

水解鱼蛋白营养组成及评价

王新星¹ 孔凡华² 许团辉² 高湘萍³ 梁萌青^{1*} 郑珂珂¹ 常青¹

(¹ 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室, 266071)

(² 大连海洋大学生命学院, 116023)

(³ 青岛海洋地质研究所, 266071)

摘要 利用分析化学方法对水解鱼蛋白、经超滤的水解鱼蛋白、鱼粉、酪蛋白、豆粕的营养成分进行了分析、评价。结果表明,经超滤的水解鱼蛋白的蛋白质含量显著高于未经超滤的水解鱼蛋白的蛋白质含量($P < 0.05$),超滤减少了水解鱼蛋白的脂肪含量,增加了水解鱼蛋白的灰分含量;水解鱼蛋白、经超滤的水解鱼蛋白、鱼粉、酪蛋白、豆粕氨基酸总量依次为 62.24、62.34、50.78、74.33、37.36 mg/100 mg,必需氨基酸占总氨基酸的比值(EAA/TAA)依次为 47.41%、49.47%、49.90%、48.41%、49.25%;水解鱼蛋白含有丰富的牛磺酸;水解鱼蛋白和鱼粉含有丰富的碘和硒;水解鱼蛋白和鱼粉中维生素 B₂ 和 B₅ 含量较为丰富。水解鱼蛋白具有平衡的氨基酸组成,较高水平的牛磺酸和维生素 B₂、B₅、丰富的微量元素碘和硒,是优质的蛋白原料。

关键词 水解鱼蛋白 氨基酸 牛磺酸 营养成分

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)03-0104-07

Evaluation on the nutritional composition of fish protein hydrolysate

WANG Xin-xing¹ KONG Fan-hua² XU Tuan-hui² GAO Xiang-ping³
LIANG Meng-qing^{1*} ZHENG Ke-ke¹ CHANG Qing¹

(¹ Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences,

Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, 266071)

(² College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, 116023)

(³ Qingdao Institute of Marine Geology, 266071)

ABSTRACT Nutritional compositions of fish protein hydrolysate (FPH), ultramembrane filtered fish protein hydrolysate (UF) FPH, fishmeal, casein, and soybean meal were analyzed and compared in this study. The results showed that the content of protein in ultramembrane filtered fish protein hydrolysate was significantly higher than that in fish protein hydrolysate without ultrafiltration. The lipid content in fish protein hydrolysate was reduced by ultrafiltration and the ash content was increased. The total amino acid in fish protein hydrolysate, ultramembrane filtered fish protein hydrolysate, fishmeal, casein, and soybean meal were 62.24, 62.34, 50.78, 74.33, 37.36 mg/100mg, respectively, and the percentage of essential amino

国际科技合作项目(2008DFA31720)、国家自然科学基金项目(30771660)、公益性行业(农业)科研专项(nyhyzx07-046-鲆鲽)、中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费专项资金项目共同资助

* 通讯作者。E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85822914

收稿日期: 2010-10-26; 接受日期: 2010-12-14

作者简介: 王新星(1985-), 女, 硕士, 主要从事水产动物营养与分析化学方面的研究。E-mail: xxtt510@163.com, Tel: (0532)85822914

acids to the total amino acids (EAA/TAA) were 47.41%, 49.47%, 49.90%, 48.41%, 49.25%, respectively. Taurine is rich in fish protein hydrolysate. Fish protein hydrolysate and fishmeal also have abundant iodine, selenium and vitamin B₂, B₅. In conclusion, fish protein hydrolysate is a high-quality protein material with balanced amino acids, relatively high contents of vitamin B₂ and B₅, and abundant microelements of iodine and selenium.

