

# 氨基酸在黄东海食物网关键种——鳀鱼 (*Engraulis japonicus*) 食物链中的传递

蔡德陵<sup>1,2</sup>, 刘海珍<sup>1,2,3</sup>, 宋晓红<sup>1,2,3</sup>, 徐晓琴<sup>1,4</sup>, 杜德文<sup>1,2</sup>

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061; 2. 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室, 青岛 266061;

3. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266003; 4. 厦门大学化学化工学院化学系现代分析科学教育部重点实验室, 厦门 361005)

**摘要:** 采用活体饵料对黄东海生态系统食物网关键种食物链的中下营养层次“浮游植物—中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)—鳀鱼 (*Engraulis japonicus*)”进行了室内模拟实验研究, 以了解氨基酸在该食物链中的传递过程。通过 76 d 的培养实验, 对采集样品做了 14 种氨基酸含量的定量分析。结果表明, 在 3 个营养层次中中华哲水蚤起着十分关键的承上启下作用, 它不仅将小球藻的植物性蛋白转化为动物性蛋白, 大幅度地提高了赖氨酸的含量, 而且将氨基酸总含量从小球藻的 6.10% 提高到 24.16%。作为该食物网主要经济鱼类重要饵料的鳀鱼则进一步将氨基酸含量提高到 27.06%。中华哲水蚤的氨基酸相对组成与小球藻有明显的正相关性 ( $r=0.606, p<0.05$ ), 其中 7 种必需氨基酸的相关性相对较弱, 而非必需氨基酸的相关性明显较强。鳀鱼的食性由合成饵料转变为活体中华哲水蚤时, 其氨基酸量也随饵料的改变而有所变化, 从与合成饵料相关转为与中华哲水蚤有更紧密的相关。鳀鱼排泄粪便中的氨基酸含量主要由新陈代谢的生理过程所决定。

**关键词:** 氨基酸; 食物链; 黄东海生态系统

文章编号: 1000-0933 (2008) 02-0829-07 中图分类号: Q178, Q958 文献标识码: A

## Transfer of amino acids in the food chain of key species anchovy (*Engraulis japonicus*) of the Yellow Sea and East China Sea food web

CAI De-Ling<sup>1,2</sup>, LU Hai-Zhen<sup>1,2,3</sup>, SONG Xiao-Hong<sup>1,2,3</sup>, XU Xiao-Qin<sup>1,4</sup>, DU De-Wen<sup>1,2</sup>

1 First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

2 Key Laboratory of Marine Sedimentology & Environmental Geology, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

3 College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

4 Department of Chemistry and the Key Laboratory of Analytical Science of the MOE, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28 (2): 0829 ~ 0833

**Abstract:** Live baits *Calanus sinicus* were used to make an indoor experimental study on the intermediate and lower levels “phytoplankton - *Calanus sinicus* - anchovy (*Engraulis japonicus*)” in key species food chain of the Yellow Sea and East China Sea food web so as to know the transfer process of amino acids in the food chain. After making a cultural experiment for 76 days, the quantitative analysis of contents of 14 amino acids in the collected samples was made. It is shown from the analysis results that the copepod *Calanus sinicus* forms an intermediate key link, that is, the copepod not only transforms the

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (40276046); 国家重点基础研究发展规划资助项目 (G19990437)

**收稿日期:** 2006-11-27; **修订日期:** 2007-05-09

**作者简介:** 蔡德陵 (1943 ~ ), 男, 上海市人, 研究员, 从事海洋稳定同位素地球化学研究。E-mail: dlcai@fio.org.cn

**致谢:** 感谢黄海水产研究所孙耀研究员为室内模拟实验提供了由合成饵料喂养的鳀鱼和实验场所。

**Foundation item:** The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40276046), National 973 Project (No. G19990437)

**Received date:** 2006-11-27; **Accepted date:** 2007-05-09

**Biography:** CAI De-Ling, Research Professor, mainly engaged in marine stable isotope geochemistry. E-mail: dlcai@fio.org.cn

<http://www.ecologica.cn>

vegetable protein of chlorella into animal protein of copepod and greatly raises the lysine content, but also raises the total amino acid content from 6.10% of chlorella to 24.16% of copepod. As an important bait of commercial fish in this food web, anchovy (*Engraulis japonicus*) further raises the total amino acid content of copepod to 27.06% of anchovy. There is a significant correlation between relative amino acid compositions of *Calanus sinicus* and chlorella ( $r=0.606$ ,  $p<0.05$ ), among them, the correlation between the percent contents of 7 essential amino acids of *Calanus sinicus* and chlorella was relatively poor, and that between the percent contents of 7 non-essential amino acids is relatively strong. The percent contents of amino acid of anchovy *Engraulis japonicus* changed with the change in baits when food of anchovy changed from synthetic bait to live *Calanus sinicus*. The amino acid contents of anchovy egesta are dependent mainly on metabolic process of anchovy.

