

禁食状态下凡纳滨对虾游离氨基酸的降解代谢

蒋焕超 黄 凯* 杨淇龄 吴宏玉 钟灵香 范观华

(广西大学动物科技学院, 南宁 530005)

摘 要 在禁食胁迫下, 对在盐度为 0(S_0)和 30(S_{30})水体中的凡纳滨对虾肌肉游离氨基酸(FAA)的浓度变化进行测定。结果表明, 禁食 15d 后, 两种盐度中的凡纳滨对虾肌肉游离氨基酸总量均有所升高, 但其中游离的牛磺酸(Tau)、苏氨酸(Thr)、脯氨酸(Pro)、丙氨酸(Ala)、半胱氨酸(Cys)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、苯丙氨酸(Phe)、赖氨酸(Lys)、组氨酸(His)的浓度却有不同程度的降低, 脯氨酸(Pro)在禁食 15d 后的浓度降为 0, 牛磺酸(Tau)、苏氨酸(Thr)、丙氨酸(Ala)、半胱氨酸(Cys)、苯丙氨酸(Phe)、赖氨酸(Lys)的降幅也比较显著($P < 0.05$); 但甘氨酸(Gly)、天门冬氨酸(Asp)、酪氨酸(Tyr)、精氨酸(Arg)等主要游离氨基酸的浓度却显著升高, 从而使游离氨基酸总浓度升高。实验表明, 凡纳滨对虾肌肉里游离氨基酸浓度在禁食胁迫下降解代谢强度不一, 饲料中添加脯氨酸(Pro)、精氨酸(Arg)和赖氨酸(Lys)等游离氨基酸后, 可能会对凡纳滨对虾的生长起到促进作用。

关键词 凡纳滨对虾 禁食 肌肉 游离氨基酸

中图分类号 Q493 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)03-0069-07

Changes of the contents of free amino acids in the muscle of *Litopenaeus vannamei* during starvation

JIANG Huan-chao HUANG Kai* YANG Qi-ling

WU Hong-yu ZHONG Ling-xiang FAN Guan-hua

(College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530005)

ABSTRACT During starvation, changes of the contents of free amino acids (FAA) in the muscle of *Litopenaeus vannamei* at salinities of 0 and 30 were examined. The results showed that the concentrations of total FAA increased significantly at both salinities after 15d starvation. Among the free amino acids, the concentrations of taurine, threonine, proline, alanine, cysteine, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine, lysine, histidine, and alanine decreased at different extent, and the concentration of proline declined to zero. The concentrations of taurine, threonine, alanine, cysteine, phenylalanine, and lysine also decreased significantly ($P < 0.05$). However, the main free amino acids such as glycine, aspartic acid, tyrosine, and arginine increased greatly after 15d starvation, and as a result, the total concentration of

FAA increased. The experiments also showed that the intensity of energy metabolism of FAA in the muscle of *L. vannamei* is different during starvation. Thus adding proline, arginine and lysine to the artificial food may promote the growth of *L. vannamei*.

KEY WORDS *Litopenaeus vannamei* Starvation Muscle Free amino acids

水产动物机体内氨基酸代谢始终处于动态的变化过程,是动物营养学研究的一个重要领域。关于虾体氨基酸的研究已有些报道,梁亚全(1995)在对海洋甲壳类动物的研究中得出,甲壳类动物游离氨基酸占总氨基酸的20%。短期缺乏食物对水产动物的生长发育不会构成威胁。凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* 仔虾禁食6d后摄食率先升高后降低(孟庆武等 2006),但 Torres 等(1973)发现欧洲对虾 *Penaeus kerathurus* 在禁食期间其肌肉游离氨基酸含量发生了显著的变化,并且对虾体内产生了可利用的能量来维持其生长。Smith 等(1987)也发现,在禁食下,食用对虾 *Penaeus esculentus* 肌肉中的许多游离氨基酸发生了显著的变化。许多研究也表明,禁食会导致对虾体内供能不足及蛋白质和氨基酸产生变化,从而影响正常的生长发育。关于在禁食状态下,不同盐度水体中凡纳滨对虾游离氨基酸变化的研究未见报道。本试验在两种不同盐度水体中,对凡纳滨对虾在禁食状态下肌肉游离氨基酸的变化进行研究,以便更好地了解凡纳滨对虾机体内游离氨基酸周转代谢的变化规律,从而进一步完善对虾营养生理和营养需求的基础理论。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用虾由广西南宁市石埠凡纳滨对虾淡水养殖场提供,平均体长为 4.85 ± 0.13 cm,平均体重为 1.78 ± 0.18 g。试验在广西大学水产试验基地进行,试验周期为15 d。试验期间水温变化范围为 $20 \sim 28$ °C,平均水温为 24.5 °C。试验容器为玻璃水族箱,规格为 50 cm \times 40 cm \times 35 cm。试验用水由过滤净化后的浓缩海水与充分曝气后的自来水配制而成。整个试验期间采用微循环流水式养殖,水族箱内均配有珊瑚石、活性炭和海绵等循环过滤装置,24 h 充气,在水族箱内放有网片、塑料管做隐蔽物。