KEY WORDS Fish protein hydrolysate Amino acid Taurine Nutrient composition

水解鱼蛋白是富含低分子寡肽的一类蛋白产品,通过鱼体内源蛋白酶、内切型或外切型商品蛋白酶限定性酶解获得。近年来,各国学者已就饲料中水解鱼蛋白对大西洋鲑、虹鳟、金鱼、罗非鱼、鲤鱼幼体及鲈鱼生长的影响进行了研究(Dabrowska *et al.* 1979; Hardy 1991; Kotzamanis *et al.* 2007; Day *et al.* 1997; Cahu *et al.* 1999; Liang *et al.* 2006; 雷光高等 2008)。研究表明,这些低分子水解鱼蛋白不仅具有可以与低温生产的优质鱼粉蛋白相媲美的特性(高消化率和吸收率),还具有优质鱼粉所不具备的其他生理活性,如显著的诱食和促生长作用,以及某些非特异性免疫功能(Hardy 1991)。Day等(1997)发现塞内加尔鳕幼鱼的饲料鱼粉蛋白被水解蛋白完全替代时,其成活率得到改善。Zambonino等(1997)研究表明,饲料中添加20%二肽、三肽丰富的水解蛋白与不添加及添加40%的相比能显著提高尖吻鲈幼体的成活率。Cahu等(1999)发现,用25%的水解蛋白替代鱼粉,能促进尖吻鲈幼体的发育,促进生长,而当水解蛋白的替代量达到50%和75%时则会导致幼体生长率下降。Carvalho等(2004)证明,微颗粒饲料中水解酪蛋白的组成及溶解性对鲤鱼幼体的生长有重要作用。Tonheim等(2005)发现,利用预先消化的低分子蛋白对大西洋庸鲽蛋白质的利用是有益的。Espe等(1999)报道,以15%水解鱼蛋白替代鱼粉能明显改善大西洋鲑幼鱼和成鱼的生长,通过对肌肉中示踪赖氨酸的测定显示,大西洋鲑鱼体内蛋白质合成率并未受到添加可溶性水解鱼蛋白的影响,而大西洋鲑生长性能的改善可能是由于可溶性水解鱼蛋白促进了鱼体蛋白沉积率或蛋白代谢效率等原因造成的。Refstie等(2004)发现,饲料中10%~15%的鱼粉被水解蛋白替代时,大西洋鲑的生长性能获得提高。Aksnes等(2006 a、b)发现,低分子量水解蛋白组分是维持大西洋鲑、虹鳟等肉食性鱼在饲喂高植物蛋白饲料条件下正常生长和饲料转化效率所必不可少的成分。

综合国内外学者的现有研究结果,富含低分子寡肽的水解鱼蛋白具有可以与低温生产的优质鱼粉蛋白相媲美的特性,但究竟是什么成分在起作用目前还不清楚。本文分析了水解鱼蛋白及几种蛋白源的营养成分,以为蛋白源的替代提供理论和技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验于2010年8月进行,鱼粉、豆粕取自山东青岛金海力水产饲料公司。酪蛋白为生化试剂,由奥博兴生物技术有限公司生产。3种原料各取样200 g。

1.2 水解鱼蛋白的制备

利用Alcalase 2.4 L水解鱼蛋白酶+Flavourzyme 500 MG复合风味蛋白酶酶解技术制取水解鱼蛋白(王家林等 2006)。鲑鱼下脚料经搅碎、称重后,按1:1.25的比例加入去离子水,高速组织捣碎机匀浆,加入0.5%的Alcalase 2.4 L水解鱼蛋白酶,置于55℃的水浴锅中,并调节pH至6.5,混合搅拌均匀,水解24 h,然后加入1.7%的Flavourzyme风味蛋白酶,水解6 h。酶解结束后,将水解液加热至95℃,灭酶15 min,过滤,所得滤液即为水解产物。水解鱼蛋白经Pellicon 2超滤膜堆装置PLAC(100 K)进行超滤,透过部分为超滤水解蛋白。