**Key Words:** amino acid; food chain; Yellow Sea and East China Sea ecosystem

黄东海生态系统是我国最重要的海洋生态系统之一,它的生物多样性丰富、食物网结构复杂、优势种明显。东海有鱼类 727种,渔业对象 200多种;黄海鱼类有 289种,渔业对象 100多种<sup>[1]</sup>。近年来,我国海洋渔业产量不断增加,但也存在着明显的问题,如一些传统优质鱼种资源大幅度下降,而低值鱼类数量增加等。人们对近海生态系统的功能和受控机制基本还不了解,食物网的食物定量关系、能量流动与转换关系、营养质量等都是急待解决的问题。在黄东海捕食食物网中,鳀鱼 (*Engraulis japonicus*)属于第三营养层次(初级肉食动物),它不仅自身资源量大,而且还是近 40种捕食者的饵料。日本学者对鳀鱼早期生命阶段中的营养变化、其饵料生物—桡足类的季节变化、仔鱼的捕食规格和食性组成等一系列问题有过研究<sup>[2~4]</sup>。在国家 973项目“东、黄海生态系统动力学与生物资源可持续利用”研究实施中,选择“浮游植物—中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)—鳀鱼 (*Engraulis japonicus*)—蓝点马鲛 (*Scorpaenopsis niphonius*)”等关键种构成的食物链/网为项目研究主线,为解决制约我国海洋产业可持续发展的瓶颈问题提供科学依据<sup>[1]</sup>。“营养质量”是 GLOBEC 国际研究计划的一个重要研究内容<sup>[5]</sup>。联合国粮农组织和世界卫生组织联合出版的报告指出,食物的蛋白质质量通常是用氨基酸组成和蛋白质消化性来评价的<sup>[6]</sup>。近年来国际学术界从多种角度研究氨基酸在生态系统中的作用。Jin等<sup>[7]</sup>研究氨基酸对多毛类 *Hydroides elegans*幼体变形影响。Fantle等应用单体氨基酸和动物体的稳定同位素对大西洋蓝蟹 (*Callinectes sapidus*)幼体湿地来源食物的重要性作了研究<sup>[8]</sup>。稳定氮同位素被广泛用于海洋食物网营养层次的解释,但较少有人探讨对  $^{15}\text{N}$ 值变化的附加因素。Schmidt等的研究表明,生物体中特定的氨基酸组成和代谢可能干扰  $^{15}\text{N}$ 值对营养层次的解释<sup>[9]</sup>。国内学者目前大多研究的是在各种海洋生物中的氨基酸组成和含量<sup>[10~16]</sup>,而只有少数涉及生物之间食物联系的内容<sup>[17]</sup>。食物联系是海洋生态系统结构和功能的基本表达形式,关键资源种群食物网能量流动是认识生态系统资源生产及其动态变化的关键生物过程。氨基酸是复杂海洋生态系统营养流通过程中的重要物质成分。因此,研究氨基酸在海洋食物链的中下营养层次“小球藻—中华哲水蚤—鳀鱼”中的传递过程,将有助于了解黄东海食物网关键种鳀鱼的营养流动机理和在新陈代谢中的转化过程。

## 1 实验和样品分析

### 1.1 室内受控培养实验

为了真实地模拟黄东海食物网中的关键种食物链,采用中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)活体饵料培养鳀鱼,而中华哲水蚤则是用人工培育的小球藻喂养,以此来模拟这一关键种食物链的中下营养层次部分。实验在黄海水产研究所麦岛实验基地进行。实验用海水经沉淀和沙滤处理。小球藻取自黄海水产研究所培养的藻种,在  $1.5\text{ m}^3$  玻璃钢海水池中用尿素等营养盐培养繁殖。小球藻样的采集是从池中取出几百毫升藻液,真空过滤在经 450℃ 预灼烧过的 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜上。中华哲水蚤蚤种直接从近海海域中捕捞,经人工用吸管挑选纯化,放入 2个  $2\text{ m}^3$  玻璃钢海水池中用培养好的小球藻进行培养繁殖,水温控制在  $16\sim 20$ ℃。实验初期过滤海水温度偏低,需加热保持在  $16$ ℃,其后随气温升高,就直接在室温下培养。中华哲水蚤采用自