1.2 试验设计

试验设计盐度为 $0(S_0)$ 和 $30(S_{30})$ 两组,每组设3个重复。试验虾从盐度为0的虾场运回后,在每个水族箱中随机放入30尾,投喂鲑鱼,使其保持在自然状态下生长,并将高盐度试验组水体的盐度逐渐调节至30,暂养7 d 待实验虾适应环境后取样测定每组虾肌肉里游离氨基酸的含量,作为盐度0组和盐度30组禁食的初始含量,分别记作 S_0-0d 和 $S_{30}-0d$,然后一直禁食,第5天、第10天和第15天分别取样测定虾体肌肉游离氨基酸的含量, S_0 组编号分别记为 S_0-5d 、 S_0-10d 、 S_0-15d ; S_{30} 组分别记为 $S_{30}-5d$ 、 $S_{30}-10d$ 、 $S_{30}-15d$ 。

1.3 样品处理和游离氨基酸测定方法

随机从每个水族箱中抽取4尾,剥壳后,快速称取 $0.15 \sim 0.2$ g 肌肉样品,加入4%磺基水杨酸,在小型匀浆机中捣碎, $10\ 000$ r/min 离心18 min,取上清液后,再用少许4%磺基水杨酸将试管壁冲洗干净,倒入离心管与原沉淀搅开后再离心10 min,取上清液并倒入第1次的上清液中,再用4%的磺基水杨酸调至25 ml,取10 ml溶液用日立835-50型氨基酸自动分析仪分析。游离氨基酸的摩尔浓度以鲜样湿重计,单位为 $\mu\text{mol/g}$; 摩尔百分比浓度单位为 $\mu\text{mol}\%$ 。

1.4 数据处理及统计分析

所得的实验数据用 Excel 及 SPSS 等统计软件进行单因素方差分析,如差异显著再采用 Duncan 法进行多重比较。所有结果均用平均值 \pm 标准差表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 禁食对虾肌肉游离氨基酸摩尔浓度的影响

表 1 禁食期间凡纳滨对虾肌肉游离氨基酸的含量($\mu\text{mol/g}$)

Table 1 Concentration of free amino acids in the muscle of *L. vannamei* during starvation