工艺流程:鲑鱼碎肉→解冻→绞碎→酶解→过滤→水解鱼蛋白→冷冻干燥→水解鱼蛋白粉。取水解鱼蛋白
└→超滤(100kDa)→冷冻干燥→超滤水解鱼蛋白粉

白粉及超滤水解蛋白粉各 200 g 以备分析。

1.3 化学分析方法

营养成分的测定参照国家有关标准进行。水分测定:按 GB/T 5009.3-2003;灰分测定:按 GB/T 5009.4-2003;蛋白质测定:按 5009.3-2003;粗脂肪测定:按 GB/T 5009.6-2003;氨基酸经 6 mol/L 盐酸处理,氨基酸自动分析仪测定(835-50 型,日立公司,日本),GB/T 18246-2000。由于酸水解破坏了样品中的色氨酸,故色氨酸单独测定。色氨酸测定采用分光光度计法,依据标准 NY/T 57-87。称取 40 mg 试样,置于 20 ml 具塞刻度玻璃试管中,加 1.0 ml 10% 氢氧化钾,振摇,样品全部湿润后,放入 40 °C 培养箱中水解 16~18 h。从培养箱中取出试管冷至室温后加 0.2 ml 5% 对二甲胺基甲醛,摇匀,加 0.2 ml 1% 硝酸钠,摇匀。将试管置于冰水中,再加 5.0 ml 浓盐酸。取出试管,强烈振摇后置于 40 °C 培养箱中显色 45 min(温度升到 40 °C 时记时)。取出试管冷至室温后,用水稀释至刻度,摇匀。以 4 000 r/min 离心 10 min,取上清液比色。常量及微量元素测定经干法处理,ICP-OES 发射光谱测定(Vista-Npx 型,VARIAN 公司,美国)(刘福纯等 1995)。维生素 B₁测定:按 GB/T 12390-1990;维生素 B₂测定:按 GB/T 14701-1993;维生素 B₅测定:按 GB/T 5413.17;维生素 B₆测定:按 GB/T 14702-1993。

1.4 统计分析

用 SPSS 13.0 统计软件对测定指标进行方差分析、多重比较和相关性分析。数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示,显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 一般化学成分分析

水解鱼蛋白及各组蛋白源的一般化学成分见表 1。由表 1 可见,不论是经过超滤还是未经超滤的水解鱼蛋白的蛋白质含量均较高,分别达到 85.5% 和 82.9%,超滤水解鱼蛋白的蛋白质含量显著高于未经超滤的水解鱼蛋白的蛋白质含量($P < 0.05$)。另外,由表 1 可见,超滤减少了水解鱼蛋白的脂肪含量;超滤水解鱼蛋白的灰分含量增加,由 102.5% 增加至 122%,这可能是由于超滤消除了分子量 100 000 Dalton 的限制,致使灰分含量增加。与鱼粉、酪蛋白等常用蛋白源相比,水解鱼蛋白的蛋白质含量显著高于鱼粉及豆粕($P < 0.05$),低于酪蛋白;脂肪含量与酪蛋白及豆粕无显著性差异($P > 0.05$),而低于鱼粉($P < 0.05$);灰分含量高于酪蛋白和豆粕,低于鱼粉($P < 0.05$)。

表 1 水解鱼蛋白及各组蛋白源的一般化学成分

Table 1 Proximal chemical composition of FPH, (UF)FPH, fishmeal, casein, and soybean meal (g/100g dry weight)

	水解鱼蛋白 FPH	水解鱼蛋白(超滤) (UF)FPH	鱼粉 Fishmeal	酪蛋白 Casein	豆粕 Soybean meal
干物质 Dry matter	92.4 ± 2.32	92.5 ± 2.56	90.8 ± 1.02	91.2 ± 1.19	89.5 ± 1.05
蛋白质 Protein	82.9 ± 1.05 ^c	85.5 ± 0.98 ^b	64.3 ± 0.80 ^d	87.9 ± 1.03 ^a	45.5 ± 0.50 ^e
脂肪 Lipid	1.02 ± 0.02 ^b	未检出 Not detected	8.98 ± 0.56 ^a	0.7 ± 0.02 ^b	1.0 ± 0.05 ^b
灰分 Ash	10.25 ± 0.35 ^c	12.2 ± 0.54 ^b	17.4 ± 1.08 ^a	3.3 ± 0.65 ^e	6.0 ± 1.00 ^d

注:所有数值为平均值±标准差($n=3$)。表中同行不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Data in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

2.2 水解鱼蛋白及各组蛋白源的氨基酸分析

水解鱼蛋白及各组蛋白源的氨基酸组成如表 2。酪蛋白氨基酸总量最高,显著高于其他各组($P < 0.05$),其次为水解鱼蛋白、鱼粉,豆粕的氨基酸总量最低。对比表 1 和表 2 可见,鱼粉的蛋白质含量为 64.3%,而氨

