制因子可引起胰腺分泌活动增强,导致胰蛋白酶和糜蛋白酶的过度分泌。由于这些蛋白质含有丰富的含硫氨基酸,因而可以使本来用于合成组织蛋白的氨基酸转而合成蛋白酶,并与抑制因子形成复合物而最终通过粪便排出体外,从而导致内源性氮和机体含硫氨基酸的大量流失。由于大豆中本来就缺乏含硫氨基酸,使饲料中氨基酸不平衡,从而阻碍了鱼类的生长。Krogdahl 等(1994)在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)饲料中添加纯化大豆胰蛋白酶抑制因子,降低肠道和肝胰脏蛋白酶的活性,降低蛋白质的消化率,从而影响生长<sup>[4]</sup>。Boonyaratpalin 等(1998)在亚洲尖鲈(*lates calcanifer*)的饲料中以生大豆粉替代 30% 的鱼粉蛋白,结果亚洲尖鲈的胰腺严重萎缩<sup>[5]</sup>。Escaffre AM (1997)对鲤鱼(*Cyprinus carpio*)的研究发现,随着大豆蛋白对鱼粉替代量的增加,肠道和肝胰脏蛋白酶的活性显著下降<sup>[7]</sup>。

## 2 大豆凝集素

### 2.1 凝集素的定义与分类

凝集素是自然界广泛存在的一大类能凝集细胞、多糖或糖复合物的非源于免疫反应的糖蛋白。目前已经发现至少有 800 多种植物中含有凝集素,其中 600 多种属于豆科植物。凝集素可以从不同的角度进行分类,按照凝集素的来源,可分为植物凝集素、动物凝集素、微生物凝集素和 BEA 类毒素等;按照凝集素与糖结合的特异性,粗略的分为五大类:对葡萄糖/甘露糖特异性结合的凝集素、对半乳糖/N-乙酰基半乳糖胺特异性结合的凝集素、对 L-岩藻糖特异性结合的凝集素、对壳二糖特异性结合的凝集素、对复杂型糖复合物特异性结合的凝集素。植物凝集素是发现最早也是研究最为深入的凝集素,多以糖蛋白形式存在于豆科籽实及其饼粕饲料中,虽然它的生物学活性可通过适当加热去除,但仍会有一些残留,对鱼类机体的代谢与调空产生一定的影响。大豆凝集素是最早被描述的植物凝集素之一。通常所说的大豆凝集素是指对 N-乙酰基 D-半乳糖胺/D-半乳糖有结合特异性、分子量约 120 KDa 的一类糖蛋白,是大豆的主要抗营养因子之一。能够使鱼类饲料利用率降低,生长缓慢,甚至产生毒性,影响免疫系统的功能。