制的筛网取样。实验所用 16 条鳊鱼鱼苗由黄海水产研究所孙耀研究员提供,是海上捕获鳊鱼幼鱼苗经用人工合成饵料饲养了半年的鱼苗,体长为 9~10 cm。鳊鱼鱼苗放入有流动海水的 0.15 m<sup>3</sup>玻璃钢槽中喂养,槽内海水流速的调节以槽内水体中的 DO、NH<sub>4</sub>-N、pH 和盐度等指标与自然海水无明显差别为准。经 2 d 的驯养后,采用人工培养的纯活体中华哲水蚤作为饵料,每天投喂 2 次,达饱足。这样就构成了一个包含“小球藻—中华哲水蚤—鳊鱼”3 个营养层次的关键种食物链。在受控培养实验中每 5 d 采集 1 条鳊鱼样品。实验前期每天收集一次鳊鱼粪便;实验中后期由于鳊鱼数量减少,改为每 2 d 收集一次。采用吸管收集槽底的粪便,挑走可能的残饵,然后过滤在经 450 °C 预灼烧过的 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜上。所采集的小球藻、中华哲水蚤、鳊鱼肌肉和鱼粪便样品都通过真空冷冻干燥后用于氨基酸分析。这一实验历时 76 d。

## 1.2 样品分析

早期氨基酸的定量分析采用液相色谱法 (LC) 或据此开发的氨基酸自动分析仪<sup>[10~17]</sup>,20 世纪 90 年代以来,开发了气相色谱法 (GCMS) 测定氨基酸的组成和含量<sup>[18~20]</sup>。在此基础上,与同位素比值质谱联机则可以进一步测定单体氨基酸的碳氮同位素组成 (GC-C-RMS),这一方法得到了迅速的发展和应<sup>[21,22]</sup>。

样品的衍生化:为了用气相色谱法测定氨基酸组成和含量,首先需将极性、热稳定性差、化学活性强的氨基酸衍生化为极性弱、易挥发、热稳定性好的氨基酸酯。衍生化过程<sup>[18~21]</sup>如下:配制 3 mol/L 的盐酸正丁醇溶液,并于每毫升溶液中加入 25 μl 乙酰氯。在安瓿瓶中配制样品的盐酸氨基酸溶液,加入 2 ml 3 mol/L 的盐酸正丁醇溶液;封口后在 110 °C 的恒温干燥箱中酯化 1 h。反应完毕后取出安瓿瓶冷至室温;打开安瓿瓶在 25 °C 的真空干燥箱中干燥后,加入 0.5 ml 二氯甲烷 (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>),然后再蒸发至干。干燥后的样品安瓿瓶中加入 CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> 和三氟乙酸酐 (TFAA) 各 0.25 ml,封口后在 110 °C 恒温干燥箱中酰化 10 min。反应完毕后取出放至室温。打开安瓿瓶,用温和的氮气流吹走剩余的 CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> 和 TFAA;最后将反应产物溶于 0.5 ml CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> 中后移入测样瓶中,放入 4 °C 的冰箱中待用。

样品中的氨基酸测定是在 Agilent 6890N 气相色谱仪与 5973N 质谱仪联机 (GCMS) 上进行的。采用 HP5-MS 色谱柱 (30 m × 0.32 mm × 0.2 μm)。气相色谱操作条件如下<sup>[18,19]</sup>:气化室温度 250 °C;传输线温度 280 °C;色谱柱升温程序初温 50 °C,以 20 °C/min 升至 220 °C,以 10 °C/min 再升至 280 °C 并保持 3 min。进样方式为无分流进样。进样量 1 μl。质谱条件:EI 离子源倍增器电压 1200 V,离子源温度 230 °C;四极杆温度 150 °C;全扫描 (SCAN) 质量范围为 33~600 m/z。各组分的峰高和峰面积是从全扫描的总离子流色谱图中得出。样品重复测量的结果表明,所获得各样品的氨基酸组分含量的相对标准偏差在 3%~9% 之间。