基酸总量仅为 50.78%，这可能是由于鱼粉的质量较差，含有一定数量的非蛋白氮造成的。超滤水解鱼蛋白与未经超滤的水解鱼蛋白的氨基酸组成及氨基酸总量没有显著变化，个别氨基酸除外，这说明超滤没有影响水解鱼蛋白的氨基酸总量。酪蛋白必需氨基酸总量最高，占 35.98%，超滤水解鱼蛋白和未经超滤的水解鱼蛋白二者之间没有显著性差异($P>0.05$)，但显著高于鱼粉和豆粕($P<0.05$)。作者认为水解鱼蛋白中必需氨基酸总量不是很高，部分原因是因为在酶解过程中蛋白酶切断肽键的能力是由粗原料和酶的相互作用大小而决定的，而必需氨基酸中异亮氨酸、缬氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和蛋氨酸为疏水性的(Kyte *et al.* 1982)，这些疏水性氨基酸大部分存在于疏水组分中，进入疏水组分的蛋白酶是有限的，因此大部分的游离异亮氨酸、缬氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和蛋氨酸可能在不溶性水解鱼蛋白中(Chothia 1974,1975)。水解鱼蛋白中色氨酸的含量较低，可能的解释是在不溶性水解鱼蛋白中的色氨酸含量较高，另一方面，在水解过程中热、氧气、光等因素加速了色氨酸的氧化，致使水解鱼蛋白中的部分色氨酸遭到破坏，如酶解过程，粗原料、氧气、酶及水的搅动以及最后终止酶解的加热，这些因素均能造成水解鱼蛋白色氨酸的破坏(Lee *et al.* 1988; Cuq *et al.* 1983; Holt *et al.* 1977; Kanner *et al.* 1987)。

表2 水解鱼蛋白及各组蛋白源的氨基酸组成

Table 2 Amino acid composition of FPH, (UF)FPH, fishmeal, casein, and soybean meal (mg/100mg)

氨基酸 Amino acid	水解鱼蛋白 FPH	水解鱼蛋白(超滤) (UF)FPH	鱼粉 Fishmeal	酪蛋白 Casein	豆粕 Soybean meal
天门冬氨酸 Asp	6.59±0.3 ^a	6.52±0.2 ^a	3.41±0.12 ^d	4.89±0.2 ^b	4.00±0.15 ^c
苏氨酸 Thr*	2.78±0.1 ^a	2.84±0.1 ^a	2.40±0.1 ^b	2.85±0.12 ^a	1.59±0.08 ^c
丝氨酸 Trp	2.73±0.1 ^b	2.70±0.1 ^b	2.27±0.1	3.96±0.13 ^a	1.81±0.1 ^c
谷氨酸 Glu	13.71±0.5 ^b	13.66±0.4 ^b	9.01±0.3 ^c	19.07±0.5 ^a	8.34±0.2 ^c
甘氨酸 Gly	3.35±0.1 ^b	3.38±0.1 ^b	3.81±0.1 ^a	1.83±0.1 ^c	1.74±0.1 ^c
丙氨酸 Ala	2.33±0.1 ^a	2.32±0.1 ^a	2.20±0.1 ^b	1.53±0.1 ^c	1.33±0.1 ^d
缬氨酸 Val*	3.70±0.1 ^b	3.78±0.1 ^b	3.10±0.12 ^c	5.39±0.2 ^a	2.17±0.1 ^d
蛋氨酸 Met*	1.34±0.1 ^a	1.36±0.1 ^a	0.85±0.05 ^c	1.21±0.08 ^b	0.83±0.05 ^c
异亮氨酸 Ile*	2.59±0.1 ^b	2.52±0.12 ^b	2.30±0.31 ^c	3.56±0.45 ^a	1.73±0.10 ^d
亮氨酸 Leu*	5.07±0.25 ^b	4.98±0.31 ^b	4.05±0.28 ^c	6.92±0.65 ^a	2.76±0.21 ^d
酪氨酸 Tyr	2.00±0.15 ^b	2.05±0.32 ^b	1.54±0.12 ^c	4.37±0.45 ^a	1.35±0.14 ^d
苯丙氨酸 Phe*	2.50±0.21 ^b	2.48±0.26 ^b	2.23±0.32 ^c	3.91±0.12 ^a	2.46±0.19 ^b
赖氨酸 Lys*	5.81±0.22 ^a	5.83±0.32 ^a	3.85±0.27 ^b	5.87±0.22 ^a	2.38±0.18 ^c
组氨酸 His*	1.14±0.012 ^c	1.11±0.11 ^c	2.48±0.15 ^a	1.67±0.14 ^b	0.74±0.02 ^d
精氨酸 Arg*	3.97±0.45 ^a	3.99±0.37 ^a	3.58±0.32 ^b	3.54±0.35 ^b	3.02±0.22 ^c
色氨酸 Trp*	0.61±0.01 ^b	0.59±0.02 ^b	1.20±0.56 ^a	1.06±0.45 ^a	1.02±0.31 ^a
脯氨酸 Pro	1.08±0.12 ^b	1.01±0.12 ^c	1.16±0.08 ^b	3.76±0.16 ^a	1.11±0.12 ^b
牛磺酸 Tau	0.94±0.12 ^c	1.22±0.15 ^b	1.34±0.14 ^a	未检出 Not detected	未检出 Not detected
必需氨基酸 EAA	29.51±1.05 ^b	30.84±1.22 ^b	25.34±0.87 ^c	35.98±1.14 ^a	18.40±0.88 ^d
必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA	47.41±1.06	49.47±0.32	49.90±0.38	48.41±0.51	49.25±0.35
非必需氨基酸 NEAA	32.22±1.23 ^b	31.50±1.15 ^b	25.44±1.06 ^c	38.35±1.17 ^a	18.96±0.78 ^d
EAA/NEAA	91.59±0.65 ^c	97.90±0.92 ^b	99.61±0.78 ^a	99.61±0.66 ^a	97.05±0.88 ^b
氨基酸总量 TAA	62.24±1.25 ^b	62.34±0.97 ^b	50.78±1.06 ^c	74.33±1.13 ^a	37.36±1.85 ^d