### 2.2 大豆凝集素的作用机理及对鱼类的危害

大豆凝集素主要存在于子叶细胞的蛋白体内,约为大豆蛋白质总量的 3%<sup>[7]</sup>。不同大豆品种间凝集素的含量差异很大,低者仅含 1.97 mg/g(东农 42)<sup>[8]</sup>,高者达到 7.17 mg/g(辽鲜 1 号)<sup>[9]</sup>。Gatel(1992)报道,不同品种脱脂大豆粉凝集素含量的变化范围为 1600~3000 U/mg<sup>[10]</sup>。大豆凝集素的主要影响与它们和小肠壁的粘性结合有关,它将会影响小肠的上皮细胞,从而影响营养的吸收,造成消化酶活性的改变以及内源性蛋白质的大量分泌丢失,粘蛋白量增加等。秦贵信(2003)报道,多数植物凝集素可以和小肠壁上皮细胞表面特异受体(多糖)结合,破坏小肠刷状缘黏膜结构,干扰刷状缘黏膜多种酶的功能,使蛋白质利用率下降,动物生长受阻,甚至停滞<sup>[11]</sup>。此外,有毒的凝集素进入循环系统,引起特异的 IgG 凝集素抗体的产生。这些都使营养消化率降低,氮沉积减少,导致动物增重下降和饲料效率变低。总之,凝集素损坏小肠壁刷状缘黏膜结构,干扰刷状缘酶的分泌,抑制肠道营养物质的消化吸收,使蛋白质利用率下降,阻碍生长。Buttle 等(2001)分别用含有 3.5%大豆凝集素和含高水平的(60%)大豆蛋白的饲料饲喂虹鳟、大西洋鲑(*Salmo salar* L),使鱼类肠道出现病理性变化。饲喂含 3.5%大豆凝集素饲料组的大西洋鲑的后肠绒毛完整性明显破坏,表现为黏膜脱落到肠腔内,细胞浸润到固有层,大豆凝集素结合到小肠绒毛的上皮细胞上。对饲喂含 60%大豆蛋白的虹鳟后肠进行相似处理,对照组沿肠上皮细胞层分布着相似大小的吸收泡,试验组则液泡大小不规则,且为半液泡形态。对照组切片大豆凝集素特异免疫染色明显消失,试验组染色明显可见。此外,绒毛尖端附近的上皮细胞染色更强,说明了刷状缘膜分解以及从绒毛尖端黏膜脱落到肠腔里<sup>[12]</sup>。Burrells C P D 等(1999)在虹鳟饲料中添加一定量的大豆蛋白,使鱼后肠绒毛上皮形态结构发生变化,粘膜固有层加深加宽,粘膜褶皱变短,产生粘膜炎症反应,刷状缘的酶活性降低<sup>[13]</sup>。

## 3 植酸

### 3.1 植酸的抗营养作用

植酸又名肌醇六磷酸其化学名称为环己醇六磷酸酯。是植物体中有机磷的主要存在形式,由于其本身的结构特点和它很强的螯合性,以植酸盐形式存在的磷不能被鱼类利用。而且植酸还影响其他养

分的利用。植酸的抗营养作用主要表现在降低矿物元素的利用率,对蛋白质的消化率也有一定的影响。

### 3.2 植酸的作用机理及对鱼类的危害

植物体中平均 70% 的磷是以植酸磷的形式存在。在大多数油籽和豆科植物中占干物质的 1% ~ 5%,大豆中总磷含量 4.9g/kg,非植酸磷含量 1.3g/kg,植酸磷含量 3.6g/kg<sup>[14]</sup>。由于植酸磷本身的结构特点和它很强的螯合性,以植酸盐形式存在的磷不能被鱼类利用。而且植酸还影响其他养分的利用。植酸可以与二价( $Zn^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ )或三价( $Fe^{3+}$ )金属离子发生螯合反应,生成不溶性络合物,因此,降低了这些金属离子的生物学效价。植物还能直接或间接与蛋白质分子形成三元复合物。植物盐也影响消化酶的活性,降低营养物质的消化率。吉红(1999)在化学成分确定的饲料中添加 0.5% 植酸饲喂虹鳟,其生长和饲料系数降低了 10%。但对锌的吸收并没有明显的影响<sup>[15]</sup>。在含有 50% 豆饼粉的沟鲢饲料中锌的添加量应增加到正常生长的 5 倍。

## 4 大豆抗原

### 4.1 大豆抗原的定义和分类

大豆蛋白质约占大豆籽粒的 40%,其中 95% 是球蛋白,其余是清蛋白。根据沉降系数,大豆蛋白可分为 2S、7S、11S、15S 组分。大豆抗原是指大豆中能引起动物过敏反应的一些抗原性蛋白质。大豆蛋白质中存在四种抗原蛋白,即大豆球蛋白(glycinin),和  $\alpha$ - $\beta$ -和  $\gamma$ -伴大豆球蛋白(conglycinin)。其中大豆球蛋白占 40%, $\beta$ -伴大豆球蛋白占 30%, $\alpha$ -伴大豆球蛋白占 15%,而  $\gamma$ -伴大豆球蛋白仅占 3%。这四种蛋白都具有免疫原性,但以大豆球蛋白和  $\beta$ -伴大豆球蛋白的免疫原性最强。