游离氨基酸 FAA	组别 Group							
	S ₀ -0d	S ₀ -5d	S ₀ -10d	S ₀ -15d	S ₃₀ -0d	S ₃₀ -5d	S ₃₀ -10d	S ₃₀ -15d
牛磺酸 Tau	7.185±	3.911±	3.595±	3.843±	6.288±	5.238±	4.717±	4.418±
	2.194 ^a	0.973 ^b	0.965 ^b	1.627 ^b	0.681 ^{ab}	1.309 ^{ab}	0.918 ^b	0.888 ^b
天门冬氨酸 Asp	1.114±	0.592±	1.618±	1.587±	—	2.062±	1.753±	1.400±
	0.965 ^{ab}	1.025 ^b	0.308 ^{ab}	0.288 ^{ab}		0.162 ^a	0.636 ^{ab}	0.748 ^{ab}
苏氨酸 Thr	4.451±	7.906±	2.338±	2.204±	8.526±	4.207±	2.524±	3.573±
	0.229 ^b	2.786 ^a	0.288 ^b	0.700 ^b	2.329 ^a	1.363 ^b	2.112 ^b	3.019 ^b
丝氨酸 Ser	3.851±	2.225±	1.601±	1.699±	1.482±	1.158±	3.263±	2.266±
	0.437 ^a	1.339 ^{ab}	0.374 ^b	0.405 ^b	0.334 ^b	0.179 ^b	2.282 ^{ab}	1.093 ^{ab}
谷氨酸 Glu	4.396±	3.613±	4.512±	5.314±	5.380±	3.721±	4.957±	4.082±
	1.092	0.645	1.461	1.044	0.896	1.433	0.974	0.289
脯氨酸 Pro	15.488±	4.245±	—	—	27.492±	4.898±	2.362±	—
	2.153 ^b	2.475 ^c			7.623 ^a	6.418 ^c	2.603 ^c	
甘氨酸 Gly	117.532±	154.096±	188.207±	160.836±	194.079±	238.819±	276.764±	305.712±
	3.409 ^b	31.916 ^{cd}	9.526 ^c	10.900 ^{cd}	23.064 ^c	35.492 ^b	12.501 ^{ab}	32.383 ^a
丙氨酸 Ala	3.832±	6.905±	1.699±	3.038±	12.020±	9.248±	6.063±	3.128±
	0.947 ^b	1.399 ^b	0.640 ^b	2.517 ^b	0.557 ^a	3.911 ^{ab}	2.163 ^b	3.339 ^b
半胱氨酸 Cys	1.893±	0.608±	0.390±	1.145±	1.500±	0.586±	0.717±	0.435±
	0.289 ^a	0.049 ^b	0.488 ^b	1.196 ^{ab}	0.181 ^{ab}	0.365 ^b	0.557 ^b	0.316 ^b
缬氨酸 Val	0.874±	1.263±	0.478±	0.381±	0.997±	0.359±	1.250±	0.506±
	0.196	0.477	0.275	0.472	0.297	0.115	1.265	0.876
蛋氨酸 Met	0.477±	0.735±	0.345±	0.347±	0.827±	0.341±	0.663±	0.548±
	0.079 ^{ab}	0.036 ^{ab}	0.019 ^b	0.089 ^b	0.162 ^a	0.012 ^b	0.411 ^{ab}	0.484 ^{ab}
异亮氨酸 Ile	0.587±	0.519±	0.158±	0.061±	0.475±	0.127±	0.481±	0.290±
	0.120	0.161	0.144	0.105	0.103	0.220	0.550	0.503
亮氨酸 Leu	0.793±	0.958±	0.393±	0.365±	0.937±	1.498±	1.368±	0.784±
	0.358	0.440	0.021	0.081	0.327	2.334	1.329	0.829
酪氨酸 Tyr	1.996±	2.517±	2.771±	2.721±	2.377±	1.830±	3.058±	2.975±
	1.782	1.161	0.113	0.196	1.030	1.319	0.452	0.155
苯丙氨酸 Phe	1.327±	0.688±	0.451±	0.447±	1.456±	0.268±	0.829±	0.307±
	0.224 ^{ab}	0.131 ^b	0.031 ^{bc}	0.075 ^{bc}	0.366 ^a	0.232 ^c	0.361 ^b	0.532 ^{bc}
赖氨酸 Lys	1.119±	1.854±	0.549±	0.506±	1.178±	0.439±	1.506±	0.495±
	0.382 ^b	1.007 ^a	0.123 ^c	0.131 ^c	0.349 ^b	0.169 ^c	1.504 ^a	0.0169 ^c
组氨酸 His	0.745±	1.148±	0.330±	0.395±	0.663±	0.685±	0.603±	0.502±
	0.071 ^{ab}	0.544 ^a	0.074 ^b	0.189 ^b	0.577 ^{ab}	0.130 ^{ab}	0.415 ^{ab}	0.274 ^{ab}
精氨酸 Arg	28.460±	35.096±	36.197±	33.833±	34.070±	33.559±	36.115±	35.450±
	2.766	2.576	0.743	2.609	3.858	4.409	3.230	4.532
总计 Total	196.118±	228.879±	245.632±	218.720±	299.747±	309.042±	348.993±	366.871±
	2.641 ^d	23.821 ^c	9.777 ^c	15.025 ^c	16.824 ^b	24.587 ^b	15.487 ^a	35.362 ^a

注:同一行中具不同上标字母的数据之间差异显著($P<0.05$)。S₀表示盐度 0,S₃₀表示盐度 30。“—”表示含量太低,无法测出

Note:Data in the same row with different superscripts differ significantly($P<0.05$). S₀ means salinity 0,S₃₀ means salinity 30. “—”means the concentration was too low to be determined

由表 1 可知,禁食 15d 后,S₀组的游离氨基酸总量先升高后降低,第 10 天出现峰值,为 245.632±9.777 $\mu\text{mol/g}$,第 15 天降至 218.720 $\mu\text{mol/g}$,整个期间增幅最高达 25.25%,但各时间段间差异不显著($P>0.05$);