## 1.3 数据分析

共采集了鳊鱼 16 条、小球藻样品 7 个、中华哲水蚤样品 5 个、合成饵料 1 个以及鳊鱼粪便样品 27 个。分析了所有样品中的氨基酸组成和含量 (以样品干重为基准的百分含量)。表 1 中列出了该关键种食物链各组分以及实验开始前喂养鳊鱼的合成饵料的样品中的 14 种氨基酸含量的平均值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 关键种食物链各组分的氨基酸分析结果

分析结果表明,小球藻的氨基酸总含量最低,仅为 6.10%,其消费者中华哲水蚤将氨基酸含量大幅提高至 24.16% (表 1)。在此基础上,作为中下层鱼类代表的鳊鱼又将氨基酸含量进一步提高到 27.06%,而其新陈代谢的排泄物鱼粪中的氨基酸含量仅为 6.75%。为比较,作者分析了模拟实验开始前喂养鳊鱼的合成饵料的氨基酸含量。结果表明,这种合成饵料的氨基酸含量高达 48.12%。

### 2.2 关键种食物链各层次之间氨基酸构成

影响蛋白质饲料营养价值的因素主要有两个方面:一是其氨基酸组成;二是其氨基酸的消化率。如表 1 所示,在所测量的 14 种氨基酸中有 7 种是必需氨基酸 (苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸) 和 7 种非必需氨基酸 (丙氨酸、甘氨酸、丝氨酸、脯氨酸、天冬氨酸、酪氨酸和谷氨酸)。

小球藻的氨基酸含量相对较低,其必需氨基酸中以亮氨酸和缬氨酸的含量最丰富,而赖氨酸和蛋氨酸的

含量较低;在非必需氨基酸中,天冬氨酸和谷氨酸的含量高,而酪氨酸和丝氨酸的含量低(表1)。与此相比较的是,王成刚等<sup>[16]</sup>用臭氧处理海水培养的小球藻的氨基酸含量中,以组氨酸最高,而谷氨酸、缬氨酸、天冬氨酸、脯氨酸和亮氨酸等含量依次减少。孙谧<sup>[14]</sup>对钝顶螺旋藻、盐藻等几种海洋微藻氨基酸含量测定的结果表明,海洋微藻中氨基酸含量的排序为谷氨酸 > 天冬氨酸 > 甘氨酸 > 丙氨酸。这些结果比较说明,在浮游植物中主要的氨基酸组成基本上是一致的,但具体排序上也还有些差别,也可能与其生长条件有一定的关系。

表 1 关键种食物链各组分及合成饵料的氨基酸百分含量(%)

Table 1 Amino acid percent contents of constituents of key species food chain and synthesized bait

氨基酸种类 Type of amino acid		小球藻 Chlorella	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	合成饵料 Synthetic bait	鳀鱼鱼肉 Flesh of anchovy	鱼粪 Feces
必需氨基酸 Essential amino acid	苏氨酸 Thr	0.43	1.19	2.20	1.26	0.37
	缬氨酸 Val	0.63	2.03	2.23	1.85	0.71
	亮氨酸 Leu	0.85	2.31	4.55	2.60	0.47
	异亮氨酸 Ile	0.29	0.99	1.18	1.06	0.23
	蛋氨酸 Met	0.16	0.39	2.03	0.56	0.04
	苯丙氨酸 Phe	0.45	1.32	3.16	1.53	0.24
	赖氨酸 Lys	0.13	2.87	5.79	6.19	0.13
	合计 Total	2.94	11.1	21.14	15.05	2.19
非必需氨基酸 Non-Essential amino acid	丙氨酸 Ala	0.44	1.57	2.84	1.57	0.52
	甘氨酸 Gly	0.33	1.66	2.71	1.37	0.92
	丝氨酸 Ser	0.31	0.99	2.27	1.11	0.41
	脯氨酸 Pro	0.45	1.49	3.80	1.76	0.57
	天冬氨酸 Asp	0.75	2.87	6.53	3.35	0.73
	酪氨酸 Tyr	0.17	1.44	2.16	1.17	0.63
	谷氨酸 Glu	0.71	3.03	6.67	1.70	0.78
	合计 Total	3.16	13.05	26.98	12.03	4.56
14种总和 Sum total		6.10	24.16	48.12	27.06	6.75