注: * 为必需氨基酸。所有数值为平均值±标准差(n=3)。表中同行不同字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: * ;Essential amino acid. Data in the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

根据 FAO/WHO 的理想模式,质量较好的蛋白质其组成氨基酸中必需氨基酸占总氨基酸的比值为 40% 左右,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值在 60% 以上(冀德伟等 2009)。由表 2 可见,水解鱼蛋白、鱼粉、酪蛋白及豆粕的氨基酸组成的几项指标均符合上述要求,为质量较好的蛋白质。

牛磺酸(Taurine)又称 α -氨基乙磺酸,最早由牛磺中分离出来,是一种含硫的非蛋白氨基酸,在体内以游离状态存在,不参与体内蛋白的生物合成。牛磺酸虽然不参与蛋白质合成,但它却与胱氨酸、半胱氨酸的代谢密切相关(Huxtable 1992)。本研究中,鱼粉中的牛磺酸含量最高,显著高于超滤水解鱼蛋白和未经超滤的水解鱼蛋白($P<0.05$),这可能是由于在水解过程中不溶于水的组分中尚有一部分牛磺酸。据报道,由大西洋鲑鱼排制备的水解蛋白其牛磺酸含量是鲱鱼粉的近 10 倍(Picone 1987),这与本研究的结果不一致。超滤水解鱼蛋白的牛磺酸含量显著高于其在未经超滤的水解鱼蛋白中的含量($P<0.05$),可能的原因是牛磺酸属于小分子化合物,在超滤时能透过膜,从而使其在超滤水解鱼蛋白中的含量增加。酪蛋白及豆粕中未检出牛磺酸,这是由于植物蛋白通常缺乏牛磺酸(Huxtable 1992),牛奶中虽含有牛磺酸(Erbersdobler *et al.* 1984),然而酪蛋白通过盐析过程,从水环境中移走,很少一部分牛磺酸在沉淀物酪蛋白中,大部分的牛磺酸在可溶的乳清层中(Pasqualone *et al.* 2003)。鱼粉和水解鱼蛋白中富含甘氨酸,是水产动物重要的诱食剂(Aksnes *et al.* 2006b)。植物蛋白和海洋蛋白源在微量营养成分、氨基酸及矿物质组成方面存在很大差异,一些小分子化合物在动物生长和饲料利用方面起重要作用,如牛磺酸及一些组氨酸链接肽的鹅肌肽肌酐等,海洋及动物性饲料原料富含这些化合物,而植物蛋白缺乏这类化合物(Huxtable 1992)。这与本文的分析结果一致。

2.3 水解鱼蛋白及各组蛋白源的矿物元素含量

水解鱼蛋白及各组蛋白源的矿物质含量见表 3。钾和钠这两种水溶性离子在水解鱼蛋白中含量较高,高于鱼粉($P<0.05$),而鱼粉的钾和钠的含量水平显著高于酪蛋白及豆粕($P<0.05$)。豆粕中钾的含量水平较高,显著高于酪蛋白($P<0.05$),酪蛋白的钾含量水平最低,豆粕的钠含量最低。水解鱼蛋白的钠钾比为 0.92~0.94,鱼粉为 0.97,酪蛋白为 15.33,豆粕为 0.002。