而在 S_{30} 组,游离氨基酸的含量逐渐上升,由 $299.747 \mu\text{mol/g}$ 上升到 $386.871 \mu\text{mol/g}$,增幅 29.07% ,差异较显著 ($P < 0.05$),其中 S_{30-0d} 与 S_{30-5d} 之间无显著性差异 ($P > 0.05$), S_{30-10d} 与 S_{30-15d} 之间也无显著性差异 ($P > 0.05$),但 S_{30-10d} 、 S_{30-15d} 均与 S_{30-0d} 、 S_{30-5d} 有显著差异 ($P < 0.05$)。实验还表明, S_{30} 组总游离氨基酸浓度在各阶段均比 S_0 组显著升高 ($P < 0.05$)。

牛磺酸(Tau)的含量在 S_0 和 S_{30} 中均降低。 S_0 组前 5d 下降幅度明显,含量从 $7.185 \mu\text{mol/g}$ 下降到了 $3.911 \mu\text{mol/g}$,后 10d 的变化不大,且 S_0-0d 与 S_0-5d 、 S_0-10d 、 S_0-15d 差异均显著 ($P < 0.05$)。而在 S_{30} 组中,牛磺酸(Tau)含量也逐步下降,但各组间均无显著差异 ($P > 0.05$)。

脯氨酸(Pro)是唯一在禁食后含量降为 0 的氨基酸。在 S_{30} 中,禁食 15 d 后脯氨酸(Pro)含量从 $27.492 \mu\text{mol/g}$ 降至 0,而在 S_0 中,禁食 10d 后即从 $15.488 \mu\text{mol/g}$ 降至 0,且 S_{30-0d} 与其他 7 个组均有显著差异 ($P < 0.05$)。

精氨酸(Arg)在 S_0 、 S_{30} 组中含量均很高,初始含量分别为 28.46 、 $34.07 \mu\text{mol/g}$,仅次于甘氨酸(Gly),但禁食期间变化幅度不大。经统计分析发现, S_0-0d 和 S_0-5d 、 S_0-10d 差异均显著 ($P < 0.05$)。而在 S_{30} 中,各时段间均无显著性差异 ($P > 0.05$)。

甘氨酸(Gly)在总游离氨基酸池中占的比例最大, S_0 组和 S_{30} 组的初始含量分别为 117.532 、 $194.097 \mu\text{mol/g}$,禁食后两个组中含量均有所升高,其中 S_0 组升高了 36.84% , S_{30} 组升高了 57.5% 。经回归分析表明, S_0 组和 S_{30} 组中总游离氨基酸(FAA)含量与甘氨酸(Gly)含量均呈显著线性相关。

丙氨酸(Ala)在 S_0 中先升高后下降,各组间均无显著性差异 ($P > 0.05$),在 S_{30} 中逐渐下降,且 S_{30-0d} 和 S_{30-10d} 、 S_{30-15d} 差异均显著 ($P < 0.05$),组间比较 S_{30-0d} 和 S_0-5d 差异也显著 ($P < 0.05$)。谷氨酸(Glu)的含量变化不大,各组差异不明显 ($P > 0.05$)。苯丙氨酸(Phe)在 S_0 中逐渐下降,各组间无显著性差异 ($P > 0.05$),在 S_{30} 中,前 5d 下降的幅度较大,达 81.59% ,15d 后便降到 $0.307 \mu\text{mol/g}$, S_{30-0d} 与 S_{30-5d} 、 S_{30-10d} 、 S_{30-15d} 差异均显著 ($P < 0.05$)。丝氨酸(Ser)含量在 S_0 中逐渐下降,且 S_0-10d 下降的幅度十分明显,10 d 后趋于稳定, S_0-0d 与 S_0-10d 差异显著 ($P < 0.05$),在 S_{30} 中稍有上升,但差异并不明显 ($P > 0.05$)。半胱氨酸(Cys)在 S_0 中,前 10d 含量从 $1.893 \mu\text{mol/g}$ 下降到 $0.390 \mu\text{mol/g}$,且 S_0-0d 与 S_0-5d 、 S_0-10d 均有显著差异 ($P < 0.05$),但在 S_{30} 中各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。天门冬氨酸(Asp)在两个组中的初始含量都不高,但禁食 15d 后都有所升高。赖氨酸(Lys)在 S_0 、 S_{30} 中降幅均显著 ($P < 0.05$),其中 S_0 组降幅达 62.50% , S_{30} 组降幅达 57.83% 。蛋氨酸(Met)的含量在 S_0 中稍有下降,但各组间无显著差异 ($P > 0.05$),在 S_{30} 中下降幅度相对较大,达 33.74% 。