中华哲水蚤的氨基酸含量分布次序是谷氨酸 > 天冬氨酸、赖氨酸 > 亮氨酸 > 缬氨酸(见表1)。这与谭焯辉等<sup>[17]</sup>对海洋桡足类氨基酸的测定结果基本一致,他们的氨基酸含量排序为谷氨酸 > 天冬氨酸 > 亮氨酸 > 丙氨酸 > 赖氨酸 > 缬氨酸。

中华哲水蚤的氨基酸含量与其饵料小球藻有较大的相似性。在必需氨基酸中,以赖氨酸和亮氨酸为多,而蛋氨酸少;非必需氨基酸二者更接近,也是谷氨酸和天冬氨酸高,丝氨酸和酪氨酸低。二者比较一个明显的差别是中华哲水蚤赖氨酸含量明显高于小球藻。计算了作为初级生产者代表的小球藻与黄东海浮游动物种的优势种、关键种——中华哲水蚤样品的氨基酸含量平均值之间的相关性,结果显示尽管二者之间的氨基酸总含量相差近4倍,但是其14种氨基酸含量有比较显著的正相关性,相关系数  $r=0.606$  ( $p<0.05$ )。这与谭焯辉等<sup>[17]</sup>在三亚湾和珠江口也观察到桡足类的氨基酸含量与浮游植物有很好的相关性是一致的。然而,在中华哲水蚤和小球藻之间必需氨基酸只存在弱的正相关性,相关系数  $r=0.443$ ,主要反映出赖氨酸含量的差异;而非必需氨基酸则有比较显著的正相关性,相关系数  $r=0.856$  ( $p<0.05$ )。比较表明,作为初级消费者的中华哲水蚤在该食物链中起着承上启下的至关重要的作用,它不仅将浮游植物的植物性蛋白质转化为动物性的蛋白质,而且,使氨基酸含量提高了近3倍。从氨基酸组成来看,二者有相似性,在所有14种氨基酸中含量提高幅度尤以赖氨酸、酪氨酸和甘氨酸为甚,可提高5倍以上。赖氨酸含量的提高对人类有很重要的作用,这是因为作为人类主要食物的粮谷类蛋白中赖氨酸是第一限制氨基酸,而海产品中丰富的赖氨酸有助于补充植物性蛋白质中赖氨酸的不足<sup>[13]</sup>,这与中华哲水蚤等浮游动物在食物链营养传递中的作用密切相关。

从表1可知,在鳀鱼鱼肉的必需氨基酸中,也是赖氨酸和亮氨酸含量最高,分别达到到6.19%和2.60%,

而蛋氨酸的含量是比较低的,仅为 0.56%。在非必需氨基酸中,天冬氨酸含量最高,为 3.35%,所不同的是谷氨酸含量只有 1.70%;含量最低的 2 种跟中华哲水蚤一样,也是丝氨酸和酪氨酸。与此对照的是,其它种类鱼类最丰富的氨基酸是谷氨酸、天冬氨酸、赖氨酸和亮氨酸等几种<sup>[10,11]</sup>。2 者相比,氨基酸种类是完全一致的,只是在含量排序上略有差别。图 1 表示了鳀鱼肌肉氨基酸含量随实验时间的变化。由于本实验所用鳀鱼样品是海捕幼苗经过合成饵料约半年时间的喂养,合成饵料的氨基酸含量高达 48.12%,在实验开始后,突然将饵料改变为活体中华哲水蚤(氨基酸含量为 24.16%)。图 1 中的线性回归线斜率为 -0.0633,显示鳀鱼肌肉中的氨基酸含量随实验时间而呈下降趋势,这说明饵料对鳀鱼肌肉的氨基酸含量有明显影响。