表 3 水解鱼蛋白及各组蛋白源的矿物质含量

Table 3 Content of some minerals in FPH, (UF)FPH, fishmeal, casein, and soybean meal (mg/kg)

矿物质 Mineral	水解鱼蛋白 FPH	水解鱼蛋白(超滤) (UF)FPH	鱼粉 Fishmeal	酪蛋白 Casein	豆粕 Soybean meal
钙 Ca	2 787.8±25.5 ^b	2 865.6±17.8 ^b	27 088.2±27.6 ^a	1 691.1±1.78 ^c	701.1±3.70 ^d
钾 K	18 797.3±18.8 ^a	19 693.5±19.56 ^a	10 866.8±12.90 ^b	131.96±10.78 ^d	4 933.8±5.93 ^c
镁 Mg	2 759.9±2.76 ^a	2 800.5±48.0 ^a	2 093.9±25.21 ^b	463.8±10.85 ^d	1 158.1±62.5 ^c
钠 Na	17 274.2±105.02 ^a	18 543.5±107.85 ^a	10 510.1±10.51 ^b	2 017.8±50.28 ^c	10.29±0.18 ^d
磷 P	2 272.3±27.6 ^c	2 328.5±2.33 ^c	4 068.5±60.75 ^b	5 446.8±45.24 ^a	5 678.1±58.5 ^a
钠钾比 Na/K	0.92±0.01 ^b	0.94±0.01 ^b	0.97±0.01 ^b	15.33±0.15 ^a	0.002±0.001 ^c
铜 Cu	1.19±0.12 ^d	1.23±0.08 ^d	1.73±0.37 ^c	2.91±0.24 ^b	11.2±5.64 ^a
铁 Fe	2.12±0.11 ^d	2.03±0.14 ^d	108.4±7.86 ^c	164.8±11.98 ^a	133.2±12.32 ^b
碘 I	1.25±0.21 ^b	1.37±0.14 ^b	4.34±0.68 ^a	未检出 Not detected	0.02±0.01 ^c
锰 Mn	0.59±0.10 ^d	0.63±0.05 ^d	10.99±0.78 ^b	2.42±0.22 ^c	28.1±1.24 ^a
锌 Zn	4.53±0.65 ^d	4.78±0.54 ^d	52.78±3.76 ^a	47.56±2.05 ^b	43.01±3.87 ^c
硒 Se	0.512±0.10 ^b	0.601±0.05 ^b	0.946±0.11 ^a	<0.08($\mu\text{g}/\text{kg}$)	0.058±0.01 ^c

注:所有数值为平均值±标准差(n=3)。表中同行不同字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Data in the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

通常认为鱼的含碘量较高。由表3可见,水解鱼蛋白和鱼粉的碘含量较高,豆粕的碘含量非常低,而酪蛋白的碘含量在检测线以下。

海产品中硒的含量较高,本实验中,鱼粉硒的含量较高,水解鱼蛋白次之,酪蛋白的硒含量甚微。

作为必需营养微量元素铁、锰、锌、铜的比例,水解鱼蛋白为3.6:1:7.7:2,Zn:Cu为3.8:1;超滤水解鱼蛋白的铁、锰、锌、铜比例为3.2:1:7.6:1.9,Zn:Cu为4:1,与未经超滤的水解鱼蛋白的比例相似;鱼粉中铁、锰、锌、铜比例为62.7:6.3:30.5:1,Zn:Cu为30.5:1;酪蛋白中铁、锰、锌、铜比例为68.1:1:19.6:1.2,Zn:Cu为16.3:1;豆粕中铁、锰、锌、铜比例为11.9:2.5:3.8:1,Zn:Cu为3.8:1。按照Hill和Matron提出的“理化性质相似的元素,其生物学功能是相互拮抗的”,且这种拮抗作用通常发生在Zn:Cu>10的情况下。可见,水解鱼蛋白和豆粕的铜锌比值是较为合理的(金万坤等 2010)。