2.2 禁食对虾肌肉游离氨基酸摩尔百分比的影响

由表 1 可知,试验初始, S_0 组凡纳滨对虾肌肉游离氨基酸中含量最高的是甘氨酸(Gly)、精氨酸(Arg)、脯氨酸(Pro),其摩尔百分含量也最高,分别为 59.93 、 14.51 、 $7.90 \mu\text{mol}\%$,占 FAA 总额的 $82.34 \mu\text{mol}\%$ 。 S_{30} 组中,含量最丰富的也是甘氨酸(Gly)、精氨酸(Arg)、脯氨酸(Pro),其摩尔百分比含量分别为 64.75 、 11.37 、 $9.17 \mu\text{mol}\%$,占 FAA 总额的 $85.29 \mu\text{mol}\%$ 。禁食 15 d 后,脯氨酸(Pro)含量降为 0,甘氨酸(Gly)、精氨酸(Arg)在盐度 0 组中摩尔百分比含量分别为 73.54 、 $15.47 \mu\text{mol}\%$,占 FAA 总额的 $89.01 \mu\text{mol}\%$,在盐度 30 组中分别为 83.33 、 $9.66 \mu\text{mol}\%$,占 FAA 总量的 $92.99 \mu\text{mol}\%$ 。

由表 2 可知,在同一盐度条件下,禁食 15 d 后,各游离氨基酸的摩尔百分比发生了不同程度的变化。 S_0 组中变异系数(C.V)最大的 3 种氨基酸是脯氨酸(Pro)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu),分别为 153.16% 、 118.51% 、 76.77% ;比较大的是半胱氨酸(Cys)、缬氨酸(Val)、苯丙氨酸(Phe)、赖氨酸(Lys)、蛋氨酸(Met)、苏氨酸(Thr)、组氨酸(His)、丙氨酸(Ala)和丝氨酸(Ser),C.V 值在 $73.82\% \sim 53.91\%$ 之间;而变化较小的是谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、酪氨酸(Tyr),C.V 值分别为 18.79% 、 10.65% 、 8.84% ;最稳定的是精氨酸(Arg),C.V 值最小,仅为 3.62% 。在 S_{30} 组中,变异系数最大的 3 种氨基酸是脯氨酸(Pro)、苯丙氨酸(Phe)、天门冬氨酸(Asp),分别为 149.00% 、 82.84% 、 73.40% ;变异系数比较大的是半胱氨酸(Cys)、苏氨酸(Thr)、苯丙氨酸(Phe)、丙氨酸(Ala)、缬氨酸(Val)和异亮氨酸(Ile),C.V 值在 $65.82\% \sim 52.45\%$ 之间;牛磺酸(Tau)、谷氨酸(Glu)、组氨酸(His)、甘氨酸(Gly)、酪氨酸(Tyr)的变异系数则比较小,在 $25.25\% \sim 10.52\%$ 之间;精氨酸(Arg)也最稳定,变异系数(C.V)最小,为 6.92% 。

两种盐度的变异系数(C. V)相比较可以看出,在游离非必需氨基酸中,盐度 0 组中的牛磺酸(Tau)、丝氨酸(Ser)的值较盐度 30 组高 84.04%、34.78%,而天门冬氨酸(Asp)、酪氨酸(Tyr)值却低 48.94%、45.50%,其他非必需游离氨基酸的差异不大;在游离必需氨基酸中,盐度 0 组的组氨酸(His)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、蛋氨酸(Met)、缬氨酸(Val)的值比盐度 30 组分别高 175.96%、132.00%、125.95%、50.50%、34.92%,只有组氨酸(His)、苯丙氨酸(Phe)分别低 47.69%、17.07%。

表 2 禁食期间各游离氨基酸摩尔百分比的变异系数(%)

Table 2 The variation coefficient of FAAs molar percentage in the muscle of *L. vannamei* during starvation