将实验初期和后期的鳀鱼样品 R2 和 R16 与 2 种不同的饵料——合成饵料和中华哲水蚤的氨基酸含量进行比较,结果列在表 2 中。鳀鱼鱼肉 R2 样品与合成饵料之间明显的相关性 ( $r=0.726, p<0.01$ ) 证明实验前鳀鱼与合成饵料之间已经建立起了营养平衡。经过 76d 的活体中华哲水蚤的喂养,实验结束时鳀鱼 R16 样品与中华哲水蚤的氨基酸含量之间有了显著的正相关关系,相关系数  $r=0.692 (p<0.01)$ ;而它与合成饵料氨基酸含量之间相关性反而变弱,相关系数仅为  $r=0.357$ 。这进一步证明饵料的改变对鳀鱼的氨基酸含量有明显的影响。黄权等<sup>[10]</sup>在综合文献中测定的 29 种鱼类的氨基酸成分和含量时也发现,在天然水域和池塘环境下鱼肌肉的氨基酸含量会有一定的差别,他们认为主要与饵料有关,靠食天然饵料的鱼要比人工饵料的高;此外,还与性别有关,雌性稍高于雄性;在饥饿状态下氨基酸含量也会下降。可见,影响鱼肌肉氨基酸含量的因素是多方面的。氨基酸分类的统计计算还表明,对必需氨基酸而言,鳀鱼 R2 样品与合成饵料之间也存在有显著的正相关性,相关系数  $r=0.803 (p<0.05)$ ;而鳀鱼 R16 样品与中华哲水蚤的必需氨基酸含量之间有正相关关系,相关系数  $r=0.662$ ,但与合成饵料之间无明显相关性,相关系数仅为  $r=0.171$ ,显示了相同的规律性。对非必需氨基酸而言,鳀鱼鱼肉样品与合成饵料和中华哲水蚤 2 种饵料之间大多存在有正相关性,相关系数  $r$  的范围为 0.740~0.859。显示出鳀鱼必需氨基酸对饵料的依赖性大于非必需氨基酸。日本科学家试验过食性转换对比目鱼的影响,他们应用碳氮稳定同位素组成进行研究获得了有益的结论<sup>[23]</sup>。

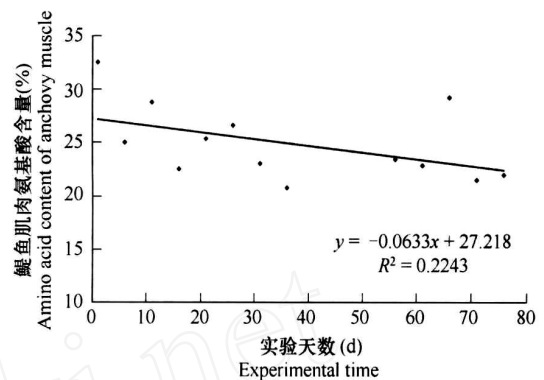


图 1 鳀鱼肌肉氨基酸含量随实验时间的变化

Fig 1 Variations in amino acid content of anchovy muscle with experimental time

表 2 不同饵料与鳀鱼之间氨基酸含量的相关系数  $r$

Table 2 Correlation coefficients between amino acid contents of different baits and anchovy

饵料种类 Type of bait	合成饵料 Synthetic bait			中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>		
	14种氨基酸 14 types of amino acid	必需氨基酸 Essential amino acid	非必需氨基酸 Non-essential amino acid	14种氨基酸 14 types of amino acid	必需氨基酸 Essential amino acid	非必需氨基酸 Non-essential amino acid
鳀鱼 R2 Anchovy R2	0.726**	0.803*	0.740	0.580*	0.449	0.772*
鳀鱼 R16 Anchovy R16	0.357	0.171	0.768*	0.692**	0.662	0.859*

\*\* 在  $p<0.01$  水平下显著相关, \* 在  $p<0.05$  水平下显著相关 \*\* The correlation is significant to a 0.01 significant level, \* The correlation is significant to a 0.05 significant level

### 2.3 鳀鱼新陈代谢过程中氨基酸的传递

实验中还观察了鳀鱼与其排泄物粪便之间的氨基酸含量关系。在所收集的鳀鱼粪便中,必需氨基酸含量

高的是缬氨酸和亮氨酸,而蛋氨酸和赖氨酸含量低。这与鳊鱼鱼肉样品中赖氨酸和亮氨酸含量高有比较明显的差异,说明鳊鱼新陈代谢过程中对赖氨酸的吸收率比较高,对缬氨酸的吸收率比较低。SPSS统计计算结果表明,所有鳊鱼鱼肉样品中氨基酸含量的平均值与其所排泄粪便氨基酸含量的平均值之间并没有明显的相关性,相关系数  $r$  仅为 0.399,其中 7 种必需氨基酸的相关系数略高,为 0.529,7 种非必需氨基酸的相关性更差,只有 0.221。鳊鱼所摄食的饵料——中华哲水蚤与鳊鱼排泄的鱼粪的氨基酸含量之间也只有很弱的相关性,全部氨基酸含量的相关系数  $r$  为 0.508,其中 7 种必需氨基酸的相关系数为 0.496,7 种非必需氨基酸的相关系数为 0.590。这说明鳊鱼粪中的氨基酸含量主要由鳊鱼的新陈代谢生理过程所决定,与饵料中华哲水蚤只有很弱的相关系数,与鱼肉中的氨基酸含量关系不大。