鱼粉的铁、锌、镁的含量显著高于水解鱼蛋白,豆粕的铁、锌、镁含量较丰富,酪蛋白的矿物质含量较低。

2.4 水解鱼蛋白及各组蛋白源的B族维生素含量

水解鱼蛋白及各组蛋白源的B族维生素含量如表4所示。维生素B₁含量以豆粕最高,依次减少的次序为豆粕>鱼粉>水解鱼蛋白>酪蛋白;维生素B₂含量以鱼粉最高,其次为水解鱼蛋白,均显著高于豆粕和酪蛋白;鱼粉的维生素B₅含量显著高于水解鱼蛋白、酪蛋白和豆粕,是其他组的4~12倍;鱼粉的维生素B₆含量显著高于豆粕、水解鱼蛋白及酪蛋白,是其他组的3~15倍。在本研究中,酪蛋白的B族维生素含量普遍较低,而牛奶通常富含B族维生素,这可能是由分离方法所致(Barth *et al.* 1997)。

表4 水解鱼蛋白及各组蛋白源的B族维生素含量

Table 4 Content of B vitamins in FPH, (UF)FPH, fishmeal, casein, and soybean meal (mg/kg)

成分 Component	水解鱼蛋白 FPH	水解鱼蛋白(超滤) (UF)FPH	鱼粉 Fishmeal	酪蛋白 Casein	豆粕 Soybean meal
VB ₁ 硫胺素 Thiamine	1.42±0.12 ^c	1.45±0.10 ^c	1.69±0.16 ^b	0.10±0.03 ^d	1.87±0.20 ^a
VB ₂ 核黄素 Riboflavin	0.77±0.14 ^b	0.70±0.12 ^b	1.56±0.25 ^a	0.12±0.02 ^d	0.56±0.12 ^c
VB ₃ 泛酸 Pantothenic acid	7.15±0.56 ^b	6.92±0.49 ^b	30.46±2.43 ^a	2.58±0.35 ^c	7.31±0.65 ^b
VB ₆ 吡哆素 Pyridoxine	9.33±0.78 ^c	9.08±0.91 ^c	42.39±4.28 ^a	2.76±0.27 ^d	13.14±1.62 ^b

注:所有数值为平均值±标准差(n=3)。表中同行不同字母表示差异显著(P<0.05)

Note: Data in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05)

3 小结

通过对水解鱼蛋白及各组蛋白源营养成分、氨基酸组成和含量、矿物质含量以及B族维生素含量分析来看,水解鱼蛋白中蛋白质含量高,必需氨基酸比例较高,含有丰富的牛磺酸。此外,水解鱼蛋白含有较高水平的微量元素碘和硒,维生素B₂和B₅含量较为丰富,是不可多得的优质蛋白源。

参 考 文 献

- 王家林,梁萌青,常青. 2006. 饲料中蛋白寡聚肽对鲈鱼和小白鼠蛋白消化率和蛋白沉积率的影响. 海洋水产研究, 27(5): 68~73
- 刘福纯,张德凤,张英杰,赵恒英. 1995. 海洋生物材料中的元素含量 ICP 光谱测定. 辽宁师范大学学报, 18(2): 146~148
- 金万坤,杨建新,杜婷,高永平,朱振秀,俞丽,赵宜双,张慈军. 2010. 乌龙鲫的肌肉营养成分、氨基酸含量及脂肪酸组成的分析. 齐鲁渔业, 27(1): 20~21
- 雷光高,叶继丹,宋奔奔,邹全,常建波. 2008. 小肽对牙鲆幼鱼的生长、消化酶活性及肝脏抗氧化能力的影响. 水产养殖, 29(3): 1~4
- 冀德伟,李凌云,史雨红,周健博,任凭,张玉明. 2009. 光唇鱼的肌肉营养组成与评价. 营养学报, 31(3): 298~300,303
- Aksnes, A., Hope, B., Høstmark, Ø., and Albrektsen, S. 2006a. Inclusion of size fractionated fish hydrolysate in high plant protein diets for Atlantic cod, *Gadus morhua*. Aquaculture, 261: 1102~1110