游离氨基酸 FAA	变异系数 C. V			游离氨基酸 FAA	变异系数 C. V		
	S ₀	S ₃₀	(S ₀ -S ₃₀)/S ₃₀		S ₀	S ₃₀	(S ₀ -S ₃₀)/S ₃₀
牛磺酸 Tau	46.47	25.25	84.04	缬氨酸 Val	71.01	52.63	34.92
天门冬氨酸 Asp	37.48	73.40	-48.94	蛋氨酸 Met	59.99	39.86	50.50
苏氨酸 Thr	61.96	64.44	-3.85	异亮氨酸 Ile	118.51	52.45	125.95
丝氨酸 Ser	53.91	40.00	34.78	亮氨酸 Leu	76.77	33.09	132.00
谷氨酸 Glu	18.79	21.94	-14.36	酪氨酸 Tyr	8.84	16.22	-45.50
脯氨酸 Pro	153.61	149.00	3.09	苯丙氨酸 Phe	68.70	82.84	-17.07
甘氨酸 Gly	10.65	10.52	1.24	赖氨酸 Lys	62.54	58.59	6.74
丙氨酸 Ala	55.93	57.89	-3.39	组氨酸 His	58.09	21.05	175.96
半胱氨酸 Cys	73.82	65.82	12.15	精氨酸 Arg	3.62	6.92	-47.69

注: S₀ 和 S₃₀ 分别为在盐度 0 和 30 下禁食 15d 后各阶段所测得的氨基酸的摩尔百分比含量的标准差与平均值的比值

Note: S₀ and S₃₀ are the ratios of standard deviation and mean of amino acid molar percentage at various stages after fasting 15 d in salinity 0 and 30

3 讨论

3.1 禁食对虾游离氨基酸(FAA)摩尔浓度的影响

实验显示,在禁食后凡纳滨对虾肌肉中的游离氨基酸总量在两种盐度中均升高,说明动物机体在缺乏食物条件下有保持体内游离氨基酸水平恒定的能力。已有的研究表明,饥饿时泥鳅(黄辨非等 2006)、南方大口鲶(陈晓耘 2000)、异育银鲫(张桂芳等 2003)、鳊鲌(陈惠群等 2002)等血红蛋白、总蛋白含量均下降。鱼类在缺乏外源氨基酸时,氨基酸代谢必然引起血液游离氨基酸含量下降,要维持血液游离氨基酸水平恒定,就必然会分解机体自身的蛋白质,从而在机体各组织中释放游离氨基酸,使氨基酸水平升高,本实验中肌肉游离氨基酸在禁食后升高可能就是这一原因。另外,盐度对鱼、虾类动物机体游离氨基酸浓度的影响也相当显著。甲壳类动物可通过游离氨基酸的变化进行渗透压调节(施腺芳 1991)。在高盐度海水中凡纳滨对虾体内外存在较大的渗透压梯度差,因而相应地需要更多的游离氨基酸来调节机体内外环境的渗透压平衡(Dall *et al.* 1987; McCoid *et al.* 1984; Marangos *et al.* 1989)。Fang 等(1992)也发现,当环境盐度发生变化时,斑节对虾 *Penaeus monodon* 游离氨基酸在调节体内渗透压方面起主要作用。Dalla(1986)曾报道了盐度对日本囊对虾 *Marsupenaeus japonicus* Bate 游离氨基酸的影响,认为盐度在 10~50 范围内,日本囊对虾肌体的游离氨基酸浓度随着盐度的升高而线性升高。本次实验也显示,盐度 30 组的游离氨基酸含量比盐度 0 组显著升高。体内氨基酸的利用和消耗,与机体内源氨基酸经常保持着动态的平衡。

实验禁食 10d 后,盐度为 0 和 30 组的游离脯氨酸(Pro)含量都迅速降低至 0,表明脯氨酸(Pro)具有较高的代谢活性,在体内不能大量储存。因此作者推测,在正常情况下,为维持体内渗透压平衡,脯氨酸(Pro)的含量通常很高,但在缺乏食物或者是肌肉在做剧烈运动而没有外源能量提供的情况下,脯氨酸(Pro)则迅速被氧化提供能量,这可能是对虾蕴藏能量的一种方式。同时还可推测,凡纳滨对虾肌肉里合成脯氨酸(Pro)的能力可能受到限制,在凡纳滨对虾饲料中添加脯氨酸(Pro)可以作为人工配合饲料的有效补充,增强对虾的抗应激能力。

实验中禁食后,两种盐度下精氨酸(Arg)的含量在各组间均无显著性差异($P>0.05$),由此可见其在维持

体内的渗透压平衡上有着重要的意义,这与梁萌青等(2009)研究的结果相一致。游文章等(2007)在对草鱼的研究中也发现禁食对草鱼肌肉游离精氨酸的影响不显著。Hird等(1986)认为精氨酸在甲壳动物中起了一种腺苷酸的功能,不能在体内合成,因此机体对它的需求量很大。