### 3 结论

(1)在关键种鳊鱼食物链中,中华哲水蚤在氨基酸传递中起着承上启下的关键作用,既将植物蛋白转化为动物蛋白,又大幅度提高了赖氨酸的含量和蛋白质的质量,对人类从海产品中补充植物性蛋白质中赖氨酸的不足有重要作用,是整个食物网氨基酸传递的关键环节。

(2)鳊鱼的食性转换时的氨基酸含量变化表明,生理过程是其氨基酸含量的决定因素,但不是唯一因素,饵料中的氨基酸含量也会对其肌肉组织中的氨基酸含量产生明显的影响。

(3)鳊鱼是黄东海生态系统中关系经济鱼种资源的关键鱼种,它的氨基酸新陈代谢排泄物的氨基酸含量主要取决于其新陈代谢过程,与鳊鱼所摄取饵料中的氨基酸含量相关性很弱,而与其肌肉组织中的氨基酸含量关系不大。

### References:

- [ 1 ] Tang Q S, Su J L, *et al* Dynamic Studies on Chinese Marine Ecosystem . Key Scientific Themes and Research & Development Strategy Beijing: Science Press, 2000. 45 - 49.
- [ 2 ] Lindsay D J, Minagawa M, Mitani I, *et al* Trophic shift in the Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in its early life history stage as detected by stable isotope ratios in Sagami Bay, Central Japan. *Fish Sci*, 1998, 64(3): 403 - 410.
- [ 3 ] Iguchi N, Tsujimoto R. Seasonal changes in the copepod assemblage as food for larval anchovy in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bulletin of the Japan Sea National Fisheries*, 1997, 47: 79 - 94.
- [ 4 ] Hirakawa K, Goto T, Hirai M. Diet composition and prey size of larval anchovy, *Engraulis japonicus*, in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bulletin of the Japan Sea National Fisheries*, 1997, 47: 67 - 78.
- [ 5 ] IGBP Report 40, GLOBEC Report 9. Global Ocean Ecosystem Dynamics (GLOBEC) Science Plan. Scientific Committee on Oceanic Research, Stockholm, Sweden: IGBP Secretariat, 1997, 19 - 21.
- [ 6 ] FAO/WHO. Protein quality evaluation. Report of joint FAO/WHO expert consultation. FAO Food and Nutrition Paper 51. Rome, 1992. 1 - 66.
- [ 7 ] Jin T, Qian P Y. Effect of amino acids on larval metamorphosis of the polychaete hydroids *elegans*. *Marine Ecology Progress Series*, 2004. 267: 209 - 218.
- [ 8 ] Fantle M S, Dittler A I, Schwahn SM, *et al* A food web analysis of the juvenile blue crab, *Callinectes Sapidus*, using stable isotopes in whole animals and individual amino acids. *Oecologia*, 1999, 120: 416 - 426.
- [ 9 ] Schmidt K, McClelland J W, Mente E, *et al* Trophic-level interpretation based on  $^{15}\text{N}$  values: implications of tissue-specific fractionation and amino acid composition. *Marine Ecology Progress Series*, 2004. 266: 43 - 58.
- [ 10 ] Huang Q, Sun Z H, Zhao J. A comparative study on amino acid composition and contents in the muscle of several fishes. *Amino Acids & Biotic Resources* 1996, 18(1): 37 - 42.
- [ 11 ] Kong X R. Amino acids and nutritive values. *Amino Acids & Biotic Resources* 1995, 17(2): 33 - 35.
- [ 12 ] Ma Y J, Zhang Z F, Ma A J, *et al* The contents of protein and amino acids in some marine invertebrate in Yellow sea and Bohai sea. *Marine Science*, 1996, 6: 8 - 10.
- [ 13 ] Liang H, Zhang X Z, Liu H, *et al* Analysis of protein and amino acid contents in marine products of Shandong Province. *Marine Science*, 1999, 6: 25 - 29.
- [ 14 ] Sun M. The amino acid contents in some marine algae. *Amino Acids & Biotic Resources* 1995, 17(2): 38 - 40.
- [ 15 ] Qiu Lichuan. A study on amino acid compositions of *Spinulina major*. *Journal of Taiyuan Teachers College (natural science edition)*, 2004, 3(1):

81 - 83.