### 4.2 大豆抗原的作用机理及对鱼类的危害

大豆抗原蛋白的抗营养作用主要有:降低饲料蛋白质的利用率;由于活化免疫系统而提高了维持需要;增加内源蛋白质的分泌,导致粪氮增加;有些敏感动物会出现过敏反应,导致腹泻、生产性能下降甚至死亡。大豆抗原蛋白引起过敏反应造成的免疫损伤主要在肠道。关于大豆抗原蛋白对鱼类肠道致敏机制的研究较少,且很不深入。鱼类饲料中大豆蛋白替代量增加到一定程度,大豆中热稳定的大豆抗原也可以损伤消化器官的结构。Refstie S 等(2001)、Krogdahl A 等(2003)、Ksudhik S 等(2004)分别虹鳟、大西洋鲑、欧洲真鲈的饲料中添加一定量

的大豆蛋白,使鱼后肠绒毛上皮结构发生形态变化,黏膜褶皱缩短,黏膜固有层加深加宽,产生肠黏膜炎症反应,使得刷状缘的酶活性降低<sup>[16~18]</sup>。张锦秀(2003)研究发现:当大豆分离蛋白(SPI)和去皮豆粕(DSBM)替代鱼粉的比例分别达到 60% 和 50% 后,幼建鲤前、后肠上皮结构和细胞结构破坏,后肠破坏程度更严重<sup>[19]</sup>。

此外,影响鱼类摄食、代谢、生长的抗营养因子还包括大豆寡糖、致甲状腺肿因子、单宁、皂苷、异黄酮、抗维生素因子等。Anderson J S 等(1997)报道大豆粉中的皂苷会降低饲料的适口性,影响鱼类的食欲,降低鱼类的生产性能。Kaushik 等(1995)报道大豆粉中的异黄酮对鱼类有毒害作用<sup>[20]</sup>。

鱼粉是水产饲料中传统的主要蛋白源<sup>[21]</sup>。鱼粉具有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等特点。世界上不少地区的精养渔业都将鱼粉作为主要的蛋白源<sup>[22]</sup>。饲料费用占鱼类养殖成本的 50% 左右<sup>[23~25]</sup>。其中鱼粉是最昂贵的蛋白原料之一。随着集约化水产养殖业的发展,鱼粉的需求量剧增,由于受全球性的酷捕滥获、厄尔尼诺现象及环境污染等的影响,鱼粉的产量逐年下降。另外,鱼粉含磷较高,而大多数鱼对鱼粉中磷的利用率很低,未被吸收的磷随残饵和粪便进入养殖水体,导致水体的富营养化。因此,无公害饲料原料的开发特别是植物性蛋白源的开发与利用十分紧迫。大豆蛋白源是优质的植物蛋白源之一,但大豆中含有抗营养因子对鱼类的健康养殖有一定的影响。目前,国内外水产工作者虽然做了大量的研究。但尚有一些需进一步研究的问题。如:大豆蛋白源替代鱼粉的饲料中各种主要抗营养因子含量的检测方法;不同种属鱼类对主要抗营养因子敏感性的比较及作用机理;比较饲料中主要抗营养因子对不同食性鱼类生长的影响;对消化道组织学的影响;对免疫机制的影响等。虽然国内外学者大量报道了大豆蛋白源在不同种鱼类饲料中适宜替代水平及大豆抗营养因子鱼类对生长的影响问题。但是具体是哪种抗营养因子引起的目前尚不清楚。因此,尚需进一步研究。

## 参 考 文 献

- 1 周歧存, 袁康森, 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.
- 2 王吉桥, 包鹏云, 李文宽. 鱼饲料中植物原料抗营养因子的研究 [J]. 大连水产学院学报, 2004, 19(3): 208-217.