从实验结果看,甘氨酸(Gly)在游离氨基酸池中含量最丰富,禁食后两种盐度下其含量均有所升高,与总游离氨基酸(FAA)含量呈显著的线性相关,说明甘氨酸(Gly)在维持游离氨基酸总量的平衡中起主导作用。Shiau等(2001)也发现甘氨酸是主导机体游离氨基酸变化的重要氨基酸,在禁食实验中变化非常显著。游文章等(2007)的研究也发现对草鱼禁食30 d后,甘氨酸的含量显著升高。Abo Hegab等(1983)发现甘氨酸不仅是主要的游离氨基酸,还在维持鱼体渗透压稳定中起重要作用。王士稳等(2006)还发现甘氨酸是重要的鲜味氨基酸。但是Claybrook等(1983)报道甘氨酸(Gly)在甲壳类动物能量代谢中的角色仍然不能确定。

牛磺酸(Tau)是一种结构简单、具有广泛生物学活性的含硫氨基酸(石彦荣 2001;何天培等 2000),主要以游离氨基酸的形式普遍存在于动物体内的各种组织中,并以小分子二肽或三肽的形式存在于中枢神经系统,有乳化脂肪的功能,但不参与蛋白质的合成。在软体动物中,牛磺酸(Tau)的含量较丰富,甲壳类动物等中的含量也很高(谭乐义等 2000)。本实验中,两种盐度下牛磺酸的初始含量都相当高,仅次于甘氨酸和精氨酸,禁食后前5 d牛磺酸(Tau)含量在低盐度(S_0)下下降很显著,后10 d的变化不明显,而在高盐度(S_{30})下的变化均不显著,这可能是由于凡纳滨对虾在低盐水体中耗能较大,前期牛磺酸(Tau)乳化脂肪提供能量时被大量消耗所致。Shiau等(2001)的研究也发现,牛磺酸含量在禁食60 d后并无显著变化。Allen等(1997)认为,牛磺酸(Tau)在甲壳类动物中具有渗透调节的作用,这可能是牛磺酸在机体中的含量普遍较高的原因。

天门冬氨酸(Asp)在盐度为30时初始含量为0,禁食期间含量升高,表明天门冬氨酸可能是由其他氨基酸转化而成。赖氨酸(Lys)在禁食期间显著降低($P < 0.05$),表明其可能作为能量被氧化分解。

3.2 禁食对肌肉游离氨基酸摩尔百分比的影响

氨基酸随着血液运至全身各组织进行代谢。在分解代谢中,大多数情况下是首先进行脱氨基作用分解成氨和 α -酮酸,氨可转变成尿素排出体外;而 α -酮酸则可以转变为氨基酸或者彻底分解为二氧化碳和水并释放能量,或者转变为糖或脂肪。由于各种氨基酸的结构不同,性质和功能各异,分解途径也不一样,以至各种氨基酸分解的比例也有差异。游离氨基酸摩尔百分比反映了游离氨基酸的组成结构的变化。本实验中各游离氨基酸摩尔百分比发生了不同程度的变化。在 S_0 组中,变异系数(C.V)最大的3种氨基酸是脯氨酸(Pro)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu);而在 S_{30} 组中,变异系数(C.V)最大的3种氨基酸是丙氨酸(Ala)、苯丙氨酸(Phe)、天门冬氨酸(Asp)。而且在两种盐度条件下,游离氨基酸分解的程度也不一样,在 S_0 组中,异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、半胱氨酸(Cys)、缬氨酸(Val)、苯丙氨酸(Phe)、蛋氨酸(Met)、赖氨酸(Lys)、苏氨酸(Thr)和丝氨酸(Ser)的变异系数(C.V)均在50%以上,但在 S_{30} 组中,变异系数(C.V)在50%以上的只有丙氨酸(Ala)、苯丙氨酸(Phe)、天门冬氨酸(Asp),可见在盐度为30时各游离氨基酸的组成要比盐度为0时稳定得多,一方面可能是由于盐度为0时,对虾的游离氨基酸池容量较小,因此氨基酸摩尔百分比的相对变化较大,但更主要的原因是盐度的变化引起对虾生理代谢机制的变化。