- [16] Wang C G, Tang X X, Zheng B, *et al* Effect of seawater treated with ozone on contents of protein, amino acids and carbohydrate in *Chlorella* sp. *Marine Science*, 2001, 25(2): 15 - 17(23).
- [17] Tan Y H, Huang L M, Yin J Q, *et al* Effects of phytoplankton and light on amino acids in copepods. *Journal of Tropical Oceanography*, 2004, 23(5): 42 - 49.
- [18] Fang Y Y, Ying Q F, Yao Y H, *et al* Analysis of amino acids in some animal gallbladders by GC-MS. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 1997, 25(12): 1442 - 1445.
- [19] Fang Y Y, Yao Y H, Piao Y A, *et al* Determination of amino acid contents in four kinds of seeds in the Changbai Mountainous area. *Journal of Yanbian University*, 1998, 24(2): 31 - 35.
- [20] Xu Q Q. Analysis of escape fruit juice by gas chromatography with large aperture capillary. *Journal of Shanxi Normal University*, 2002, 16(1): 49 - 51.
- [21] Silber J A, Engel M H, Macko S A, *et al* Stable carbon isotope analysis of amino acid enantiomers by conventional isotope ratio mass spectrometry and combined gas chromatography/isotope ratio mass spectrometry. *Analytical Chemistry*, 1991, 63: 370 - 374.
- [22] Metges C C, Petzke K J. Measurement of  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  isotopic composition in individual plasma free amino acid of human adults at natural abundance by gas chromatography-combustion isotope ratio mass spectrometry. *Analytical Biochemistry*, 1997, 247: 158 - 164.
- [23] Tomimaga O, Uno N, Seikai T. Influence of diet shift from formulated feed to live mysids on the carbon and nitrogen stable isotope ratio ( $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$ ) in dorsal muscles of juvenile Japanese flounders, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 2003, 218: 265 - 276.

#### 参考文献:

- [1] 唐启升, 苏纪兰, 等著. 中国海洋生态系统动力学研究. 关键科学问题与研究发展战略. 北京: 科学出版社, 2000. 45 ~ 49.
- [10] 黄权, 孙兆和, 赵静, 等. 数种鱼类肌肉中氨基酸成分及含量的比较研究. *氨基酸和生物资源*, 1996, 18(1): 37 ~ 42.
- [11] 孔晓荣. 鳊鱼肌肉的氨基酸及营养价值. *氨基酸和生物资源*, 1995, 17(2): 33 ~ 35.
- [12] 马英杰, 张志峰, 马爱军, 等. 黄渤海几种海产品无脊椎动物蛋白质与氨基酸含量分析. *海洋科学*, 1996, 6: 8 ~ 10.
- [13] 梁惠, 张秀珍, 刘晖, 等. 山东省常见海产品蛋白质氨基酸含量分析. *海洋科学*, 1999, 6: 25 ~ 29.
- [14] 孙谧. 几种海洋微藻的氨基酸含量. *氨基酸和生物资源*, 1995, 17(2): 38 ~ 40.
- [15] 邱丽胤. 大螺旋藻氨基酸成分的研究. *太原师范学院学报(自然科学版)*, 2004, 3(1): 81 ~ 83.
- [16] 王成刚, 唐学玺, 郑波, 等. 臭氧处理海水对小球藻蛋白质、氨基酸和碳水化合物含量的影响. *海洋科学*, 2001, 25(2): 15 ~ 17(23).
- [17] 谭焯辉, 黄良民, 尹健强, 等. 海洋桡足类氨基酸组成及与饵料和光照的关系. *热带海洋学报*, 2004, 23(5): 42 ~ 49.
- [18] 方英玉, 尹起范, 姚艳红, 等. 熊胆等几种动物胆中氨基酸的色谱-质谱分析. *分析化学研究简报*, 1997, 25(12): 1442 ~ 1445.
- [19] 方英玉, 姚艳红, 朴英爱, 等. 长白山区四籽中氨基酸含量的测定. *延边大学学报(自然科学版)*, 1998, 24(2): 31 ~ 35.
- [20] 许庆琴. 大孔径毛细管气相色谱法测定野生果汁中的氨基酸. *山西师范大学学报(自然科学版)*, 2002, 16(1): 49 ~ 51.