- 3 李德发. 大豆抗营养因子[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
- 4 Krogdahl A, Lea T B, olli J. Soybean proteinase inhibitors affect intestinal trypsin activities and amino acid digestibilities in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1994A, 107: 215—219.
- 5 Boonyaratpalin M, suraneiranat P, Tunpibal T. Replacement of fish meal with varioustypes of soybean produces in diets for the Asian seabass, *lates calcarifer* [J]. *Aquaculture*, 1998, 161: 67—78.
- 6 Escaffre A M, Infante J Z. Nutritional value of soy protein concentrate for larvae of common carp (*Cyprinus carpio*) based on growth performance and digestive enzyme activities [J]. *Aquaculture*, 1997, 153: 63—80.
- 7 Hymowitz T. Anti-nutritional factors in soybeans: genetics and breeding [C]. In: Shibles R, ed. Proc. World Soybean Research Conference III, 1984, 368—372.
- 8 杨丽杰, 李素芬, 张永成, 等. 黑龙江几个大豆品种中抗营养因子含量分析 [J]. *大豆科学*, 1999, 18(10): 77—80.
- 9 李振田. 大豆凝集素的检测、纯化和对大鼠的抗营养作用及机理研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- 10 Gatel F. Protein quality of legume seeds for monogastric animals [C]. In: Proc. 1st Eus. Conf. grain legumes. Anger; European Association for Grain Legume Research, 1992, 461—473.
- 11 秦贵信. 饲料抗营养因子及其消除方法 [J]. *国外畜牧学——猪与禽* [J]. 2003, 23(3): 10—13.
- 12 Buttle L G, Burrells A. C., JGood J. E. et al. The binding of soybean agglutinin (SBA) to the intestinal epithelium of Atlantic salmon, *Salmo salar* and Rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, fed high levels of soybean meal. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 2001, 80: 237—244.
- 13 Burrells C P D, Williams P J, Southgate V O, et al. Immunological, Physiological and pathological response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to increasing dietary concentrations of soybean proteins [J]. *Vet Immunol Immunopathol*. 1999, 72: 277—288.
- 14 贺建华. 植酸磷和植酸酶研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2005, 17(1): 2—7.
- 15 吉红. 鱼用植物性蛋白饲料的抗营养因子 [J]. *水利渔业*, 1999, 19(4): 22—24.
- 16 Refstia S., Storebakken, T., Baeverfjord, G., Roem, A. J., Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level [J]. *Aquaculture*, 2001, 193, 91—106.
- 17 Ksudhik S J, Coves D, Dutto G. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass *Dicentrarchus Labrax* [J]. *Aquaculture*, 2004, 230: 391—404.
- 18 Krogdahl A M, Bakke M, Baeverfjord G. Effects of graded levels of standard soybean meal on intestinal structure, mucosal enzyme activities, and pancreatic response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2003, 9: 361—371.
- 19 张锦绣. 大豆蛋白源对幼建鲤生长性能及肠道免疫的影响 [D]. 四川: 四川农业大学, 2003.
- 20 Kaushik, S. J., Cravedi, J. P., Lalles, J. P. et al. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic of antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1995, 133, 257—274.
- 21 杨勇, 解绶启, 刘健康. 鱼粉在水产饲料中的应用研究 [J]. *水产学报*, 2004, 28(5): 573—578.
- 22 Tacon A G. Feed ingredients for warmwater fish; meal and other processed feedstuffs [R]. FAO Fisheries Circular No865. 1994, FAO Rome.
- 23 Halver J E, Hardy R W. Fish Nutrition (Third edition) [M]. New York: Academy Press. 2002.
- 24 El-Sayed A-F M. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia *Oreochromis* spp [J]. *Aquaculture*, 1999, 179: 149—168.
- 25 Nengas I, Alexia M N, Davies S J. High inclusion levels of poultry meals and related byproducts in diets for gilthead seabream *Sparus aurata* L [J]. *Aquaculture*, 1999, 179: 13—23.

## EFFECTS OF MAIN ANTINUTRITIONAL FACTORS IN SOYBEAN ON FISH

Wu Lifang Qin Guixin Zhu Dan Sun Ling

(College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118)

**Abstract** The soybean sources are abundant, it's nutritional value is high, It is one of fish main protein source. But there are many anti-nutritional factors in the soybean. It not only can reduce the use rate of fish to the feed, even cause fish large quantities of death. So this article discuss the main anti-nutritional factor protease inhibitor. Soybean agglutinin, phytic acid, antigenic protein action mechanism and the effects on fish and propose the next research key point and the significance. The purpose was to provid the theory basis for the reasonable development and use the albumen feed.

**Key words** Soybean; Anti-nutritional factors; Fish; Effect