参 考 文 献

- 王士稳,梁萌青,林洪,王家林,常青. 2006. 海水和淡水养殖凡纳滨对虾呈味物质的比较分析. 海洋水产研究, 27(5):79~84
- 石彦荣. 2001. 牛磺酸的跨细胞膜运转. 国外医学生理、病理科学与临床分册, 21(6): 453~456
- 何天培, 昝于明, 周毓平. 2000. 牛磺酸对肉仔鸡卵黄囊吸收及甲状腺激素代谢的影响. 动物营养学报, 1: 38~41
- 陈惠群, 杨文鸽. 2002. 饥饿对鳊鲈某些血液指标的影响. 水产养殖, (5):32~33
- 陈晓耘. 2000. 饥饿对南方鲶幼鱼血液的影响. 西南农业大学学报, 22(2):167~169, 176
- 张桂芳, 严安生, 高玉芹. 2003. 饥饿对异育银鲫几项血液指标的影响. 水利渔业, 23(1):9~10
- 孟庆武, 张秀梅, 张沛东, 李健. 2006. 饥饿对凡纳滨对虾仔虾摄食行为和消化酶活力的影响. 海洋水产研究, 27(5):44~50
- 施腺芳. 1991. 鱼类生理学. 北京: 农业出版社, 156~159

- 梁亚全. 1995. 斑节对虾蛋白质氨基酸的分析. 海洋科学, (3):27~30
- 梁萌青, 王士稳, 王家林, 常青. 2009. 不同盐度对凡纳滨对虾血淋巴及肌肉游离氨基酸组成的影响. 渔业科学进展, 30(2):34~39
- 黄辨非, 童响波, 罗静波. 2006. 饥饿对泥鳅某些血液指标的影响. 淡水渔业, 36(6):33~35
- 游文章, 文华, 马琳. 2007. 饥饿对草鱼血清游离氨基酸的影响. 淡水渔业, 37(3):26~29
- 谭乐义, 章超桦, 薛长湖. 2000. 牛磺酸的生物活性及其在海洋生物中的分布. 湛江海洋大学学报, 20(3):75~79
- Allen, J. A., and Garrett, M. R. 1971. Taurine in marine invertebrates. Adv. Mar. Biol. 9:205~253
- Abo Hegab, S., and Hanke, W. 1983. The significance of the amino acids during osmotic adjustment in the teleost fish—II. Changes in the stenohaline *Cyprinus carpio*. Comp. Biochem. Physiol. Part A:Physiology, 74(3):537~543
- Claybrook, D. L. 1983. Nitrogen metabolism. In The Biology of Crustacea. Internal Anatomy and Physiological Regulation. Ed. by L. H. Mantel, New York: Academic Press, 5:163~213
- Dall, W., and Smith, D. M. 1987. Changes in protein-bound and free amino acids in the muscle of the tiger prawn *Penaeus esculentus* during starvation. Mar. Biol. 95:509~520
- Dalla, V. G. J. 1986. Salinity responses of the juvenile penaeid shrimp *Penaeus japonicus*. Aquaculture, 55(4):307~316
- Fang, L. S., Tang, C. K., and Lee, D. L. 1992. Free amino acid composition in muscle and hemolymph of the prawn *Penaeus monodon* in different salinities. Nippon Suisan Gakkaishi, 58(6):1095~1102
- Hird, F. J., Cianciosi, S. C., and McLean, R. M. 1986. Investigations on the origin and metabolism of the carbon skeleton of ornithine, arginine and proline in selected animals. Comp. Biochem. Physiol. B. 83(1):179~184
- McCoid, V., Miget, R., and Finne, G. 1984. Effect of environmental salinity on the free amino acid composition and concentration in penaeid shrimp. J. Fd. Sci. 49:327~335
- Marangos, C., Brogren, C. H., and Ceccaldi, H. 1989. The influence of water salinity on free amino acid concentration in muscle and hepatopancreas of adult shrimps *P. japonicus*. Biochemical Systematics and Ecology, 17:589~594
- Shiau, C. Y., Pongm, Y. J., Chiou, T. K., and Tin, Y. Y. 2001. Effect of starvation on free histidine and amino acids in white muscle of milkfish *Chanos chanos*. Comparative Biochemistry and Physiology Part B, 128(3):501~506
- Torres, C. 1973. Variations du pool des acides amines libres du muscle abdominal de *penaeus kerathurus* au cours du cycle d'in-termue, et au cours du jeune. Comp. Biochem. Physiol. 45B:1~12