- Aksnes, A., Hope, B., Jönsson, E., Björnsson, B. T., and Albrektsen, S. 2006b. Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. I. Growth, growth regulation and feed utilization. *Aquaculture*, 261: 305~317
- Barth, C. A., and Behnke, U. 1997. Nutritional significance of whey and whey components. *Nahrung-Food*, 41: 2~12
- Cahu, C. L., Zambonino Infante, J. L., Quazuguel, P., and Le Gall, M. M. 1999. Protein hydrolysate vs. fish meal in compound diets for 10-day old sea bass *Dicentrarchus labrax* larvae. *Aquaculture*, 171: 109~119
- Carvalho, A. P., Sá, R., Oliva-Teles, A., and Bergot, P. 2004. Solubility and peptide profile affect the utilization of dietary protein by common carp (*Cyprinus carpio*) during early larval stages. *Aquaculture*, 234: 319~333
- Chothia, C. 1974. Hydrophobic bonding and accessible surface-area in proteins. *Nature*, 248: 338~389
- Chothia, C. 1975. Structural invariants in protein folding. *Nature*, 254: 304~308
- Cuq, J. C., and Cheftel, J. C. 1983. Tryptophan degradation during heat treatments. Part 1. The degradation of free tryptophan. *Food Chemistry*, 12: 1~14
- Dabrowska, H., Grudniewski, C., and Dabrowski, K. 1979. Artificial diets for common carp: effect of the addition of enzyme extracts. *The Progressive Fish-Culturist*, 41: 196~200
- Day, O. J., Howell, B. R., and Jones, D. A. 1997. The effect of dietary hydrolyzed fish protein concentrate on the survival and growth of juvenile Dover sole, *Solea solea* (L.), during and after weaning. *Aquaculture Research*, 28: 911~921
- Erbersdobler, H. F., and Trautwein, E. 1984. Determination of taurine in human-milk, cows milk and some milk-products. *Milchwissenschaft-Milk Science International*, 39: 722~724
- Espe, M., Sveier, H., Høgøy, I., and Lied, E. 1999. Nutrient absorption and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed fish protein concentrate. *Aquaculture*, 174: 119~137
- Hardy, R. W. 1991. Fish hydrolysates; production and use in aquaculture feeds. In: Akiyama, D. M., Tan, R. K. H., Editors. *Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop*, 109~115
- Holt, L. A., Milligan, B., Rivett, D. E., and Stewart, F. H. C. 1977. Photodecomposition of tryptophan peptides. *Biochimica et Biophysica Acta*, 499: 131~138
- Huxtable, R. J. 1992. Physiological actions of taurine. *Physiological Reviews*, 72: 101~163
- Kanner, J. D., and Fennema, O. 1987. Photooxidation of tryptophan in the presence of riboflavin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 35: 71~76
- Kotzamanis, Y. P., Gisbert, E., Gatesoupe, F. J., Zambonino Infante, J., and Cahu, C. 2007. Effects of different dietary levels of fish protein hydrolysates on growth, digestive enzymes, gut microbiota, and resistance to *Vibrio anguillarum* in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology A-Molecular & Integrative Physiology*, 147: 205~214
- Kyte, J., and Doolittle, R. F. 1982. A simple method for displaying the hydropathic character of a protein. *Journal of Molecular Biology*, 157: 105~132
- Lee, M. G., and Rogers, C. M. 1988. Degradation of tryptophan in aqueous solution. *Journal of Parenteral Science and Technology*, 42: 20~22
- Liang, M., Wang, J., Chang, Q., and Mai, K. 2006. Effects of different levels of fish protein hydrolysate in the diet on the nonspecific immunity of Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture Research*, 37: 102~106
- Pasqualone, A., Caponio, F., and Bilancia, M. T. 2003. Distribution of taurine during cheese-making from goat milk. *Milchwissenschaft-Milk Science International*, 58: 619~621
- Picone, T. A. 1987. Taurine update; Metabolism and function. *Nutrition Today*, 22: 16~20
- Refstie, S., Olli, J. J., and Standal, H. 2004. Feed intake, growth, and protein utilization by postsmolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) in response to graded levels of fish protein hydrolysate in the diet. *Aquaculture*, 239: 331~349
- Tonheim, S. K., Espe, M., Hamre, K., and Rønnestad, I. 2005. Pre-hydrolysis improves utilization of dietary protein in the larval teleost Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 321: 19~34
- Zambonino Infante, J. L., Cahu, C. L., and Péres, A. 1997. Partial substitution of di- and tripeptides for native proteins in sea bass diet improves *Dicentrarchus labrax* larval development. *Journal of Nutrition*, 127: 608~614